

ISSN 2222-8594 (Print)

ISSN 2415-7694 (Online)

НАУКОВИЙ ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ

Серія “Техніка та енергетика АПК”

282

Київ – 2018

ISSN 2222-8594 (Print)

ISSN 2415-7694 (Online)

SCIENTIFIC HERALD

OF NATIONAL UNIVERSITY
OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCE
OF UKRAINE

Series: Technique and Energy of APK

282

Kiyiv – 2018

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК [Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK] / Редкол. : С. М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. Київ. 2018. Вип. 282. 404 с.

Висвітлено результати наукових досліджень, проведених працівниками Національного університету біоресурсів і природокористування України і в співпраці із закордонними науковцями, працівниками навчальних закладів Міністерства освіти і науки України та науково-дослідних інститутів НАН України, НААН України і Міністерства аграрної політики та продовольства України.

Редакційна колегія: С. М. Ніколаєнко, *д.пед.н., проф.* (відповідальний редактор), І. І. Ібатуллін, *д.с.-г.н., проф.* (заступник відповідального редактора), В. Д. Войтюк, *д.т.н., проф.* (заступник відповідального редактора), В. І. Кирилюк, *к.с.-г.н.* (відповідальний секретар), І. Л. Роговський, *к.т.н., с.н.с.* (заступник відповідального секретаря), В. В. Адамчук, *д.т.н., проф.*, Л. В. Аніскевич, *д.т.н., проф.*, Є. Г. Афтанділянц, *д.т.н., проф.*, А. І. Бойко, *д.т.н., проф.*, В. М. Булгаков, *д.т.н., проф.*, Д. Г. Войтюк, *к.т.н., проф.*, Г. А. Голуб, *д.т.н., проф.*, О. І. Давиденко, *д.т.н., проф.*, Петро Євич, *д.т.н., проф.*, Євгеній Красовські, *д.т.н., проф.*, В. І. Кравчук, *д.т.н., проф.*, В. С. Ловеїкін, *д.т.н., проф.*, Марек Светлік, *д.т.н., проф.*, В. Г. Мироненко, *д.т.н., проф.*, В. М. Несвідомін, *д.т.н., проф.*, Тадеуш Павловські, *д.т.н., проф.*, С. Ф. Пилипака, *д.т.н., проф.*, В. Г. Самосюк, *д.т.н., проф.*, В. В. Теслюк, *д.с.-г.н., проф.*, С. Г. Фришев, *д.т.н., проф.*

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол № 9 від 25 квітня 2018 р.

Згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 13 липня 2015 р. № 747 збірник науковий праць «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК» внесений до переліку наукових друкованих фахових видань України, в яких можуть бути опубліковані результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступеней доктора і кандидата технічних наук.

Збірник науковий праць «Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК» внесено до бібліографічної бази даних наукових публікацій внесено до бібліографічних баз даних наукових публікацій PINЦ, Ulrich's Periodicals Directory, USJ, BASE, SIS, AGRIS, індексується Google Scholar, RePEc, ResearchBib, MIAR.

Відповідальний за випуск І. Л. Роговський.

Адреса редколегії: 03041, Київ-41, вул. Героїв оборони, 15,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України, тел. 527-82-41

© Національний університет біоресурсів і
природокористування України, 2018

ЗМІСТ

МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

АНАЛІЗ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БОЛТОВОГО З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ Я. М. Михайлович, А. М. Рубець	10
ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ОТРИМАННЯ Є. Г. Афтанділянц	22
УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ МІСЦЕВИЗНАЧЕНОЇ СІВБИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР Л. В. Аніскевич	35
ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕКУПЕРАЦІЙНОГО ПРИВОДНОГО МЕХАНІЗМУ В. С. Ловейкін, К. І. Почка, Ю. О. Ромасевич	44
ЗМІНА ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ГНОЄ-КОМПОСТНОЇ СУМІШІ ПОСЛІДУ В РЕЗУЛЬТАТІ ЙОГО КОМПОСТУВАННЯ В БУРТАХ С. І. Павленко, Г. А. Голуб	61
АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ ВАНТАЖУ БАШТОВОГО КРАНА В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, О. В. Стехно	74
ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ПРИСМОКТУВАННЯ НАСІНИНИ ДО КОМІРЧИНИ ВИСІВНОГО ЕЛЕМЕНТА З НАХИЛЕНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ, ЩО РУХАЄТЬСЯ ВГОРУ М. С. Шведик, Ю. Л. Гунько, В. В. Теслюк	87
МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПРОЕКТУ ТЕХНІЧНОГО ПЕРЕОСНАЩЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН О. М. Загурський	97
ОБГРУНТУВАННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПОСТА КЕРУВАННЯ ЗБИРАЛЬНОГО АГРЕГАТУ НА БАЗІ МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ Г. В. Шкарівський, Р. Г. Шкарівський	107
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ БЕЗДОРІЖЖЯМИ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ. ІННОВАЦІЙНИЙ АСПЕКТ С. Д. Коваленко, В. В. Машталір, І. П. Радіонов, А. М. Радченко, А. П. Андрієвський	121
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ФІЗАЛІСУ М. М. Муштрук	132

ОРГАНІЗАЦІЯ І КЕРІВНИЦТВО ПІЗНАВАЛЬНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ І. О. Колосок	144
АНАЛІЗ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ СТАЛОМУ І НЕСТАЛОМУ РЕЖИМАХ РОБОТИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ О. В. Надточій, Л. Л. Тімова	160
ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПОВИХ ПРОЕКТІВ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З АГРОБІОМАСИ В УКРАЇНІ Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желєзна, С. В. Драгнєв, А. І. Баштовий, І. Л. Роговський	173
ЕФЕКТИВНЕ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІКИ Н. І. Болтянська	181
СУЧАСНІ СПОСОБИ ОБРОБЛЕННЯ ВОДИ ДЛЯ ПРОРЩУВАННЯ ЯЧМЕНЮ В. О. Ковбич, Р. М. Мукоїд, В. П. Василів	192
АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНИХ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН С. В. Смолінський	200
ЗАКОНОМІРНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ НЕЛОКАЛІЗОВАНОГО ПОШКОДЖЕННЯ У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ Г. Г. Писаренко, О. В. Войналович, А. М. Майло	208
ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ САДОСАДИЛЬНОЇ МАШИНИ І. В. Тимошок, Р. В. Шатров	218
ІННОВАЦІЙНІСТЬ НАДІЙНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПЕРАТОРІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ «ЛЮДИНА- МАШИНА» В РОСЛИННИЦТВІ А. В. Новицький	226
ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ З ДОЗАТОРОМ НАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ П. С. Попик	244
РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТРУКТУРНИХ МОДЕЛЕЙ ҐРУНТУ Б. А. Шелудченко, В. В. Чуба, В. Р. Білецький	249
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ СУСЛА ВИСОКОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІЗ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЦИТРАТІВ МЕТАЛІВ Т. О. Мудрак, А. М. Куц, Р. Г. Кириленко, С. С. Ковальчук, Х. І. Пакуляк, В. П. Василів	259

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕФОРМУВАННЯ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ОСЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СУЧАСНОЇ АГРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ШИНИ С. М. Кухарець, В. В. Чуба, В. М. Зубко	268
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ Д. П. Журавель	279
ВПЛИВ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТРАНСПОРТЕРА- СЕПАРАТОРА НА ЧІТКІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА С. М. Мороз, О. М. Васильковський, Ю. В. Мачок, О. В. Анісімов	292
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ В ҐРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ Ю. В. Мачок, О. М. Васильковський, С. М. Мороз	303
ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ МІЦНОСТІ ЗЕРЕН АЛМАЗОНОС- НОГО ШАРУ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ О. В. Сушко	313
ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ МАШИНИ ДЛЯ МУЛЬЧУВАННЯ ПРИСТОВБУРНИХ СМУГ У БАГАТОРІЧНИХ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕННЯХ І. В. Тимошок, Р. В. Шатров	323
АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНОЇ ОЦІНКИ УРАЖАЮЧИХ ФАКТОРІВ ДОВКІЛЛЯ СТУДЕНТАМИ В ПЕРІОД ЗРОСТАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ СОЦІАЛЬНО-ПОЛІТИЧНОГО ХАРАКТЕРУ Л. Е. Піскунова, Т. О. Зубок, Ю. В. Сухомлин	332
ОСНОВНІ МЕТОДИЧНІ ВИМОГИ ДО ВИПРОБУВАННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ПТАХІВНИЦТВА В. І. Ребенко, І. Л. Rogovський	339
ОСОБЛИВОСТІ ПОШКОДЖЕННЯ ЗЕРНА В РОБОЧОМУ КАНАЛІ СКРЕБКОВОГО ЕЛЕВАТОРА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА В. І. Недовєсов, Н. В. Матухно	350
МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ Д. Ю. Калініченко, І. Л. Rogovський	361
МЕХАТРОННІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ СИНТЕЗУ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ ВНУТРІШНІХ ХВОРОБ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ В. Д. Войтюк, І. Л. Rogovський	370
ОСНОВНІ ЧИННИКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН І. Л. Rogovський	379
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАЄМОДІЙ КОЛЕСА З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ О. А. Бешун, В. І. Ачкевич, Я. О. Меланченко, Д. О. Шеремет	395

CONTENTS

MACHINES AND MEANS OF MECHANIZATION

ANALYSIS OF KINEMATIC PARAMETERS OF BOLTED FASTENERS OF AGRICULTURAL MACHINERY Ya. M. Mykhaylovych, A. M. Rubets	10
PERSPECTIVE METAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR THEIR OBTAINING Ye. G. Aftandilyants	22
IMPROVING THE PROCESSES OF CITE-SPECIFIC SEEDING OF GRAIN CULTURES L. V. Aniskevych	35
DYNAMIC ANALYSIS OF ROLLER MOLDING INSTALLATION, TAKING INTO ACCOUNT THE DISSIPATIVE PROPERTIES RECUPERATING DRIVE MECHANISM V. S. Loveikin, K. I. Pochka, Yu. O. Romasevich	44
CHANGES IN FRACTIONAL COMPOSITION OF MANURE COMPOST MIX LITTER AS RESULT OF ITS COMPOSTING IN CLAMPS S. I. Pavlenko, G. A. Golub	61
ANALYSIS OF DYNAMICS OF LUFFING CARGO CRANE TOWER V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, O. V. Stekhno	74
DETERMINATION OF APPROXIMATION OF HANDLING TO COMBINATION OF HIGH-PERFORMANCE ELEMENT WITH RISKED VISION M. S. Shvedik, Yu. L. Gun'ko, V. V. Teslyuk	87
METHODS OF EVALUATION OF PROJECT OF TECHNICAL UPGRADING ON BASIS OF THEORY OF INFANT MULTIPLESS O. M. Zagurskiy	97
RATIONALE FOR LOCATION CONTROL OF HARVEST UNIT ON BASIS OF MOBILE POWER TOOLS G. V. Shkarivskiy, R. G. Shkarivskiy	107
IMPROVING EFFICIENCY OF TRANSPORTATION OF CARGOES IN CONDITIONS BY OFF-ROAD. INNOVATIVE ASPECT S. D. Kovalenko, V. V. Mashtalir, I. P. Radionov, A. M. Radchenko, A. P. Andriyevsky	121
EXPERIMENTAL STUDY OF PROCESS OF CONVECTIVE DRYING PHYZALIS M. M. Mushtruk	132
ORGANIZATION AND GUIDELINES OF STUDENTS REPRESENTATIVE ACTIVITIES IN PRACTICAL TRAINING PROCESS I. O. Kolosok	144

ANALYSIS OF MULTI-CHANNEL SYSTEM OF MASS SERVICE WITH INSTALLED AND UNINSTALLED OPERATING MODES OF GRAIN HARVESTER COMBINE O. V. Nadtochy, L. L. Titova ...	160
SUBSTANTIATION OF TYPICAL PROJECTS FOR PRODUCTION AND CONSUMPTION OF AGRIBIOMASS BRIQUETTES IN UKRAINE G. G. Geletukha, T. A. Zheliezna, S. V. Drahnev, A. I. Bashtovyi, I. L. Rogovskii	173
EFFECTIVE FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTS BY IMPROVING RELIABILITY OF EQUIPMENT N. I. Boltyanska	181
MODERN WAY MANUFACTURING METHODS FOR FRAGRANCE PROCESSING V. O. Kovbich, R. N. Mukoid, V. P. Vasyliv	192
ANALYSIS OF MAIN INDICATORS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MODERN POTATO HARVESTER MACHINES S. V. Smolinski	200
REGULARITIES OF ACCUMULATION OF NON-SCALED DAMAGE IN SURFACE LAYERS OF CONSTRUCTION MATERIALS G. G. Pisarenko, O. V. Voinalovych, A. M. Maylo	208
DEVELOPMENT OF FURROWING TOOL FOR ORCHARD PLANTING MACHINE I. V. Tymoshok, R. V. Shatrov	218
REVIEW OF RESEARCHES OF RELIABLE FUNCTIONING OF OPERATORS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS "HUMAN- MACHINE" IN PLANT GROWING A. V. Novitskiy	226
PNEUMATIC AND MECHANICAL SOWING MACHINE WITH DISPENSER DIRECTIONAL P. S. Popik	244
DEVELOPMENT OF LABORATORY METHOD FOR EVALUATING STRUCTURAL SOIL MODELS B. A. Sheludchenko, V. V. Chuba, V. R. Biletskiy	249
IMPROVING TECHNOLOGY OF FERMENTATION HIGHLY CONCENTRATION OF STRAIGHT – CONTAINING MUST MATERIALS USING METAL CITRES T. O. Mudrak, A. M. Kuts, R. G. Kyrylenko, S. S. Kovalchuk, Kh. I. Pakulyak, V. P. Vasyliv ..	259
IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF DEFORMATION AND DISTRIBUTION OF AXIAL LOAD OF MODERN AGROTECHNOLOGICAL TIRE S. M. Kukharets, V. V. Chuba, V. M. Zubko	268

IMPROVING DURABILITY OF FUNCTIONAL SYSTEMS OF AGRICULTURAL MACHINERY WHEN USING BIOFUEL AND LUBRICANTS D. P. Zhuravel	279
INFLUENCE OF MAIN PARAMETERS OF VEHICLE- SEPARATOR WORK ON CHANGE OF GRAIN CLEANING S. M. Moroz, O. M. Vasylkovskyi, Yu. V. Machok, O. V. Anisimov	292
PROVIDING FACILITATION OF COMPOSITE COVERING IN SOIL ENVIRONMENT Yu. V. Machok, O. M. Vasylkovskyi, S. M. Moroz	303
TECHNIQUE OF DEFINITION OF DYNAMIC STRENGTH GRAINS OF DIAMOND-BEARING LAYER O. V. Sushko	313
QUALITATIVE PERFORMANCE OF MACHINES FOR MULCHING ROUND-OF-TRUNK BELTS IN PERENNIAL FRUIT PLANTINGS I. V. Tymoshok, R. V. Shatrov	323
ANALYSIS OF STATISTICAL ASSESSMENT OF DOMESTIC FACTORS OF ENVIRONMENT BY STUDENTS IN PERIOD OF GROWTH OF EMERGENCY SITUATION OF SOCIO-POLITICAL CHARACTER L. E. Piskunova, T. O. Zubok, Yu. V. Sukhomlin	332
BASIC METHODOLOGICAL REQUIREMENTS TO TEST SET OF MACHINES FOR POULTRY V. I. Rebenko, I. L. Rogovskii	339
FEATURES DAMAGE TO GRAIN IN WORKING CHANNEL OF SCRAPER ELEVATOR OF COMBINE HARVESTER V. I. Nedovyesov, N. V. Matukhno	350
MODELING OF OPERATIONS OF CONTROL PARAMETERS OF TECHNICAL STATE OF COMBINE HARVESTERS DURING MAINTENANCE D. Yu. Kalinichenko, I. L. Rogovskii	361
PROPERTIES OF MECHATRONIC SYSTEMS SYNTHESIS TECHNICAL SUPPORT FOR EARLY DIAGNOSIS OF INTERNAL DISEASES OF CATTLE V. D. Voitiuk, I. L. Rogovskii	370
MAIN FACTORS FOR PRODUCTIVITY OF PROCESSES OF RESTORATION OF AGRICULTURAL MACHINERY I. L. Rogovskii	379
ANALYSIS OF EXISTING MODELS OF INTERACTIONS OF WHEEL WITH SUPPORT SURFACE O. A. Beshun, V. I. Achkevich, Ya. O. Melanchenko, D. O. Sheremet	395

МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ

УДК 631.3:62-231.3

АНАЛІЗ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БОЛТОВОГО З'ЄДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

**Я. М. Михайлович, кандидат технічних наук
ORCID iD-0000-0001-5864-9855**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

**А. М. Рубець, кандидат технічних наук
ORCID iD-0000-0001-5864-9856**

**Білоцерківський національний аграрний університет
e-mail: yaroslav_m@ukr.net; a-rubets@ukr.net**

Анотація. Запропоновано підхід до вивчення питання забезпечення необхідного технічного ресурсу болтового з'єднання на основі аналізу вібрації головки болта і гайки. Отриману графічну залежність енергії та потужності вібрації болтового з'єднання можна використовувати для приведення у відповідність необхідних параметрів різьбових з'єднань умовам роботи машин.

В дослідженні бралась до уваги вібрація опорних поверхонь головки болта та гайки у взаємно перпендикулярних напрямках (у площинах, перпендикулярних до осі різьбового стрижня). Дана вібрація є результатом дії рухомих мас робочих органів, технологічного матеріалу та впливу явища дисипації. Вібрація є вимушеною і існує завдяки балансу енергії, що надходить до коливальної системи та енергії, затрачуваної на тертя.

На основі аналізу вібрації опорної поверхні головки болта і гайки введено поняття «синхронного» та «несинхронного» з'єднання. Числовий аналіз вібрації різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки дозволяє судити про навантаженість різьбового з'єднання поперечною вимушеною силою та кутовими відносними коливаннями опорних поверхонь головки болта і гайки.

Дослідження актуальні для використання у симулятивному моделюванні даного процесу, яке дозволить прогнозувати ресурс різьбового з'єднання, планувати профілактичні дії та досягти максимальної відповідності необхідних параметрів різьбових з'єднань умовам роботи машини.

© Я. М. Михайлович, А. М. Рубець, 2018

Ключові слова: *різьбове з'єднання, вібрація, кінематика, сільськогосподарська техніка*

Постановка проблеми. Понад 60 % з'єднань сучасної сільськогосподарської техніки складають різьбові [1]. На відміну від стаціонарних машин всі різьбові з'єднання сільськогосподарської техніки знаходяться під впливом вібраційних навантажень у трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Вплив такого характеру вібрації на працездатність з'єднання потребує подальших наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень. Для забезпечення ефективного використання різьбових з'єднань виконують розрахунок їх параметрів залежно від умов використання, характеру навантаження, необхідності технічного обслуговування вузла тощо. Основним параметром донедавна слугувало необхідне зусилля притискання з'єднаних деталей, що не в повній мірі відповідало експлуатаційним параметрам [2, 4, 7].

Мета досліджень – виконати аналіз кінематичних параметрів болтового з'єднання сільськогосподарської техніки.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження є вібрація різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки. Результати досліджень отримано з використанням методів теоретичної механіки, математичного аналізу, статистичної обробки.

За умовами роботи різьбові з'єднання сільськогосподарської техніки можна поділити на наступні групи, які працюють під впливом:

- поперечних кутових коливань;
- поперечних лінійних коливань;
- повздовжніх коливань;
- комплексних коливань.

Під впливом вищенаведених навантажень опорна поверхня гайки і головки болта виконує складні рухи навколо власного положення рівноваги: поступальний рух вздовж координатних осей і обертальний рух навколо координатних осей. Внаслідок цього гайка і болт зазнають кутових і лінійних переміщень, аналіз яких дозволить виявити критичні режими роботи різьбового з'єднання.

Процес послаблення у чотирьох випадках виникатиме наступним чином. Взаємні кутові переміщення різьбового стрижня і гайки (перший випадок) виникатимуть за умови відповідного характеру вібрації з'єднаних деталей. Для кутових коливань можна виділити наступні критичні випадки:

1) виникнення взаємних кутових переміщень внаслідок статичних або динамічних крутих коливань з'єднуваної деталі

(опорної поверхні гайки) навколо нейтральної лінії різьбового стрижня;

2) наявність таких коливань з'єднаних деталей у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, за яких у складному русі опорної поверхні гайки виникатиме повертання гайки відносно різьбового стрижня.

Поперечні лінійні коливання відбуватимуться до появи взаємного переміщення з'єднаних деталей: зростання вимушеного зусилля до значення сил тертя між з'єднаними деталями або між деталлю і опорною поверхнею головки болта (гайки).

Повздовжні коливання різьбового з'єднання можуть спричинити розкриття контакту між з'єднаними деталями у випадку дії повздовжньої вимушеної сили, більшої ніж сила притискання.

Комплексна дія вібраційного навантаження найбільш відповідає умовам роботи складної сільськогосподарської техніки і є сумою впливу трьох інших навантажень.

Коливання з'єднаних деталей мають різні параметри до моменту надання необхідного зусилля їх притискання. Після монтажу з'єднання не значні коливання поглинаються, а залишаються коливання робочі, вплив яких на різьове з'єднання є домінуючим.

Рух точки, яка лежить на перетині площини опорної поверхні гайки (головки болта) і нейтральної лінії різьбового стрижня, буде задаватись характером вібрації з'єднуваної деталі, на яку опирається гайка, як результат коливань, отриманих від деталей і механізмів, що надійшли до цього з'єднання.

Заміряні на сільськогосподарській машині коливання різьбового з'єднання на поверхнях O_1 та O_2 (рис. 1) можна звести до найпростішої параметричної форми [3]:

$$\begin{cases} x_1 = a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + \varphi_{1.1}) \\ y_1 = a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + \varphi_{1.2}) \\ z_1 = a_{1.3} \cos(\omega_{1.3}t + \varphi_{1.3}) \end{cases} \begin{cases} x_2 = a_{2.1} \cos(\omega_{2.1}t + \varphi_{2.1}) \\ y_2 = a_{2.2} \cos(\omega_{2.2}t + \varphi_{2.2}) \\ z_2 = a_{2.3} \cos(\omega_{2.3}t + \varphi_{2.3}) \end{cases}. \quad (1)$$

У випадку, коли $z_1 = 0$ та $z_2 = 0$ маємо плоский рух на опорній поверхні головки болта та гайки:

$$\begin{cases} x_1 = a_{1.1} \cos(\omega_{1.1}t + \varphi_{1.1}) \\ y_1 = a_{1.2} \cos(\omega_{1.2}t + \varphi_{1.2}) \end{cases} \begin{cases} x_2 = a_{2.1} \cos(\omega_{2.1}t + \varphi_{2.1}) \\ y_2 = a_{2.2} \cos(\omega_{2.2}t + \varphi_{2.2}) \end{cases}. \quad (2)$$

В певних співвідношеннях початкових фаз $\varphi_{1.1}, \varphi_{1.2}; \varphi_{2.1}, \varphi_{2.2}$ кругових частот $\omega_{1.1}, \omega_{1.2}; \omega_{2.1}, \omega_{2.2}$ та амплітуд $a_{1.1}, a_{1.2}; a_{2.1}, a_{2.2}$ вісь болта O_1O_2 виконуватиме кутові коливання навколо положення рівноваги. На теперішній час отримано теоретичні залежності кінематичних параметрів різьбових з'єднань в умовах просторової вібрації [5, 6].

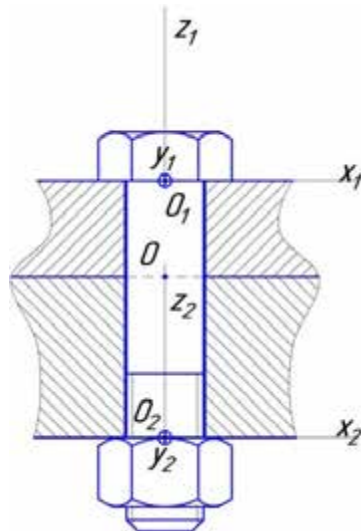


Рис. 1. Ескіз різьбового з'єднання (осі O_1Y_1 та O_2Y_2 направлені в бік спостерігача).



Рис. 2. Вимірювання вібрації болтів зернозбирального комбайна в трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

Для виявлення реальних характеристик вібрації різьбових з'єднань було записано вібрацію в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. На основі аналізу запису вібрації 3-D блоками датчиків під головкою болта та гайкою виявлено, що за характером вібрації заміряної у відповідних напрямках X, Y, Z різьбові з'єднання можна розділити на дві групи:

1-з'єднання, різниця коливань в яких у відповідних напрямках між опорною поверхнею болта і гайки відрізняється від нуля;

2- з'єднання, різниця коливань в яких у відповідних напрямках між опорною поверхнею болта і гайки мало відрізняється від нуля і нею можна знехтувати.

До першої групи з'єднань належать з'єднання просторових конструкцій та з'єднання з сумарною товщиною з'єднуваних деталей:

$$l_1 + l_2 > 7d,$$

де: d – номінальний діаметр різьби.

Для ґрунтового опису даних груп введемо поняття «синхронне з'єднання» – з'єднання групи 2, «не синхронне з'єднання» – з'єднання групи 1.

На графіку (рис. 3) і подальших під номером 1 зображені залежності по «Х» під номером 2 зображені залежності по «Y».

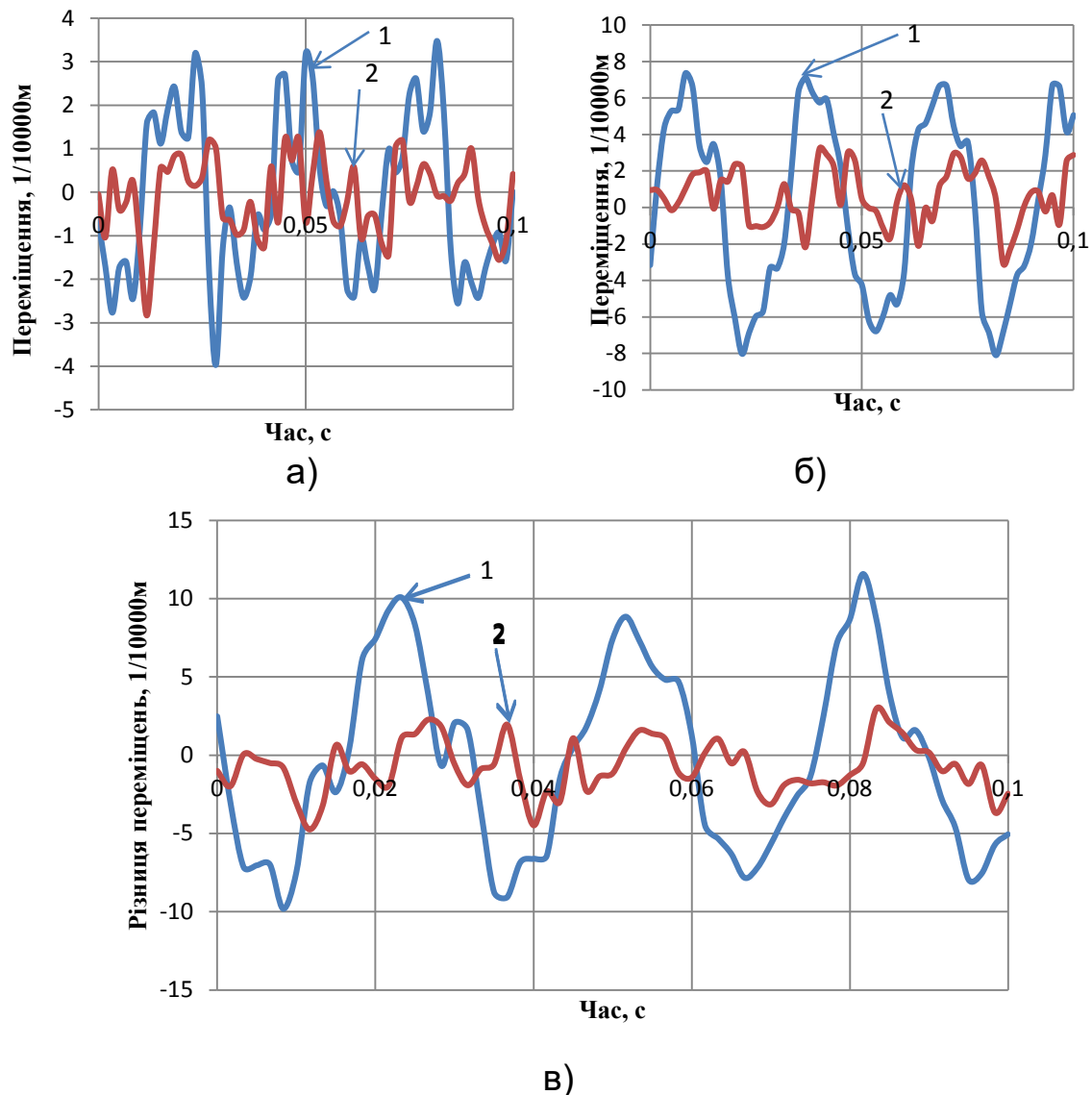


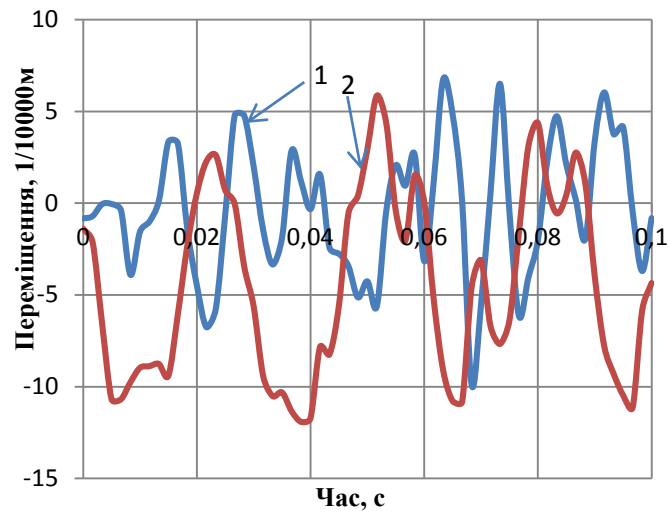
Рис. 3. Коливання опорної поверхні гайки O₁ (а), головки болта O₂ (б) та різниця переміщень напрямків X₁–X₂; Y₁–Y₂ не синхронного з'єднання.

Крім амплітуд, частот та початкових фаз кутові коливання навколо положення рівноваги не синхронного з'єднання залежатимуть від сумарної товщини з'єднуваних деталей L.

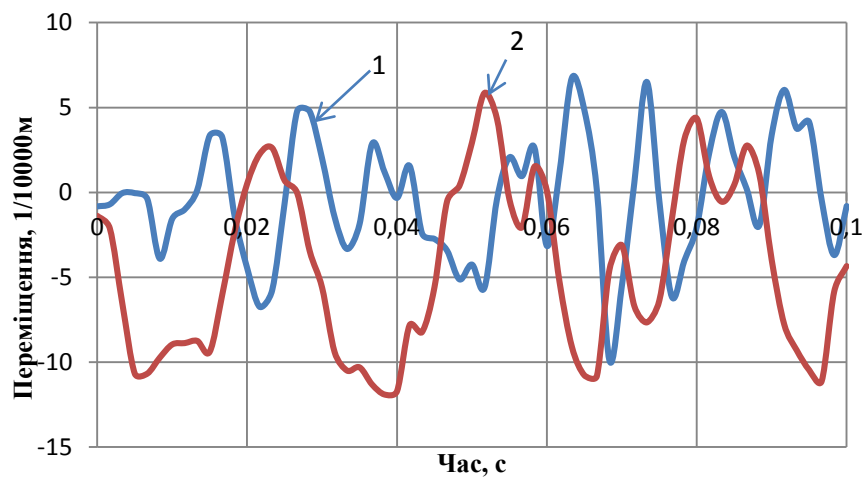
Величину кутів можна визначити з наступної залежності:

$$\varphi_x = \arctg\left(\frac{\Delta x}{L}\right), \varphi_y = \arctg\left(\frac{\Delta y}{L}\right),$$

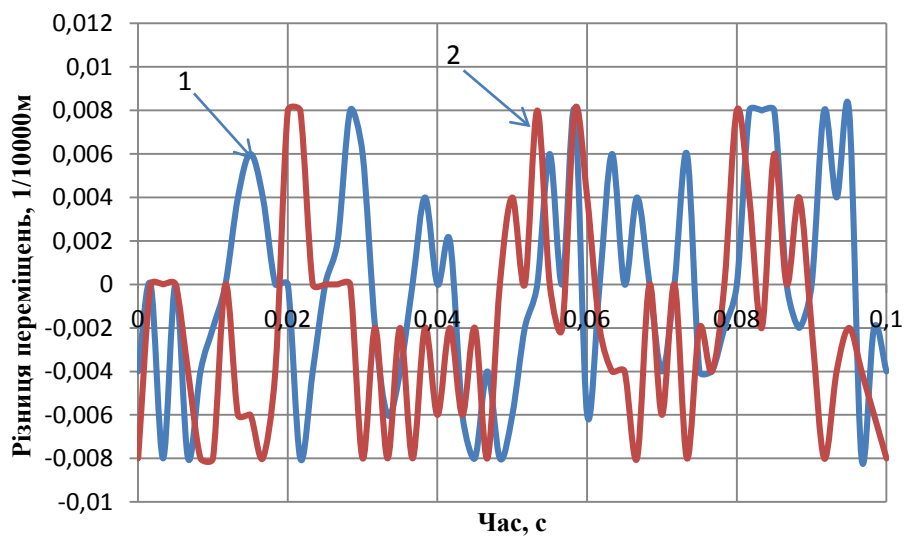
де: $L = l_1 + l_2$ – товщина з'єднуваних деталей, м.



а)



б)



в)

Рис. 4. Коливання опорної поверхні гайки O_1 (а), головки болта O_2 (б) та різниця переміщень напрямків $X_1 - X_2$; $Y_1 - Y_2$ (в) синхронного з'єднання.

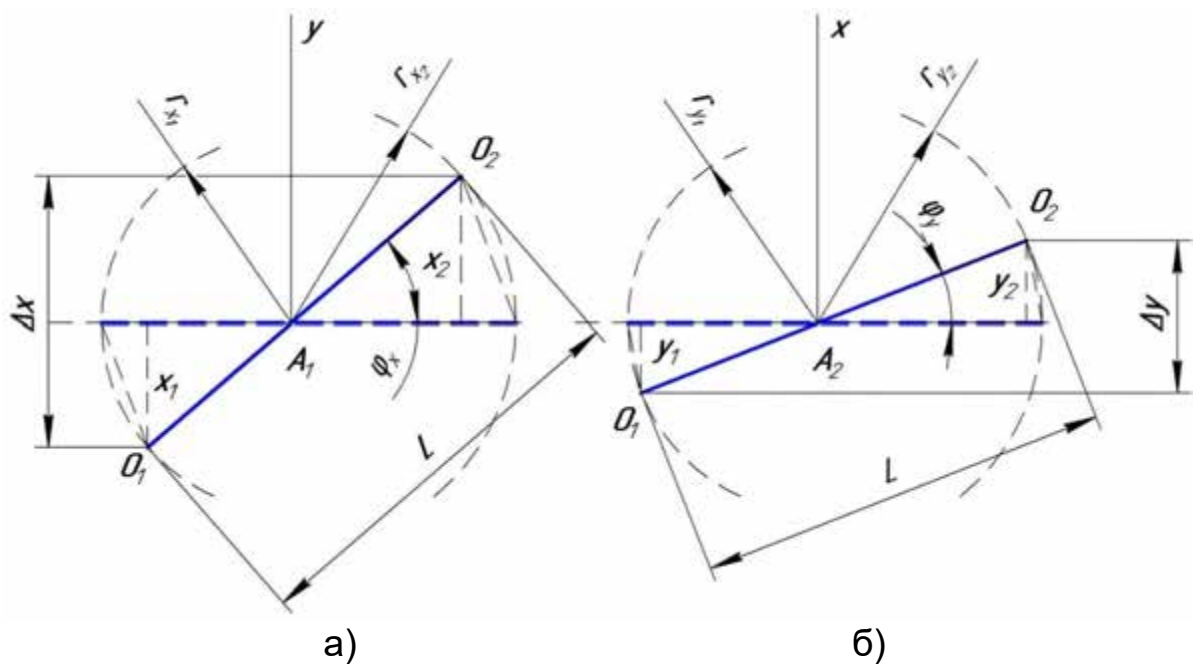


Рис. 5. Схема для визначення кута між віссю болта та віссю OX (а) та віссю OY (б).

Кутові переміщення не синхронного з'єднання мають стрімкі піки та сталі значення на певному значенні кута (рис. 6, а).

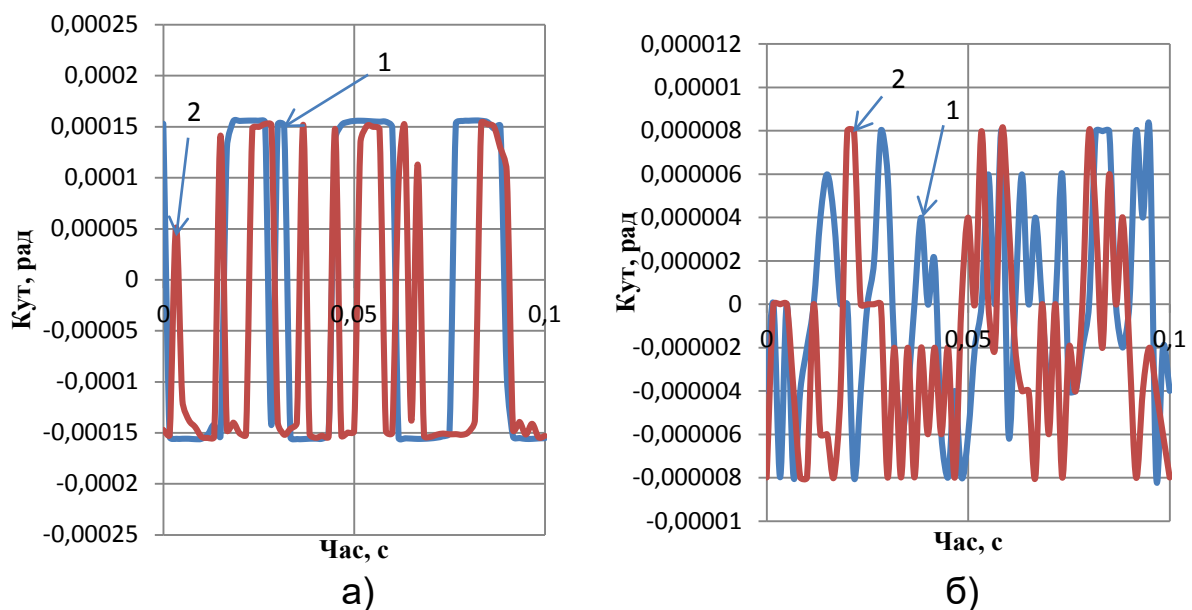


Рис. 6. Зміна кута між осью ліній болта і лінією рівноваги не синхронного (а) та синхронного (б) з'єднання.

Під час вібрації синхронного з'єднання кутових коливань не виникатиме оскільки точки O_1 та O_2 виконуватимуть синхронний рух у напрямках відповідних осей (рис. 6, б). У координатних осях ХУ точки, що лежать на перетині площин опорних поверхонь головки болта і

гайки та нейтральної лінії різьбового стрижня виконуватимуть складний рух (рис. 7). Дане явище відбуватиметься до моменту послаблення різьбового з'єднання. У загальному випадку коливальної системи болтового з'єднання точки O_1 та O_2 виконуватимуть рух в площинах X_1Y_1 та X_2Y_2 відповідно (за залежностями $y_1(x_1)$ та $y_2(x_2)$ відповідно).

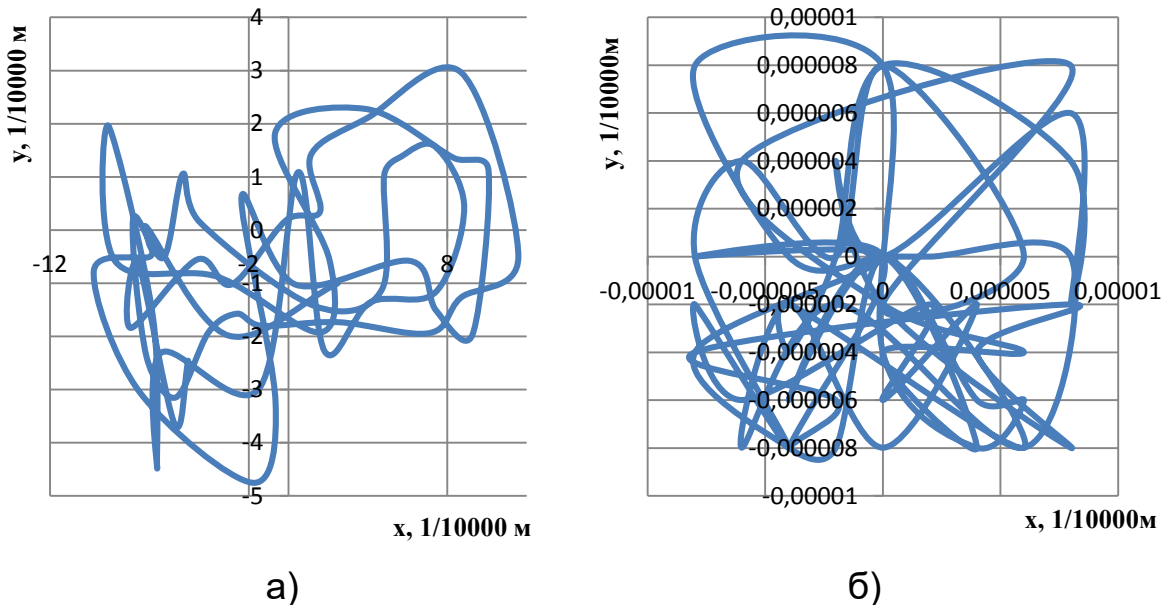


Рис. 7. Рух точок O_1 в координатних осях XY для не синхронного (а) та синхронного (б) з'єднання.

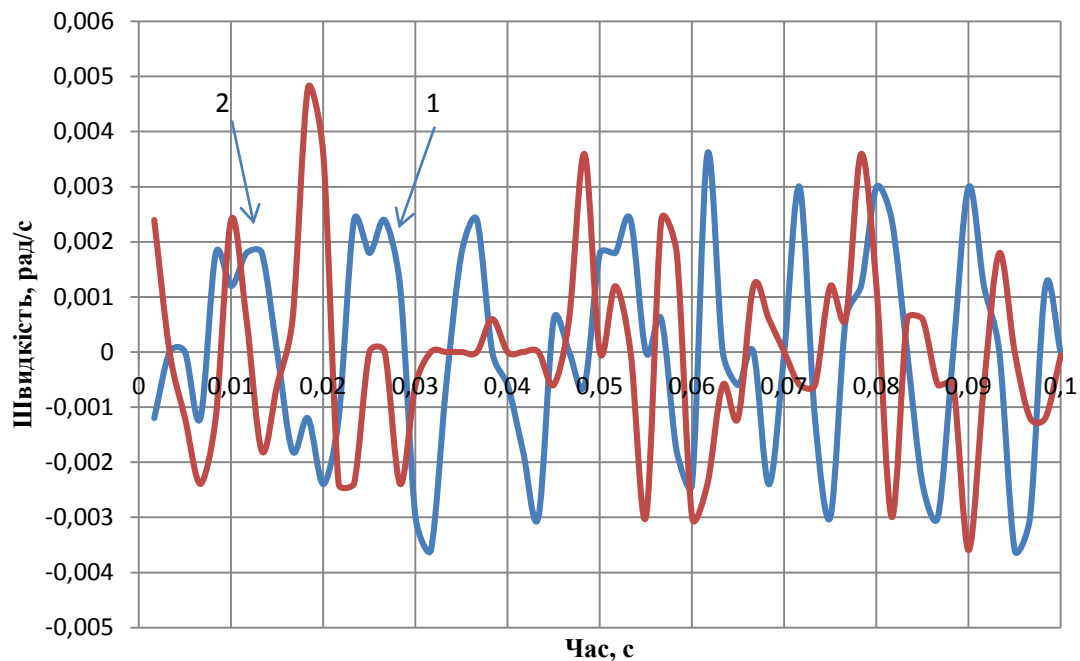


Рис. 8. Кутова швидкість осі синхронного болтового з'єднання, рад/с.

Кутові швидкості осі болта для синхронного з'єднання вираховані чисельним методом і лише в окремих випадках досягають до 0,003 рад/с (рис. 8), що підтверджує дану особливість синхронного з'єднання.

Для не синхронного з'єднання спостерігаються стрімкі зростання та нульові значення протягом окремих періодів. Максимальні значення кутової швидкості складають 0,092 рад/с.

Питома кінетична енергія різьбового з'єднання запишеться з відомої залежності:

$$W_k = \frac{V^2}{2}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}},$$

де: V – миттєва швидкість з'єднання, м/с.

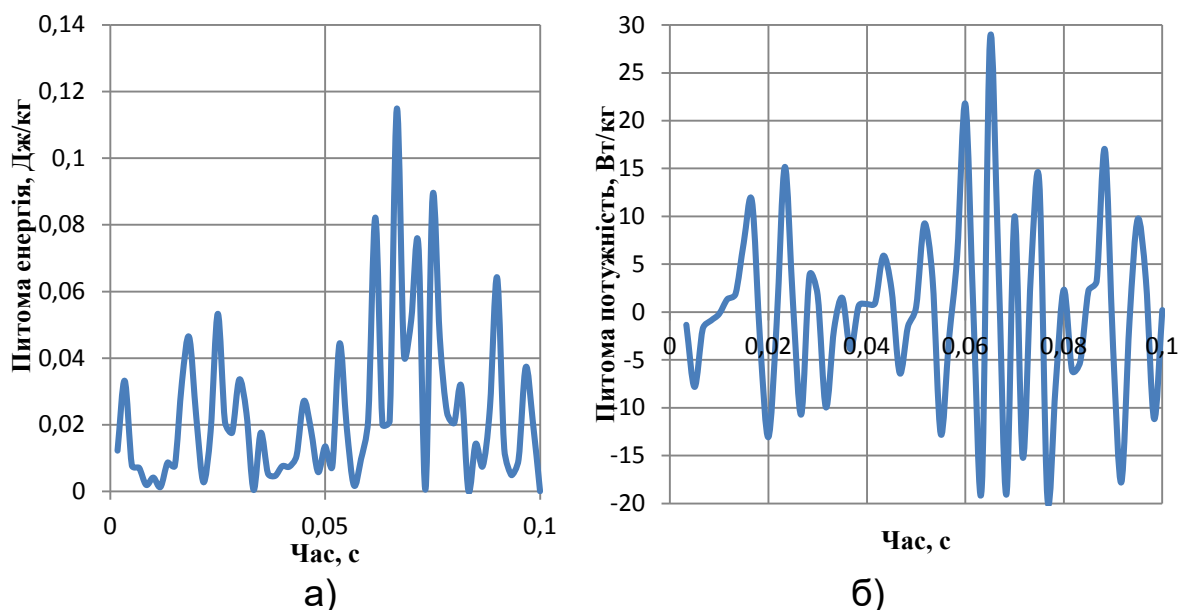


Рис. 9. Питома енергія вібрації (а) та питома потужність (б) синхронного з'єднання.

Енергетичний аспект коливань різьбового з'єднання з точки зору причин послаблення вивчався авторами Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao [9]. Розглянуто визначення послаблення з'єднання двома підходами: 1 – розсіювання енергії хвиль заснована на лінійному акустичному методі; 2 – віброакустична модуляція заснована на нелінійному методі.

Величина питомої потужності (Вт/кг) у випадку коливань у площині загвинчування-розгвинчування (ХУ) приймає, як додатні, так і від'ємні значення. Найбільший науково-технічний та практичний інтерес складає тренд потужності вібрації різьбового з'єднання. Зростання потужності може бути причиною зниження дисипативних параметрів системи через пошкодження контактуючих поверхонь, наявності залишкової деформації елементів з'єднання, виникнення

руйнувань. Збільшення вимушеної сили може бути наслідком підвищення дисбалансу рухомих деталей чи механізмів, нерівномірність технологічного навантаження на робочі органи. В ідеальних умовах дане явище взаємного кутового переміщення не викликати, а критичним станом при роботі таких з'єднань будуть беззаперечно резонансні режими та почергові косі послаблення опорної поверхні гайки у поєднанні із дією крутного моменту у бік розгвинчування. Це справедливе у випадку відносних коливань з'єднаних деталей, що характерно для не синхронних з'єднань. Допустима неперпендикулярність опорної поверхні та осьової лінії гайки, непаралельність поверхонь з'єднаних деталей у поєднанні із кутовими коливаннями сприятимуть взаємному кутовому мікропереміщенню гайки та різьбового стрижня.

Висновки

1. В дослідженні бралась до уваги вібрація опорних поверхонь головки болта та гайки у взаємно перпендикулярних напрямках (у площинах, перпендикулярних до осі різьбового стрижня). Дана вібрація є результатом дії рухомих мас робочих органів, технологічного матеріалу та впливу явища дисипації. Вібрація є вимушеною і існує завдяки балансу енергії, що надходить до коливальної системи та енергії, затраченої на тертя.

2. На основі аналізу вібрації опорної поверхні головки болта і гайки введено поняття «синхронного» та «несинхронного» з'єднання. Числовий аналіз вібрації різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки дозволяє судити про навантаженість різьбового з'єднання поперечною вимушеною силою та кутовими відносними коливаннями опорних поверхонь головки болта і гайки.

3. Дослідження актуальні для використання у симулятивному моделюванні даного процесу, яке дозволить прогнозувати ресурс різьбового з'єднання, планувати профілактичні дії та досягти максимальної відповідності необхідних параметрів різьбових з'єднань умовам роботи машини.

Список літератури

1. Рубець А. М. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування різьбових з'єднань зернозбиральних комбайнів. Автореферат дис. канд. тех. наук. Київ. 2009. 20 с.
2. Михайлович Я. М., Рубець А. М. Підвищення наробітку різьбових з'єднань сільськогосподарської техніки до послаблення. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2012. Вип. 170. Ч. 2. С. 178–185.
3. Рубець А. М. Робота болтового з'єднання сільськогосподарської техніки в умовах 3-D вібрації. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2013. Вип. 17 (31). Кн. 1. С. 252–260.

4. *Рубець А. М.* Пружні коливання різьбового з'єднання в поперечному напрямку під дією двох збурюючих сил різної амплітуди, частоти та початкової фази. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ. 2009. Вип. 134. Ч. 2. С. 192–201.
5. *Михайлович Я. М., Рубець А. М.* Кінематичний аспект забезпечення працездатності різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 226. С. 65–73.
6. *Рубець А. М.* Рух точок нейтральної лінії різьбового стрижня шпилькового з'єднання сільськогосподарської техніки під впливом поперечної вібрації. Техніка і технології АПК. 2014. № 2. С. 19–21.
7. *Шуваев И. В.* Повышение качества резьбовых соединений путем применения ультразвука. Автореферат дис. канд. тех. наук. Самара. 2009. 19 с.
8. *Kaminskaya V., Lipov A.* Self-loosening of bolted joints in machine tools during service. Metal Cutting Machine Tools. 12. 1990. P. 81–85.
9. *Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao.* Quantitative evaluation of residual torque of a loose bolt based on wave energy dissipation and vibro-acoustic modulation: A comparative study. Journal of Sound and Vibration. 383. 2016. P. 156–170.

References

1. *Rubets, A. M.* (2009). Rationale for the frequency of maintenance of threaded connections combine harvesters. The author's abstract dis. cand. tech. sc. Kiev. 20.
2. *Myhaylovich, Ya. M., Rubets, A. M.* (2012). Rumen Increase the achievements of threaded connections agricultural machinery to weaken. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture. Kiev. Vol. 170. Part 2. 178–185.
3. *Rubets, A. M.* (2013). Work bolting of agricultural machinery in the conditions of the 3-D vibration. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Research. Vol. 17 (31). B. 1. 252–260.
4. *Rubets, A. M.* (2009). Elastic vibrations of a threaded connection in the transverse direction under the action of two disturbing forces of varying amplitude, frequency and initial phase. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kiev. Vol. 134. Part 2. 192–201.
5. *Myhaylovich, Ya. M., Rubets, A. M.* (2015). Kinematic aspect of ensuring the health of the threaded connection of agricultural machinery. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture. Kiev. Vol. 226. 65–73.
6. *Rubets, A. M.* (2014). Movement of points of neutral line of threaded rod connection of agricultural machinery under the influence of transverse vibration. Equipment and technologies of agroindustrial complex. No 2. 19–21.
7. *Shuvaev, S.* (2009). Improving the quality of threaded connections by applying ultrasound. The author's abstract dis. cand. tech. sc. Samara. 19.
8. *Kaminskaya, V., Lipov, A.* (1990). Self-loosening of bolted joints in machine tools during service. Metal Cutting Machine Tools. 12. 81–85.
9. *Zhen Zhang, Menglong Liu, Zhongqing Su, Yi Xiao.* (2016). Quantitative evaluation of residual torque of a loose bolt based on wave energy dissipation and vibro-acoustic modulation: A comparative study. Journal of Sound and Vibration. 383. 156–170.

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Я. Н. Михайлович, А. Н. Рубец

Аннотация. Предложен подход к изучению вопроса обеспечения необходимого технического ресурса болтового соединения на основе анализа вибрации головки болта и гайки. Полученную графическую зависимость энергии и мощности вибрации болтового соединения можно использовать для приведения в соответствие необходимых параметров резьбовых соединений условиям работы машин.

В исследовании принималось во внимание вибрация опорных поверхностей головки болта и гайки во взаимно перпендикулярных направлениях (в плоскостях, перпендикулярных к оси резьбового стержня). Данная вибрация является результатом действия движущихся масс рабочих органов, технологического материала и влияния явления диссипации. Вибрация является вынужденной и существует благодаря баланса энергии, поступающей к колебательной системы и энергии, затрачиваемой на трение.

На основе анализа вибрации опорной поверхности головки болта и гайки введено понятие «синхронного» и «несинхронного» соединения. Числовой анализ вибрации резьбового соединения сельскохозяйственной техники позволяет судить о загруженности резьбового соединения поперечной вынужденной силой и относительными угловыми колебаниями опорных поверхностей головки болта и гайки.

Исследования актуальны для использования в симулятивном моделировании данного процесса, которое позволит прогнозировать ресурс резьбового соединения, планировать профилактические действия и достичь максимального соответствия необходимых параметров резьбовых соединений условиям работы машины.

Ключевые слова: резьбовое соединение, сельскохозяйственная техника, кинематика

ANALYSIS OF KINEMATIC PARAMETERS OF BOLTED FASTENERS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Ya. M. Mykhaylovych, A. M. Rubets

Abstract. The approach to study the issue of providing the necessary service life of bolted fastener is proposed on basis of analysis of the vibration of the bolt head and nut. The resulting graphical dependence of the energy and the vibration power of the bolted fastener can be used to agree the necessary parameters of the threaded fastener to the working conditions of the machines.

The study took into consideration the vibration of the bearing surfaces of the bolt head and the nut in mutually perpendicular directions (in planes perpendicular to the axis of the threaded rod). This vibration is the result of moving masses of working bodies of technological material and the influence of the phenomenon of dissipation. Vibration is a forced, and exists due to the balance of the energy supplied to the oscillating system and the energy spent on friction.

Based on the analysis of vibration bearing surface of the bolt head and nut introduced the concept of "synchronous" and "asynchronous" connection. Numerical analysis of vibration threaded connections agricultural machinery allows to judge about the functioning capacity of the threaded connection of the cross compelled by force and relative angular vibration of the bearing surfaces of the bolt head and nut.

Studies relevant for use in simulation modeling of this process, which will predict the resource threaded connections, plan preventive actions and to achieve maximum compliance with the required parameters of threaded connections, the working conditions of the machine.

Key words: *threaded fasteners, vibration, kinematics, agricultural machinery*

УДК 621:664: 669.01(075)

ПЕРСПЕКТИВНІ МЕТАЛЕВІ МАТЕРІАЛИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ОТРИМАННЯ

Є. Г. Афтандіянц, доктор технічних наук

ORCID iD-0000-0001-5864-9855

Національний університет біоресурсів и

природокористування України

e-mail: aftyev@hotmail.com

Анотація. *Актуальність проведення досліджень з вивченням закономірностей формування дисперсійнозміцнених структур монометалевих, біметалевих і композиційних матеріалів визначається необхідністю управління фізико-хімічними і теплофізичними процесами формування матеріалів, що працюють в умовах екстремальних навантажень і абразивного зношування. Метою дослідження є оптимізація складу, структури та технології виробництва таких перспективних матеріалів, як дисперсійнозміцнені азотом и ванадием сталі, біметали та композити для забезпечення високої та стабільної якості*

© Є. Г. Афтандіянц, 2018

отриманих виробів. Розглянути процеси формування структури та властивостей дисперсійнозміцнених структур монометалевих, біметалевих і композиційних матеріалів і встановлені аналітичні закономірності процесів. На основі аналізу отриманих закономірностей виконана оптимізація технологій виробництва дисперсійнозміцнених азотом і ванадієм сталей, виготовлення біметалевих і композиційних виливків. Комплексна оптимізація хімічного складу, режимів розкислення і термічної обробки низько- і середньолегованих литих конструкційних сталей з нітрідванадієвим зміцненням забезпечує додаткове підвищення міцності на 200–250 МПа зі збереженням рівня пластичності, прогартованості в 2,5–3,3 рази; характеристик холодостійкості в 1,5–3 рази, теплостійкості в 1,4–1,8 рази, стійкості до зворотної відпускної крихкості в 1,3–2,8 рази, зносостійкості в 1,4–2,3 рази, втомної міцності на 30–70%. Удосконалення технології виготовлення біметалевих виливків дозволило в 2,5–6,0 разів збільшити зносостійкість і в 6–8 разів підвищити термін роботи виробів з них, в порівнянні з високомарганцевистою сталлю 110Г13Л, а витрати дефіцитних і коштовних металів і сплавів (мідь, нікель, титан, хром, марганець) скоротити в 1,7–2,0 рази. Розробка та застосування нової технології виготовлення дисперснєзміцнених композиційних виливків забезпечила збільшення зносостійкості композиційних виробів в 2,5–2,9, при цьому термін роботи дробильно-розмельного обладнання з композиційними виливками збільшується в 3,0–3,6 разів при первинному та в 3,6–3,9 разів при вторинному подрібненні матеріалів, в порівнянні з високомарганцевистою сталлю Гатфільда. У випадку подрібнення клінкеру збільшення складає від 2,1 до 3,3 разів в порівнянні з біметалевими виливками.

Ключові слова: *сталь, структура, властивості, азот, ванадій, біметал, основа, робочий шар, перехідна зона, матриця, армуючі частинки*

Постановка проблеми. Експлуатаційні властивості металевих матеріалів визначаються поєднанням значень таких їх характеристик, як міцність, пластичність, втомна міцність, холодостійкість, в'язкість руйнування, зносостійкість і ряду інших. Найменш сприятливе поєднання зазначених властивостей в вуглецевої сталі, так як підвищення міцності в міру збільшення вмісту вуглецю супроводжується закономірним зниженням пластичності, в'язкості руйнування при кімнатній і від'ємній температурах і ряду інших характеристик. Проблема підвищення зносостійкості матеріалів, збільшення технічного ресурсу деталей машин і обладнання, що працюють в умовах екстремальних навантажень і активних видів

зношування, скорочення незворотних втрат металу, зниження витрат високолегованих дорогих сплавів є однією з найбільш актуальних на сьогоднішній день.

Аналіз останніх досліджень. Потрібне поєднання значень тих або інших характеристик експлуатаційних властивостей досягається шляхом оптимізації процесів легування, модифікування і формування спеціальних структур матеріалів і технологій їх виготовлення.

При легуванні і модифікуванні використовують елементи, які забезпечують зменшення структурної неоднорідності, підвищення міцності твердого розчину і ступеня дисперсійного зміцнення металевих матеріалів.

З таких механізмів зміцнення, як вплив елементів на міцність твердого розчину, щільність дислокацій, зернограничного і дисперсійного зміцнення найбільш ефективно зміцнення виділенням вторинної фази. У разі сталі воно визначається відстанями між центрами частинок, їх розміром, так як модулі пружності карбідів і нітридів значно вище, ніж у фериту.

Для підвищення міцності одним із головних завдань легування і модифікування, є забезпечення дисперсного і рівномірного виділення вторинної фази при термічній обробці. У сталях з карбідним зміцненням диспергування будови структури досягається в основному за рахунок підвищення легуючими елементами стійкості аустеніту до переохолодження, зниження активності і дифузійної рухливості вуглецю, зміни ними виду і кристалографічних параметрів карбідної фази.

Дисперсійне зміцнення є ефективним способом впливу на процес формування первинної і вторинної структури, а також властивості конструкційних сталей і найбільш технологічно реалізується шляхом модифікування металевих матеріалів азотом і ванадієм.

В умовах дефіциту в країні хрому, молібдену, ванадію, нікелю і інших елементів біметалеві матеріали в конструкціях машин є практично єдиним рішенням при створенні виробів з комплексом диференційованих і спеціальних властивостей.

Біметалеві матеріали або біметали складаються з двох різних металів або сплавів. Біметали застосовують, в основному, як корозійностійкі, антифрикційні та термостійкі матеріали. Особливою групою біметалів є зносостійкі біметалеві матеріали, що складаються з основи (вуглецеві або низьколеговані сталі) і робочого шару (леговані та високолеговані чавуни і сталі) і застосовуються, в основному, як робочі органи дробильно - розмельного устаткування.

Зносостійкі біметалеві виливки поєднують високу твердість і зносостійкість робочих поверхонь та ударну в'язкість і пластичність матеріалу основи. В біметалевих виливках повинен бути надійний

дифузійний зв'язок між сплавами основи та робочого шару, а також високі міцні характеристики перехідної дифузійної зони, які повинні перевищувати відповідні показники матеріалу робочого шару біметалевих виливків.

Зносостійкі біметалеві матеріали отримують механічним з'єднанням (наприклад, типу «ластівків хвіст»), пластичною деформацією шарів металу, наплавленням або заливкою розплаву на тверду основу.

При механічному з'єднанні металів в зоні їх контакту завжди є плівка оксидів і повітряний зазор, що погіршує механічну міцність і відведення тепла.

З чисельних методів отримання біметалевих виливків найбільш поширеними є одночасна або послідовна заливка рідких сплавів у ливарну форму з перегородкою; що відокремлюється, послідовна заливка у форму рідких сплавів; заморожування металу з розплаву на тверду заготовку; заливка рідкого металу на тверду заготовку, що попередньо розташована в ливарній формі [1].

Заливка рідкого металу на тверду заготовку, що попередньо розташована в ливарній формі, є найбільш технологічним процесом отримання біметалевих виливків. Однак закономірності формування структури та властивостей біметалевих виливків та оптимізація на їх основі процесу виготовлення біметалів досліджені недостатньо.

Біметалеві виливки завдяки оптимальному поєднанню фізико-механічних, технологічних і експлуатаційних характеристик знайшли широко застосування в сільськогосподарському, нафтохімічному та енергетичному машинобудуванні, цементної промисловості та будівельній індустрії. Однак, в ряді випадків їх використання не є доцільним внаслідок інтенсивного зношування.

Перспективним напрямом вирішення проблеми є застосування композиційних матеріалів на основі залізобетонних сплавів, що дозволить істотно підвищити ресурс робочих органів обладнання, забезпечити ефективне використання та значну економію високолегованих сплавів.

Композиційні матеріали за структурою (геометрія та розташування компонентів) розподіляються на дисперснозміцнені, волокнисті та шаруваті композити (рис. 1).

Дисперснозміцнені композиційні матеріали (рис. 1, а) армуються частинками (нуль - мірними компонентами), які мають довжину, висоту та товщину одного порядку та розташовані в матриці. В якості армуючих частинок використовують метали, оксиди, бориди, карбіди, сіліциди, нітриди та інтерметаліди). Частинки зміцнюють матрицю, перешкоджаючи розвитку дислокаційного ковзання, при навантаженні

та перерозподілу навантаження між матрицею та наповнювачем, сприймаючи частку прикладеного навантаження.

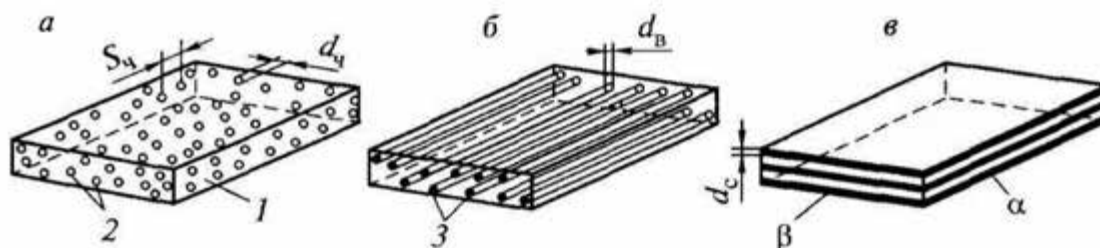


Рис. 1. Схематичне зображення структур композиційних матеріалів [2]: а – дисперсно-наповнений; б – волокнистий; в – шаруватий (d_c – товщина шару в β - α композиті). 1 – матриця; 2 – армуючі частинки діаметром d_c з відстанню S_c ; 3 – армуючі волокна діаметром d_v .

Волокнисті композиційні матеріали складаються з матриці та армуючих волокон у вигляді сталевих дротів, металевих (W, Be, Ta, Ti), неметалевих (вуглець і бор), керамічних (Al_2O_3 , SiC, TiC), мінеральних (скло, кварц, базальт, азбест) та органічних (поліетилен, поліефір, поліамід) волокон (рис. 1, б).

Шаруваті композити являють собою основні та інтерметалідні шари товщиною від 100 до 1000 мкм (рис. 1, в). В якості основних шарів використовують різноманітні метали, які, здатні при нагріванні, за рахунок дифузії, утворювати інтерметалідні прошарки (Ti-Fe, Mg-Al, Cu-Al, Nb-Fe та ін.) заданої товщини.

Зносостійкість композиційних матеріалів визначається властивостями наповнювача і матриці, а також характером їх взаємодії та залежить від розміру і ступеня розчинення наповнювача в матриці, наявності та складу продуктів їх хімічної взаємодії і мікронапруг на межі розділу наповнювач-матриця [3]. Найбільшу зносостійкість в умовах знакозмінних ударних навантажень мають дисперсно-наповнені композиційні матеріали.

Відомо багато методів твердофазного та рідкофазного отримання композиційних виробів [2, 4]. Результати експериментів показують, що найбільш технологічним є метод відповідно до якого рідкий метал заливається в ливарну форму, де розташовані армуючі частинки [4].

Аналіз твердості абразивних частинок і структурних складових залізовуглецевих сплавів показав, що тільки карбіди вольфраму (WC) та титану (TiC) мають твердість, що суттєво (в 2–4 рази) перевищує твердість такого абразивного середовища як пісок.

Наведений аналіз показує, що дисперсно-наповнені азотом і ванадієм сталі, біметали і композити є перспективними матеріалами

застосування яких дозволить вирішити проблему підвищення якості та терміну служби машинобудівної продукції. Однак для вирішення цієї проблеми необхідно оптимізувати їх склад, структуру і технологію отримання.

Мета досліджень. Оптимізація складу, структури та технології виробництва таких перспективних матеріалів, як дисперсійнозміцнені азотом і ванадієм сталі, біметали та композити.

Результати досліджень. Аналіз результатів експериментів виконаних при розробці дисперсійнозміцнених азотом і ванадієм сталей показують, що комплексна оптимізація вмісту в сталі азоту, ванадію та інших нітридоутворюючих елементів, а також температури аустенітізуючого нагріву, забезпечує підвищення міцності і службових властивостей без зниження характеристик пластичності і ударної в'язкості.

Кінцеве розкислення сталі практично завжди проводиться алюмінієм. Однак відомо, що вільна енергія утворення нітридів алюмінію менше, ніж нітридів ванадію, тому необхідною умовою ефективного впливу азоту та ванадію на структуру і властивості розкисленої алюмінієм сталі повинна бути більш висока температура утворення нітридів ванадію, ніж нітридів алюмінію.

Розрахунки показують, що така умова реалізується при вмісті масової частки алюмінію в сталі менше 0,03% і ванадію – 0,10% [5]. При цьому підвищення температури нагріву від 920 до 1000 ° С при поліпшенні призводить до збільшення міцності на 85–100 МПа без зниження пластичності і ударної в'язкості сталі.

При зниженні вмісту алюмінію необхідно додаткове розкислення сталі елементами, які мають схильність до кисню, порівнянне з алюмінієм, а вільну енергію утворення нітридів більш високу. Таким вимогам найбільш повно відповідають рідкоземельні метали (РЗМ-Сe, La, Pr і інші метали лантаноїдної групи), оскільки при їх введенні в сталі в першу чергу утворюються продукти розкислення, потім окисульфіді, сульфіді і в останню чергу нітриди.

Аналіз виділення нітридів лантану, церію, ванадію і алюмінію в залізі показує, що виділення нітридів лантану і церію відбувається в разі перевищення добутку концентрацій церію і азоту в твердому розчині в 1,7–3,7 рази в порівнянні з ванадієм і в 7,8–18,4 рази в порівнянні з алюмінієм. Термодинамічні умови утворення нітридів ванадію реалізуються в сталі, що містить масову частку ванадію від 0,05 до 0,15% і азоту від 0,005 до 0,03% при вмісті церію до 0,06%.

Дослідження впливу температури аустенітизуючого нагріву на механічні властивості сталей 50Л, 50АФЛ, 50ЧЛ, 50ЧАФЛ, показало, що при нормалізації сталей від 860 до 950 °С в разі низького залишкового вмісту алюмінію або кінцевого розкислення РЗМ

досягається підвищення межі текучості добавками азоту і ванадію на 175–250 МПа, тобто на 30–45%, без зниження пластичних властивостей і ударної в'язкості. У разі реалізації термодинамічних умов переважного виділення нітридів ванадію істотне підвищення рівня властивостей сталі відзначається при нагріванні на 100–150 °С нижче температури повного розчинення нітридів ванадію.

Оптимізація процесу виробництва [6] конструкційних сталей з N і V дозволила розробити сталь 30ХАФЛ для ходової частини гусеничних машин. Виробництво гусениць і катків гусеничних машин зі сталі 30ХАФЛ замість сталей 110М13Л і 45ФЛ забезпечує підвищення їх абразивної зносостійкості відповідно в 1,9 і 2,4 рази. Застосування сталей з карбо-нітридним зміцненням дозволяє знизити брак лиття по тріщинах в 1,5–2,0 рази.

При виготовленні біметалевих виливків шляхом заливання рідкого металу на тверду заготовку, що попередньо розташована в ливарній формі, утворюється міцна та суцільна перехідна зона з дифузійним з'єднанням основи і робочого шару (рис. 2).

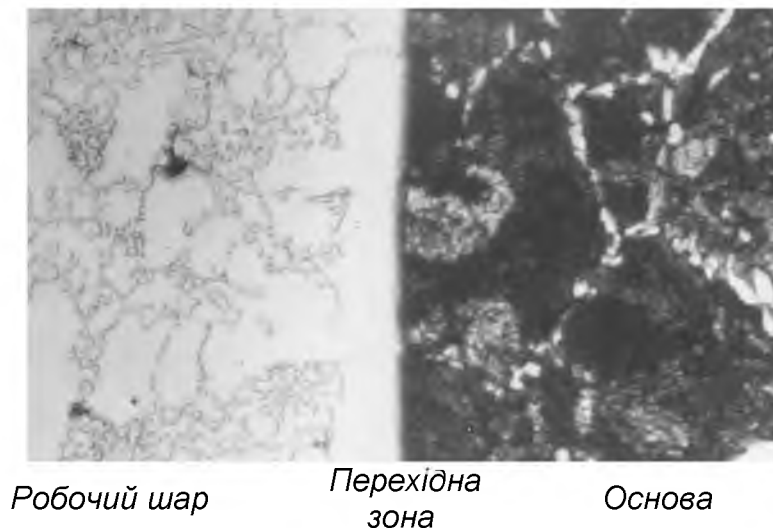


Рис. 2. Мікроструктура робочого шару (високохромистого чавуну), перехідної (дифузійної) зони та основи (низьколегованої сталі) біметалевого виливка [7], $\times 200$.

Дифузійне з'єднання відбувається, в процесі виготовлення біметалевих виливків, при контакті із затверділою, після заливки, основою з робочим шаром і охолодження біметалевого виливка після заливки (рис. 3). Для отримання високоякісного дифузійного з'єднання розплав сталі за допомогою ківшу через ливникову систему заливають в ливарну форму, де в процесі твердіння і охолодження формується сталева основа біметалевого робочого органу дробарки [8]. Після заливки сталі на відкриту поверхню основи, через надлив, подається флюс, який взаємодіє з домішками (неметалеві включення,

шкідливі домішки, газу), що знаходяться на поверхні та переводить їх у сполуки, щільність яких нижча за щільність розплаву чавуну.

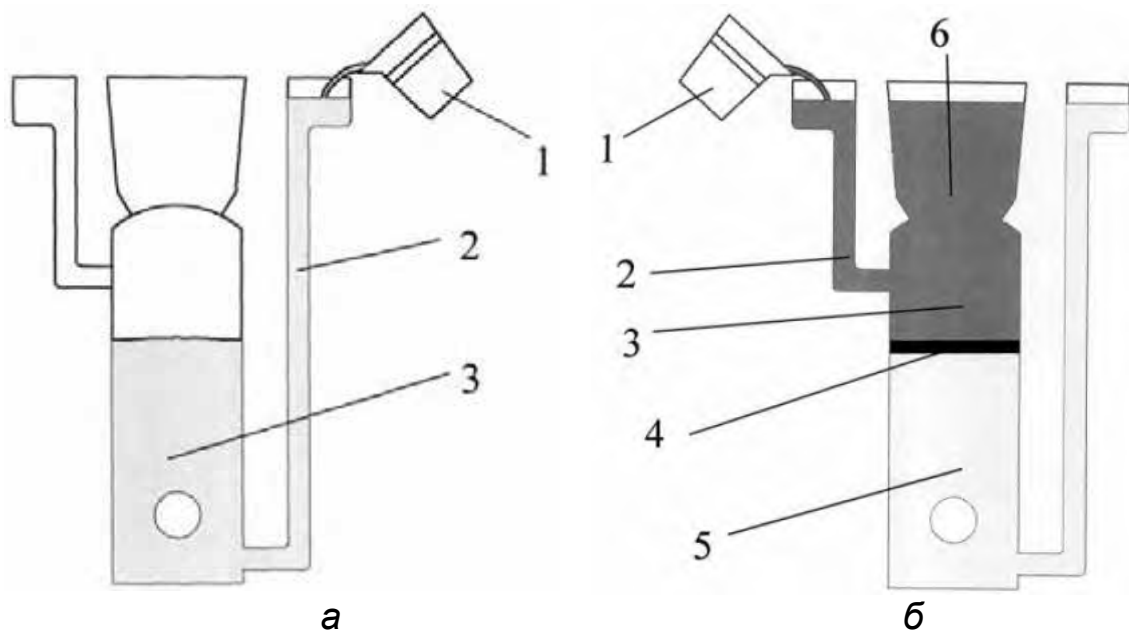


Рис. 3. Схема виготовлення біметалевих виливків [8, 9].

Одночасно з виплавою сталі в іншій індукційній печі виплавляється зносостійкий легований чавун визначеного хімічного складу, який за допомогою ковша через ливникову систему заливається, в ливарну форму на затверділу основу.

При цьому відбувається спливання сполук утворених флюсом у зону надливу, взаємна дифузія, на поверхні контакту, атомів чавуну і сталі в процесі твердіння і охолодження робочого шару та формування дифузійного перехідного шару, який міцно з'єднує робочий шар і основу у високоякісний біметалевий виріб (рис. 4).

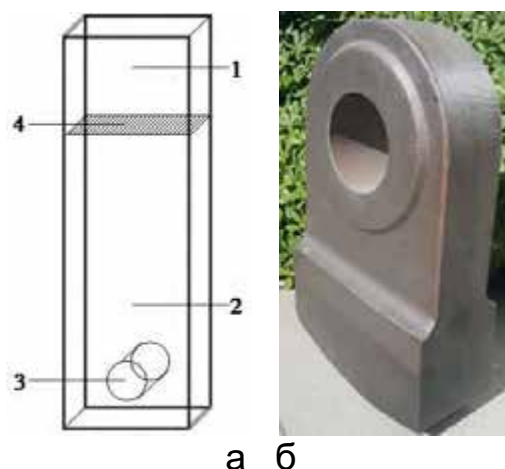


Рис. 4. Схема (а) та біметалевий молоток (б) дробарки: 1 – робочий шар; 2 – основа; 3 – отвір; 4 – дифузійна перехідна зона.

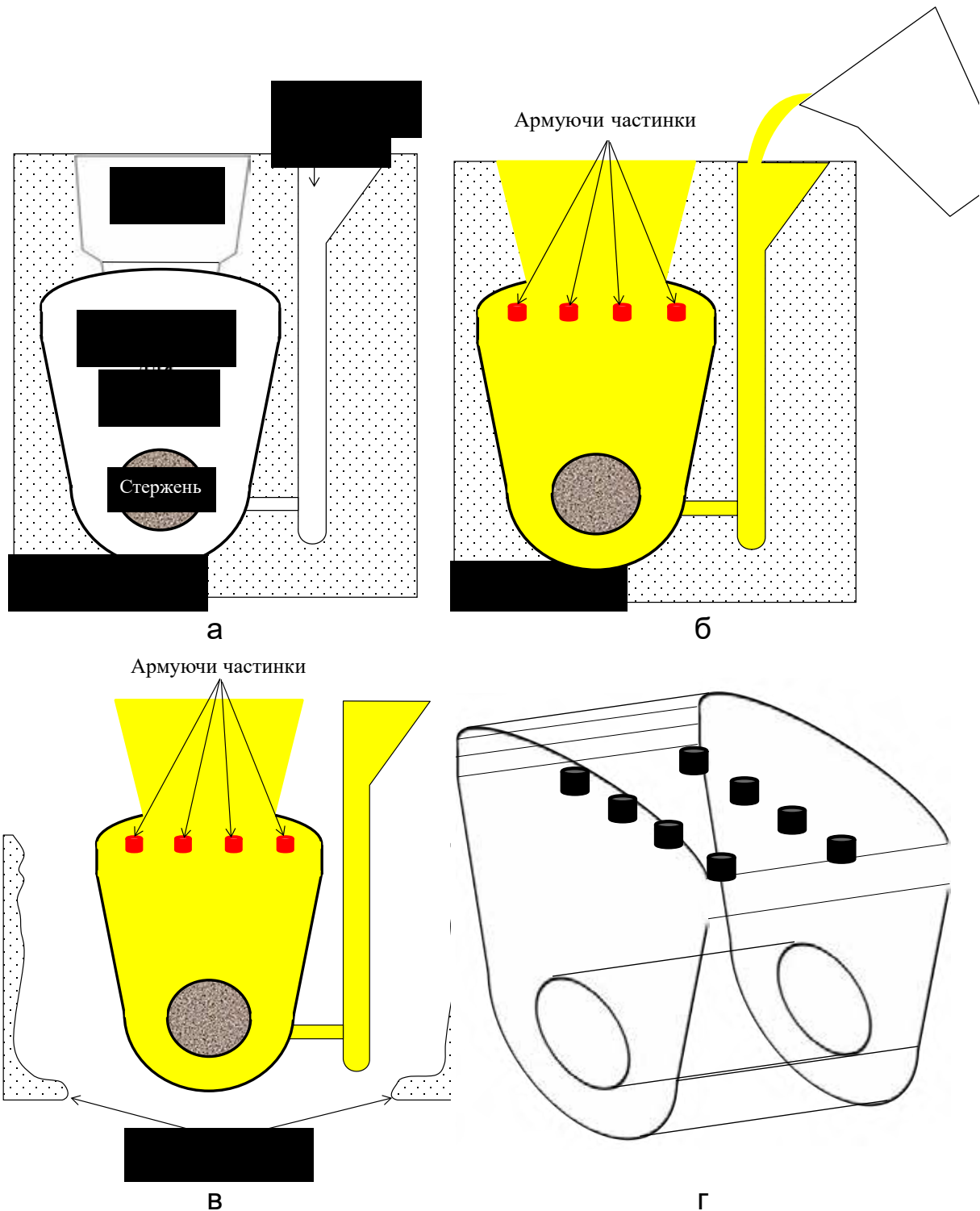


Рис. 5. Технологія виготовлення дисперснестміцнених композиційних виробів шляхом лиття: а – зібрана ливарна форма; б – заливання матричним розплавом ливарної форми з армуючими частинками; в – витяг композиційних виливків з ливарної форми після затвердіння та охолодження; г – композиційна виливка після очистки, обрубки та відрізки ливникової системи.

Зносостійкість виробів з біметалевих виливків підвищується в 2,5–6,0 разів, термін роботи – в 6–8 разів, в порівнянні з високомарганцевистою сталлю 110Г13Л, а витрати дефіцитних і коштовних металів і сплавів (мідь, нікель, титан, хром, марганець) скорочуються в 1,7–2,0 рази.

При виготовленні композиційних виробів шляхом заливання рідкого металу в ливарну форму, де розташовані армуючі частинки у якості матриці найбільш корисно використовувати середньо вуглецеві ливарні сталі, що мають оптимальне співвідношення міцності, пластичності та вартості.

Процес виготовлення дисперсезміцнених композиційних виробів шляхом лиття відбувається у наступній послідовності технологічних операцій [4]: виготовлення та збирання ливарної форми (рис. 5, а); встановлення в ливарну форму армуючих частинок, виплавка матричного сплаву і заливка ливарної форми розплавом (рис. 5, б); охолодження залитих композиційних виливків і їх витяг з ливарної форми (рис. 5, в); проведення фінішних операцій (обрубка, відрізка, зачистка) і отримання готового композиційного виливка (рис. 5, г).

Композиційні виливки дробильно-розмельного обладнання показані на рис. 6.

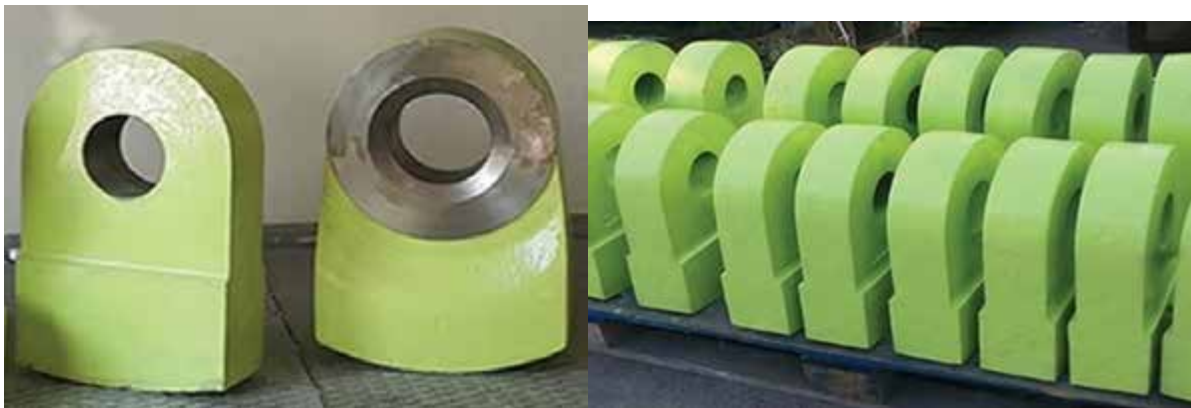


Рис. 6. Композиційні виливки дробильно-розмельного обладнання.

Зносостійкість композиційних виливків збільшується в 2,5–2,9, а вартість виготовлення – на 70% в порівнянні з біметалевими виливками. Термін роботи дробильно-розмельного обладнання з композиційними виливками збільшується в 3,0–3,6 разів при первинному подрібненні та в 3,6–3,9 разів при вторинному подрібненні матеріалів, в порівнянні з високомарганцевистою сталлю Гатфільда. У випадку подрібнення клінкеру збільшення складає від 2,1 до 3,3 разів в порівнянні з біметалевими виливками.

Висновки

1. Комплексна оптимізація хімічного складу, режимів розкислення і термічної обробки низько- і середньолегованих литих конструкційних сталей з нітрідванадієвим зміцненням забезпечує додаткове підвищення міцності на 200–250 МПа зі збереженням рівня пластичності, прогартованості в 2,5–3,3 рази; характеристик холодостійкості в 1,5–3 рази, теплостійкості в 1,4–1,8 рази, стійкості до зворотної відпускної крихкості в 1,3–2,8 рази, зносостійкості в 1,4–2,3 рази, втомної міцності на 30–70%.

2. Удосконалення технології виготовлення біметалевих виливків дозволило в 2,5–6,0 разів збільшити зносостійкість і в 6–8 разів підвищити термін роботи виробів з них, в порівнянні з високомарганцевистою сталлю 110Г13Л, а витрати дефіцитних і коштовних металів і сплавів (мідь, нікель, титан, хром, марганець) скоротити 1,7–2,0 рази.

3. Розробка та застосування нової технології виготовлення дисперсезміцнених композиційних виливків забезпечила збільшення зносостійкості композиційних виробів в 2,5–2,9, при цьому термін роботи дробильно-розмельного обладнання з композиційними виливками збільшується в 3,0–3,6 разів при первинному та в 3,6–3,9 разів при вторинному подрібненні матеріалів, в порівнянні з високомарганцевистою сталлю Гатфільда. У випадку подрібнення клінкеру збільшення складає від 2,1 до 3,3 разів в порівнянні з біметалевими виливками.

Список літератури

1. Костенко Г. Д. Основы процессов получения биметаллических отливок. Киев. Знание. 1990. С. 19.
2. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство: підручник. Херсон. Видавець Грінь Д.С. 2013. 612 с.
3. Быстров В. А. Теоретическое обоснование выбора твердой составляющей композиционных материалов. Известия вузов. Черная металлургия. 2001. №8. С. 53–57.
4. Афтанділянц В. Є., Афтанділянц Є. Г. Патент України на корисну модель 103054. Спосіб виготовлення композиційного матеріалу. МПК C22C 32/00. Заявл. 24.07.2015. Опубл. 25.11.2015. Бюл. № 22.
5. Афтанділянц Є. Г. Закономерности выделения вторичных фаз в зависимости от физико-химического взаимодействия ингредиентов. Процессы литья. 1999. № 3. С. 37–44.
6. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Патент України на винахід 76908. Спосіб виробництва сталевих виробів, що містять азот і ванадій. МПК C21C7/06. Заявл. 14.03.2005. Опубл. 15.09.2006. Бюл. № 9.
7. Aftandilyants Y. Manufacturing technology of bimetallic castings by high durability. Proceeding of international conference. Innovations Market for R&D. Hannover (Germany). 2007. P. 1–35.
8. Афтанділянц В. Є., Афтанділянц Є. Г. Патент України на корисну модель 87521. Спосіб виготовлення литих біметалевих виробів. МПК B22D 19/00. Заявл. 29.08.2013. Опубл. 10.02.2014. Бюл. № 3.

9. *Aftandilyants Y.* Bimetallic materials and technology. Proceeding of First France Ukraine Workshop on Structural Materials. Ministère de l'Industrie. Paris (France). 2007. P. 1–14.

References

1. *Kostenko, G. D.* (1990). Process basics of obtaining bimetallic castings. Kiev. Znanie. 19.
2. *Aftandilyants, Y. H., Zazymko, O. V., Lopat'ko, K. G.* (2013). Material Science: Textbook. Kherson. 612.
3. *Bystrov, V. A.* (2001). Theoretical substantiation of the choice of a solid constituent of composite materials. Ferrous metallurgy. № 8. 53-57.
4. *Method of manufacturing composite material.* (2015). Patent of Ukraine for useful model. MPK C22C 32/00 [Tekst]. Aftandilyants V. Y., Aftandilyants Y. G. № 103054; 24.07.2015; publ. 25.11.2015, Bul. № 22.
5. *Aftandilyants, Y. G.* (1999). Regularities in the separation of secondary phases depending on the physico-chemical interaction of the ingredients. Molding processes, 3, 37-44.
6. *Method for producing steel products containing nitrogen and vanadium.* (2006). Patent of Ukraine. MPK C21C7/06 [Tekst]. Aftandilyants Y. G., Zazymko O. V., Lopat'ko K. G. № 76908; 14.03.2005; publ. 15.09.2006, Bul. № 9.
7. *Y. Aftandilyants.* (2007). Manufacturing technology of bimetallic castings by high durability. Proceeding of international conference. Innovations Market for R&D. Hannover (Germany). 1–35.
8. *Method of making cast bimetallic products.* (2013). Patent of Ukraine for useful model. MPK B22D 19/00 [Tekst]. Aftandilyants V. Y., Aftandilyants Y. G. № 87521; 29.08.2013; publ. 10.02.2014, Bul. № 3.
9. *Aftandilyants, Y.* (2007). Bimetallic materials and technology. Proceeding of First France Ukraine Workshop on Structural Materials. Ministère de l'Industrie. Paris (France). 1-14.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Е. Г. Афтандиянц

Аннотация. Актуальность проведения исследований с изучением закономерностей формирования дисперсионноупрочненных структур монометаллических, биметаллических и композиционных материалов определяется необходимостью управления физико-химическими и теплофизическими процессами формирования материалов, работающих в условиях экстремальных нагрузок и абразивного износа. Целью исследования является оптимизация состава, структуры и технологии производства таких перспективных материалов, как дисперсионноупрочненные азотом и ванадием стали, биметаллы и композиты для обеспечения высокого и стабильного качества полученных изделий. Рассмотрены процессы формирования структуры и свойств дисперсионноупрочненных структур монометаллических, биметаллических и композиционных материалов и установлены

аналитические закономерности процессов. Комплексная оптимизация химического состава, режимов раскисления и термической обработки низко- и среднелегированных литых конструкционных сталей с нитридванадиевым упрочнением, легированных марганцем, кремнием и хромом, обеспечивает дополнительное повышение прочностных свойств на 200–250 МПа с сохранением уровня пластичности, прокаливаемости в 2,5–3,3 раза; характеристик хладостойкости в 1,5–3 раза, теплостойкости в 1,4–1,8 раза, стойкости к обратимой отпускной хрупкости в 1,3–2,8 раза, износостойкости в 1,4–2,3 раза, усталостной прочности на 30–70%. Совершенствование технологии изготовления биметаллических отливок позволило в 2,5–6,0 раз увеличить износостойкость и в 6–8 раз повысить срок работы изделий из них, по сравнению с высокомарганцевистой сталью 110Г13Л, а расходы дефицитных и дорогостоящих металлов и сплавов (медь, никель, титан, хром, марганец) сократить в 1,7–2,0 раза. Разработка и применение новой технологии изготовления дисперсионноупрочненных композиционных отливок обеспечила увеличение износостойкости композиционных изделий в 2,5–2,9 раза, при этом срок работы дробильно-размольного оборудования с композиционными отливки увеличивается в 3,0–3,6 раз при первичном и в 3,6–3,9 раз при вторичном измельчении материалов, по сравнению с высокомарганцевистой сталью Гатфильда. В случае измельчения клинкера увеличение составляет от 2,1 до 3,3 раз по сравнению с биметаллическими отливками.

Ключевые слова: сталь, структура, свойства, азот, ванадий, биметалл, основа, рабочий слой, переходная зона, композит, матрица, армирующие частицы

PERSPECTIVE METAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR THEIR OBTAINING

Ye. G. Aftandilyants

Abstract. The urgency of conducting studies with the study of the regularities of the formation of dispersion-strengthened structures of monometallic, bimetallic and composite materials is determined by the need to manage the physicochemical and thermophysical processes of forming materials operating under extreme loads and abrasive wear. The purpose of the study is to optimize the composition, structure and technology of production of such promising materials as dispersion-strengthened by nitrogen and vanadium of steel, bimetals and composites to ensure high and stable quality of the products obtained. The processes of formation of structure and properties of dispersion-strengthened structures of monometallic, bimetallic and composite materials are

considered, and analytical regularities of processes are established. Complex optimization of the chemical composition, deoxidation and heat treatment regimes of low- and medium-alloyed cast structural steels with nitride-vanadium hardening doped with manganese, silicon and chromium provides an additional increase in strength properties on 200–250 MPa while maintaining the plasticity level, hardenability in 2.5–3.3 times; characteristics of cold resistance in 1.5–3 times, heat resistance in 1.4–1.8 times, resistance to reversible temper brittleness in 1.3–2.8 times, wear resistance in 1.4–2.3 times, fatigue strength on 30–70%. The improvement of the technology for the production of bimetallic castings has made it possible to increase the wear resistance in 2.5 to 6.0 times, and to increase the useful life of products from them in 6–8 times compared with the high-magnetic steel 110G13L, and the costs of scarce and expensive metals and alloys (copper, nickel, titanium, chromium, manganese) reduced in 1.7–2.0 times. The development and application of new technology for the manufacture of dispersion-hardened composite castings provided wear resistance increasing of composite products in 2.5–2.9 times, while the working life of crushing and grinding equipment with composite castings increases in 3.0–3.6 times for primary and in 3.6–3.9 times for secondary grinding of materials, in comparison with the high-magnetic steel Gatfield. In the case of clinker grinding, the increasing is from 2.1 to 3.3 times for compared to bimetallic castings.

Key words: *steel, structure, properties, nitrogen, vanadium, bimetal, base, working layer, transition zone, composite, matrix, reinforcing particles*

УДК 631.315:629.783:525

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ МІСЦЕВИЗНАЧЕНОЇ СІВБИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

**Л. В. Аніскевич, доктор технічних наук
ORCID iD-0000-0001-5864-9855**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України,
e-mail: l-anisk@meta.ua**

Анотація. Проведено аналіз моделі функціонування машини для місцевизначеної сівби зернових культур, який дозволив

© Л. В. Аніскевич, 2018

визначити раціональні значення структури та параметрів керуючої дії бортового комп'ютера. Рекомендовано додати до програмного забезпечення бортового комп'ютера можливості оперативного введення часу затримки, яка обумовлена проходженням насіння по насіннєпроводу.

Ключові слова: *місцевизначена сівба, карт-технологія, модель функціонування, імітаційне моделювання*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку сільськогосподарської техніки і спеціалізованого обладнання при виробництві продукції рослинництва широкого застосування набули технології точного землеробства (ТЗ) [1], зокрема місцевизначена сівба зернових культур. Така сівба виконується посівними машинами до яких висувається вимога максимально точного виконання заздалегідь складеного (для карт-технології) режиму зміни щільності розподілу насіння по площі поля. В цьому випадку посівна машина одночасно з традиційними задачами дотримання агротехнічних вимог до сівби тієї або іншої культури, повинна ще виконувати задачі реалізації електронних картограм-завдань сівби, які синтезовані на підставі алгоритмів оптимального співвідношення між агробіологічним потенціалом елементарних ділянок поля і нормою сівби. Схема формування і реалізації картограми-завдання на сівбу представлена на рис. 1.

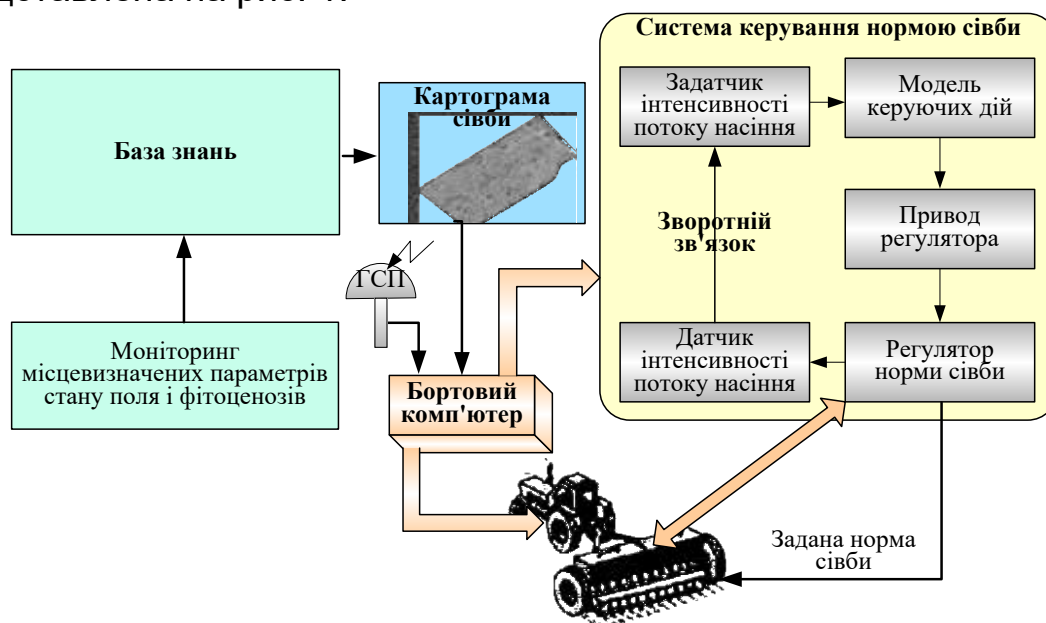


Рис. 1. Схема реалізації карт-технології на прикладі місцевизначеної сівби зернових культур.

Для реалізації процесу сівби за карт-технологією, на першому етапі необхідно сформувати картограму сівби. Як правило, така

картограма базується на інформації про урожайність культури попереднього року сільськогосподарських робіт та даних моніторингу фізико-механічних та агрохімічних параметрів ґрунту. На підставі цієї інформації та на базі агрономічних знань, історичних відомостей про поле (як і чим ореться, сівозміни, рельєф тощо) і алгоритмів взаємозв'язку між місцевизначеними параметрами поля за допомогою відповідного програмного забезпечення випрацьовується електронна картограма сівки.

Електронна картограма сівки стає практичною основою для управління механізованими процесами сівки. Під час сівки інформація від картограми–завдання зчитується і обробляється програмним забезпеченням бортового комп'ютера, в який закладена модель функціонування дозатора висівної системи сівалки. У відповідності до інформації від картограми–завдання і координат місцезнаходження МТА в полі, випрацьовується сигнал управління, який поступає на регулятор норми сівки. Датчик інтенсивності потоку насіння контролює дійсну норму сівки і передає інформацію у вигляді зворотного зв'язку на задатчик інтенсивності потоку насіння.

На даний час, метод карт-технології найбільш широко застосовується при виконанні польових механізованих робіт. Цю технологію можна інтерпретувати як систему з жорстким ладнанням в якій реалізується інформація щодо схеми внесення ТМ по заздалегідь складеному плану (картограмі) для реалізації якого не використовується поточна інформація про стан поля на момент виконання технологічної операції.

Крім того, за певних умов агробіологічного стану поля виникає необхідність повного відключення частини висівних систем (рис. 2) для виконання заданого плану сівки.

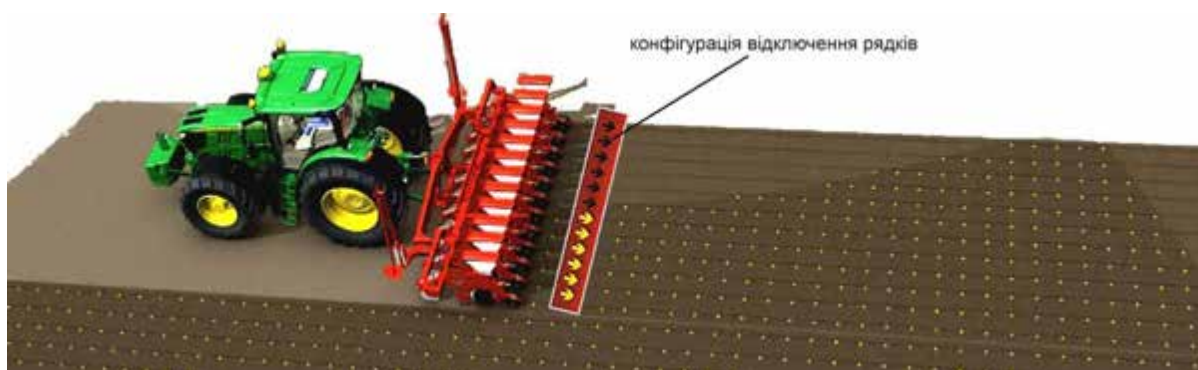


Рис. 2. Місцевизначена сівка з можливим варіантом відключення висіву насіння в рядках.

Для утворення регульованої щільності $\lambda(S)$ розподілу насіння по площі поля, а разом з цим і інтенсивності потоку насіння від висівного

апарата $\lambda(t)$ необхідно мати програмно-апаратний комплекс спеціалізованого обладнання (рис. 3).

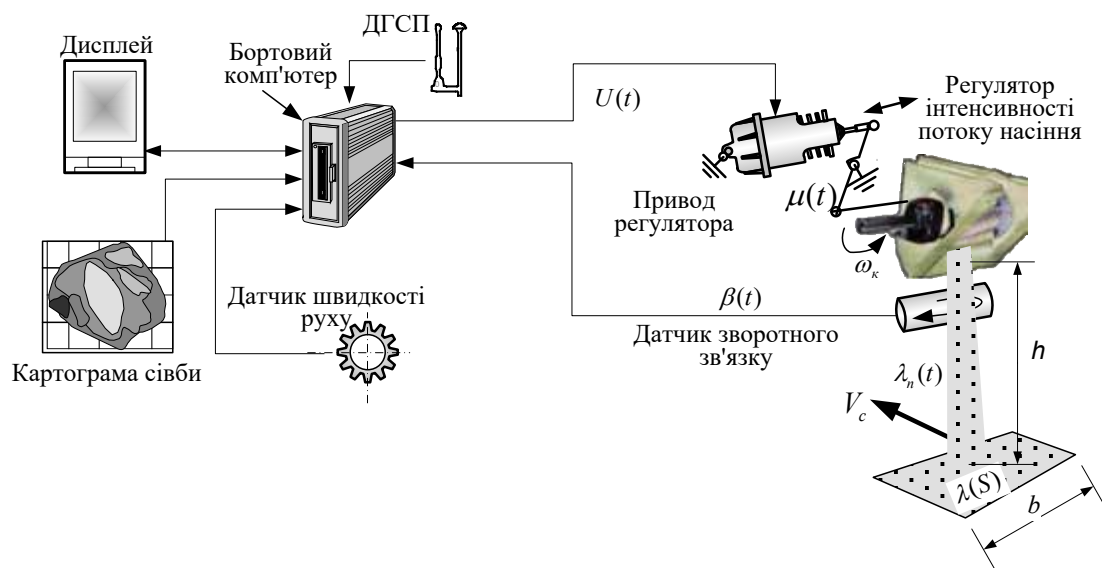


Рис. 3. Схема обладнання для керування щільністю розподілу насіння по площі поля.

Наприклад, для зернової сівалки (типу Астра СЗ-3,6А) регулювання норми сівби під час робочого процесу можливо здійснювати зміною частоти обертання вала котушок висівних апаратів або шляхом зміни робочої довжини котушок. Останнє є більш простішим варіантом реалізації змінних норм сівби, тому що в цьому випадку базова конструкція сівалки потребує мінімальних змін. Функції обчислення інформації, що надходить від приймача диференціальної глобальної системи позиціонування (ДГСП), картограми-завдання на сівбу, датчиків кінематичного режиму руху МТА та датчика інтенсивності зернового потоку (зворотного зв'язку) бере на себе бортовий комп'ютер, що має слот для магнітної картки з електронною картою сівби та можливість видачі інформації на дисплей для її графічного представлення.

Система змінних норм сівби повинна функціонувати таким чином, щоб різниця між заданою і дійсною нормами дорівнювала нулю.

Результати досліджень. Виконання технологічного процесу сівби у відповідності до картограми-завдання необхідно проводити в реальному часі і із заданою точністю. Причому, виконання додаткових вимог по забезпеченню змінних норм сівби не повинно тягнути за собою погіршення якості роботи сівалки за звичайною технологією. Наприклад, при сівбі важливо закласти насіння на задану глибину і рівномірно розподілити по площі живлення відповідно до агрономічних,

але із заданою щільністю і без зниження загальної продуктивності МТА.

Щільність $\lambda(S)$ розподілу насіння по площі живлення S визначається співвідношенням:

$$\lambda(S) = \frac{\lambda_n(t)}{bV_c}, \quad (1)$$

де: $\lambda_n(t)$ – необхідна інтенсивність потоку насіння від висівного апарату; b – ширина міжрядь; V_c – робоча швидкість руху.

Точність реалізації необхідної щільності розподілу насіння по площі поля за місцевизначеною технологією залежить від великої кількості факторів, починаючи з точності реєстрації параметрів поля і побудови базових картограм та самої картограми сівби і закінчуючи якістю роботи бортового обладнання МТА. Але в першу чергу необхідно обґрунтувати параметри дозуючої системи сівалки, як динамічного об'єкту регулювання з вихідним параметром $\lambda_n(t)$. Тобто, з точки зору аналізу функціонування посівної машини в СТЗ як дозатора, точність реалізації плану сівби є похідною величиною від якості та усталеності роботи системи регулювання інтенсивністю потоку насіння.

Якість роботи системи регулювання інтенсивністю потоку насіння сівалки обумовлена статичною та динамічною похибками регулювання, а також тривалістю перехідних процесів і її можливо оцінити по інтегралу квадрата відхилень дійсної $\lambda(t)$ інтенсивності потоку насіння від необхідної $\lambda_n(t)$:

$$I = \int [(\lambda(t) - \lambda_n(t))]^2 dt, \quad (2)$$

Точність місцевизначення посівного агрегату обумовлена, в основному, обчислювальними можливостями ДГСП-приймача. Оцінки визначення координат МТА в полі, що ідуть від ДГСП-приймача, оцінка швидкості руху МТА разом з оцінкою дійсної інтенсивності потоку насіння датчиком зворотного зв'язку $\beta(t)$, а також інформація від картограми сівби необхідні для випрацьовування сигналу керування $U(t)$. Бортовий комп'ютер, привод регулятора, регулятор інтенсивності потоку насіння та датчик контролю інтенсивності потоку утворюють замкнену динамічну систему регулювання.

Висівний апарат забезпечує інтенсивність потоку насіння $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = K_{va} \mu(t), \quad (3)$$

де: $\mu(t) = \mu L(t)$; μ – номінальна питома продуктивність висівного апарату; $L(t)$ – величина робочої довжини котушки висівного апарату; $K_{va} = \bar{K}_{va} (1 + \Delta \bar{K}_{va} + \xi_{va})$, – коефіцієнт передачі; $\bar{K}_{va}$ – номінальне значення коефіцієнту передачі; $\Delta \bar{K}_{va}$ – систематичне відносне

відхилення коефіцієнту передачі; ξ_{va} – випадкові відносні відхилення коефіцієнту передачі.

Конструкція приводу регулятора інтенсивності потоку насіння залежить від конструкції посівної машини в загальному і типа висівної системи зокрема. В якості механізму приводу регулятора інтенсивності потоку насіння можливо використовувати пневмо- або гідроциліндри, електродвигуни з редукторами, магнітні виконуючі пристрої тощо. В загальному, більшість з таких пристроїв відноситься до позиційних приводів і їх модель описується диференціальним рівнянням із сталими коефіцієнтами [2]:

$$T_p^2 \mu''(t) + D_p \mu'(t) + \mu(t) = K_p U(t), \quad (4)$$

де: K_p , D_p та T_p^2 – параметри приводу регулятора; $U(t)$ – керуюча дія.

Для якісного регулювання інтенсивністю потоку ТМ необхідно, щоб система мала зворотній зв'язок по величині інтенсивності потоку насіння. Датчик, що контролює інтенсивність вихідного потоку насіння, має вихідний сигнал $\beta(t)$, а його модель описується рівнянням аперіодичної ланки [3]:

$$T_d \beta'(t) + \beta(t) = K_d \lambda(t), \quad (5)$$

де: T_d – стала часу датчика; $K_d = \bar{K}_d (1 + \Delta \bar{K}_d + \xi_d)$ – коефіцієнт передачі датчика; $\bar{K}_d$ – номінальне значення коефіцієнту передачі; $\Delta \bar{K}_d$ – систематичне відносне відхилення коефіцієнту передачі датчика; ξ_d – випадкові відносні відхилення коефіцієнту передачі.

Рівняння (3)–(5) складають математичну модель системи керування нормою висіву насіння. Для оптимального функціонування системи керування нормою висіву насіння необхідно визначити керуючу дію $U(t)$, яку випрацьовує контролер бортового комп'ютера. Структуру та параметри $U(t)$ оберемо виходячи з умов забезпечення необхідних значень показників усталеності та якості перехідних процесів в слідкуючій системі, а також обраного рівня помилки процесу слідкування:

$$U = f[z(t)], \quad (6)$$

де: $z(t) = \lambda_n(t) - \beta(t)$.

Передаточною функцією контролера бортового комп'ютера задамося у вигляді:

$$W_k = \frac{K_k}{T_k^2 p^2 + D_k p + 1}, \quad (7)$$

де: K_k , D_k та T_k – параметри, що задаються програмним забезпеченням контролера, раціональні значення яких залежать від динамічних параметрів приводу регулятора, регулятора інтенсивності потоку насіння і датчика інтенсивності потоку насіння.

Для випадку висівної системи сівалки СЗ-3,6А з оперативним регулюванням робочої довжини котушок висівних апаратів і приводом регулятора у вигляді механізму "електродвигун-редуктор-гвинт-важіль" з параметрами $T_p=0,1$ с; $D_p=0,8$, $K_p=3$, а також з величинами параметрів $\bar{K}_d=1,1$; $T_d=0,2$ с та $\bar{K}_{va}=0,36$, після розв'язання системи рівнянь (3)–(5), отримаємо реалізацію заданої інтенсивності потоку насіння. Графік реалізації заданої інтенсивності потоку насіння (без оптимізації керуючої дії $U(t)$) та процес накопичення інтегралу квадрата відхилень дійсної інтенсивності потоку насіння від необхідної (1) представлені на рис. 4. З графіку видно, що відтворення заданої (з імпульсними переходами, причому від 20-ї до 30-ї секунди – до нуля) інтенсивності потоку насіння відбувається з великою шумовою складовою, а також із запізненням в часі при переході з одного рівня інтенсивності на інший в межах до 2 секунд. Інтеграл квадрату відхилень дійсної інтенсивності потоку насіння від необхідної склав 280 – рис. 4, б).

Шумова складова дійсної інтенсивності потоку насіння обумовлена випадковими відносними відхиленнями коефіцієнтів передачі динамічної моделі висівного апарату і датчика інтенсивності потоку насіння.

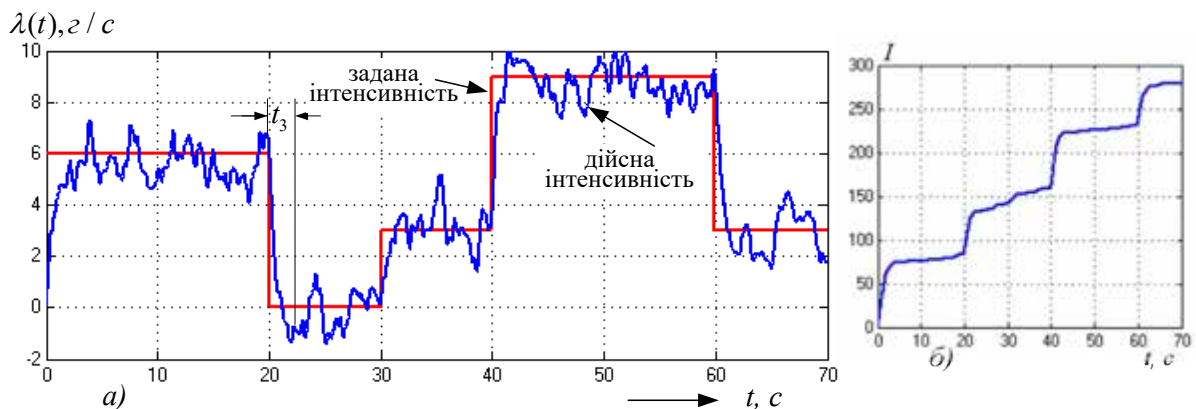


Рис. 4. Графік реалізації заданої інтенсивності потоку насіння – а) та сумарні відхилення дійсної інтенсивності потоку насіння від необхідної – б).

Після проведення фільтрації вихідного сигналу моделі висівного апарату і заміни стандартного датчика потоку насіння на датчик з високими динамічними характеристиками, реалізація заданої інтенсивності потоку насіння значно покращилась. Стосовно формування норми висіву насіння в рядку, треба враховувати, що від висівного апарату до дна борозенки насіння проходить по

насіннепроводу. При цьому насіння співударяється зі стінками насіннепроводу і долає опір повітря, на що необхідний певний час t_3 :

$$t_3 = k \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (8)$$

де: k – коефіцієнт, що враховує неоднозначність траєкторії проходження насіння по насіннепроводу та опір повітря; h – висота падіння насіння до дна борозенки.

З урахуванням операції фільтрації і застосуванням датчика з низьким рівнем шумів, а також з урахуванням часу запізнення t_3 , зміна норми висіву насіння у відповідності до завдання, представлена на рис. 5.

Виконання заданої норми висіву насіння покращилось, проте бажано мати систему змінних норм сівби з високими показниками точності виконання завдання. Передусім необхідно компенсувати сумарну затримку $t_3 + t_1$ в реалізації сівби і провести оптимізацію структури керуючої дії $U(t)$ по мінімуму виразу (1). Величина t_3 знаходиться в межах 0,5 с, а t_1 визначається виключно динамічними параметрами привода регулятора, регулятора інтенсивності потоку насіння і датчика інтенсивності потоку насіння.

Затримку в часі досить легко компенсувати шляхом повздовжнього виносу на відстань b місця розташування антени датчика ГСП від сошників: $b = t_3 V_c$.

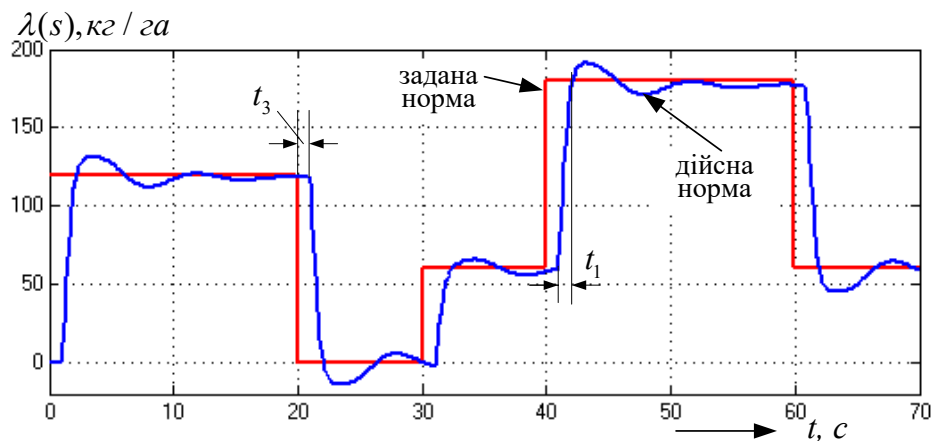


Рис. 5. Графік реалізації заданої інтенсивності потоку насіння.

Проте, більш ефективним є надання трактористу можливості введення величини t_3 в базу даних бортового комп'ютера в оперативному порядку в залежності від складу МТА і компоновки спеціалізованого обладнання. В результаті цих операцій функціонування механізму регулювання норми висіву насіння зернової сівалки можливо значно покращити (рис. 6). Інтеграл

квадрату відхилень дійсної інтенсивності потоку насіння від необхідної склав 30 – рис. 6, б).

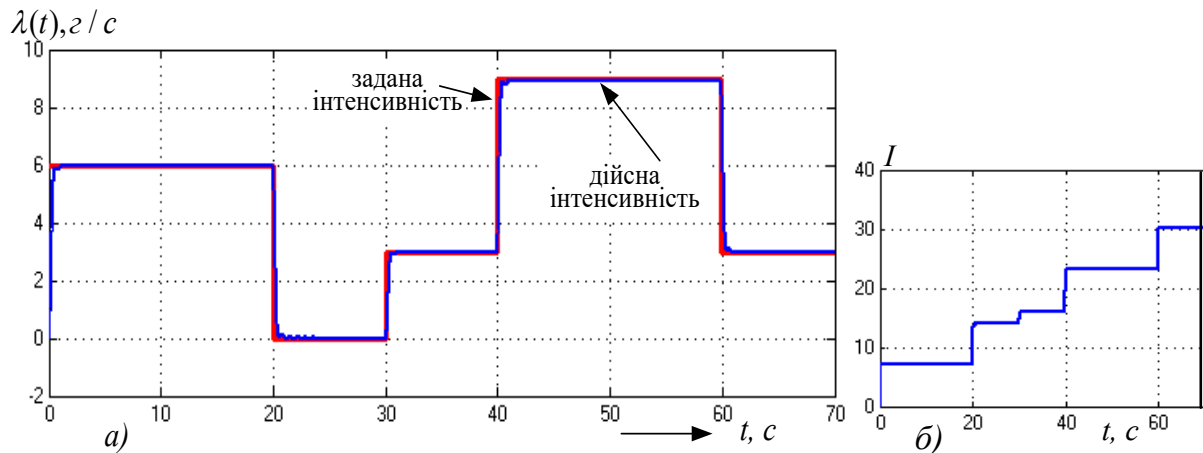


Рис. 6. Графік реалізації заданої інтенсивності потоку насіння після оптимізації керуючої дії – а) та сумарні відхилення інтенсивності потоку насіння – б).

Подальше удосконалення системи керування інтенсивністю потоку насіння (а тим самим і нормою сівби) пов'язане із застосуванням спеціальних алгоритмів оптимізації керуючої дії, а також з вибором принципово нових схем дозування насіння та використанням механізмів приводу дозатора і датчиків потоку насіння з удосконаленими характеристиками.

Список літератури

1. *Аніскевич Л. В.* Тенденції та шляхи розвитку машин для внесення технологічних матеріалів. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Харків. 2000. Вип. 1. С. 130–133.
2. *Попков С. Л.* Следящие системы. Москва. Высшая школа. 1963. 304 с.
3. *Понтаев Н. Ф., Дианов В. Г.* Основы теории автоматического регулирования и авторегуляторы. Москва. Недра. 1970. 366 с.

References

1. *Aniskevich, V. L.* (2000). Trends and ways of development of machines for making technological materials. Bulletin of Kharkov State Technical University of Agriculture. Kharkov. 2000. Vol. 1. 130–133.
2. *Popkov, S. L.* (1963). Tracking system. Moscow. High school. 304.
3. *Pantaev, N. F., Dianov, V. G.* (1970). Foundations of the theory of automatic regulation and autoregulatory. Moscow. Bowels. 366.

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ МІСЦЕВИЗНАЧЕНОЇ СІВБИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Л. В. Аніскевич

Аннотация. Проведен анализ модели функционирования машины для местоопределенного посева зерновых культур,

який дозволив визначити раціональні значення структури і параметрів управляючого дії бортового комп'ютера. Рекомендовано додати в програмне забезпечення бортового комп'ютера можливість оперативного введення часу затримки, яка обумовлена проходженням насіння по насіннєпроводу.

Ключові слова: *місцезаділений посів, карт-технологія, модель функціонування, імітаційне моделювання*

IMPROVING THE PROCESSES OF CITE-SPECIFIC SEEDING OF GRAIN CULTURES

L. V. Aniskevych

Abstract. *The analysis of model of system for cite-specific seeding of grain cultures was made, which allowed determining the rational values of the structure and parameters of the onboard computer control. It is advisable to add to the onboard computer software the possibility of prompt input of the delay time, which is due to grain passing through the seed line.*

Key words: *cite-specific seeding, card technology, operating model, simulation*

УДК 693.546

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РОЛИКОВОЇ ФОРМУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДИСИПАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РЕКУПЕРАЦІЙНОГО ПРИВІДНОГО МЕХАНІЗМУ

**В. С. Ловейкін, доктор технічних наук
ORCID 0000-0003-4259-3900**

**К. І. Почка, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-0355-002X**

**Ю. О. Ромасевич, доктор технічних наук
ORCID 0000-0001-5069-5929**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: lovvs@ukr.net**

Анотація. *З метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки з рекупераційним приводом розраховано навантаження в елементах її конструкції та приводу,*

© В. С. Ловейкін, К. І. Почка, Ю. О. Ромасевич, 2018

визначено функцію зміни необхідного крутного моменту для забезпечення процесу ущільнення виробів з будівельних сумішей із врахуванням жорсткості та дисипації приводного механізму. Встановлено залежність моменту у муфті приводу від величини коефіцієнта дисипації, розраховано функції зміни кінематичних характеристик установки при різних значеннях коефіцієнта дисипації. Визначено рекомендовані величини жорсткості та коефіцієнта дисипації для роlikової формувальної установки з рекупераційним приводним механізмом.

Ключові слова: *роlikова формувальна установка, приводний механізм, зусилля, момент, жорсткість, дисипація*

Постановка проблеми. В установках роlikового формування залізобетонних виробів під час їхньої роботи виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувальних візків [1–7]. Не дивлячись на досить широке дослідження технологічного процесу формування залізобетонних виробів безвібраційним роlikовим методом [1–4], до цих пір не було досліджено динаміку руху формувального візка та її вплив на процес формування. Мало приділялось уваги режимам руху формувального візка та зусиллям, що виникають в елементах приводного механізму.

Аналіз останніх досліджень. В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роlikового формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1–4]. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим динамічним навантаженням та режимам руху, що в значній мірі впливає на роботу установки та на якість готової продукції. Під час постійних пускогальмівних режимів руху виникають значні динамічні навантаження в елементах приводного механізму та в елементах формувального візка, що може привести до передчасного виходу установки з ладу [1–6]. Тому актуальною є задача дослідження динамічних навантажень в елементах установки. В роботах [8–12] визначались навантаження в елементах роlikових формувальних установок, одна при цьому не було враховано жорсткість та коефіцієнт дисипації приводного механізму.

Метою досліджень є визначення навантажень в елементах роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом із врахуванням жорсткості та коефіцієнта дисипації передавального механізму.

Результати досліджень. З метою зменшення витрат енергії в машинах роlikового формування запропоновано конструкцію

роликової формувальної установки [13, 14] для забезпечення ущільнення залізобетонних виробів на одній технологічній лінії, яка складається з двох формувальних візків, розташованих паралельно між собою з однієї сторони приводного валу, що приводяться в зворотно-поступальний рух від одного приводу, до складу якого входять два кривошипно-повзунні механізми, кривошипи яких жорстко закріплені на одному приводному валу та зміщені між собою на кут $\frac{\pi}{2}$ (рис. 1, а). Кожний з формувальних візків 1 та 2 змонтовані на порталі 8 і здійснюють зворотно-поступальний рух в напрямних 9 над порожниною форми 10. Формувальний візок 1 складається з подавального бункера 11 та з співвісних секцій укочувальних роликів 12. Таку ж конструкцію має й інший візок. Візки 1 і 2 з розподільними бункерами приводяться в зворотно-поступальний рух за допомогою приводу, виконаного у вигляді двох кривошипно-повзунних механізмів, кривошипи 5 та 6 яких жорстко закріплені на одному приводному валу 7 і зміщені між собою на кут $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$. Шатуни 3 та 4 шарнірно з'єднані з формувальними візками 1 та 2, а іншими кінцями з'єднуються з кривошипами 5 та 6. Така конструкція формувальної установки дозволяє здійснювати передачу енергії від одного візка, який здійснює процес гальмування, до другого, який в цей момент здійснює процес розгону. На рис. 1, б зображено кінематичну схему роликової формувальної установки з рекупераційним приводом для формування залізобетонних виробів на одній технологічній лінії. На даній кінематичній схемі r – радіус кривошипів 5 та 6; l – довжина шатунів 3 та 4; φ – кутова координата положення кривошипа першого візка; $\Delta\varphi$ – кут зміщення одного кривошипа відносно другого; x_{B_1} та x_{B_2} – координати центрів мас візків 1 та 2 відповідно; β_1 та β_2 – кутові координати, що визначають положення шатунів першого та другого візків відносно горизонталі.

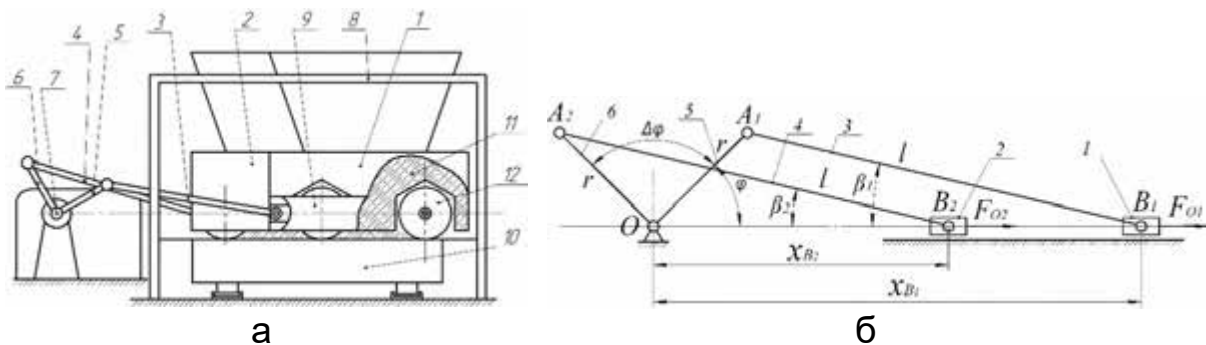


Рис. 1. Роликова формувальна установка з рекупераційним приводом для формування залізобетонних виробів на одній технологічній лінії (а) та її кінематична схема (б).

Під час роботи роликової формувальної установки з

рекупераційним приводним механізмом в елементах передавального механізму від електродвигуна до кривошипів виникають значні динамічні навантаження, які приводять до передчасного руйнування елементів конструкції приводу. Для дослідження цих навантажень використаємо двомасову динамічну модель роликової формувальної установки (рис. 2). В цій моделі прийняті такі позначення: M_{n1} – рушійний момент на валу приводного електродвигуна зведений до осі повороту кривошипів; M_{n2} – момент від сил опору переміщення формувальних візків з укочувальними роликами зведений до осі повороту кривошипів; J_{n1} – зведений до осі повороту кривошипів момент інерції ротора електродвигуна та елементів приводного механізму; J_{n2} – зведений до осі повороту кривошипів момент інерції формувальних візків та кривошипно-шатунних механізмів; c – жорсткість приводного механізму зведена до осі повороту кривошипів; φ_1 та φ_2 – узагальнені координати зведених мас J_{n1} та J_{n2} відповідно.

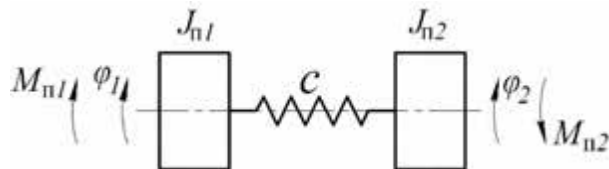


Рис. 2. Динамічна модель роликової формувальної установки.

Зведений момент інерції приводного механізму можна визначити наступною залежністю:

$$J_{n1} = (J_p + J_m) \cdot \delta \cdot u^2, \quad (1)$$

де: J_p та J_m – моменти інерції двигуна і муфти, що з'єднує вал двигуна та вхідний вал редуктора, відповідно; δ – коефіцієнт, що враховує моменти інерції елементів редуктора зведених до вала двигуна; u – передаточне число редуктора.

Зведений момент інерції J_{n2} визначимо з другої частини механізму (рис. 3), яка включає в себе кривошипно-шатунні механізми з формувальними візками. Причому масу шатунів першого та другого візків m_θ порівно розділимо в точках A_1 і B_1 та A_2 і B_2 . Тоді момент інерції кривошипів буде визначатися залежністю:

$$J_\kappa = 2 \cdot J'_\kappa + 2 \cdot \frac{m_u}{2} \cdot r^2 = 2 \cdot J'_\kappa + m_u \cdot r^2, \quad (2)$$

а маси візків будуть мати вигляд:

$$m_{B_1} = m'_{B_1} + \frac{m_u}{2}; \quad m_{B_2} = m'_{B_2} + \frac{m_u}{2}. \quad (3)$$

Тут m_u – маса кожного із шатунів; m'_{B_1} , m'_{B_2} – маса першого та

другого формувальних візків відповідно; J'_κ – момент інерції кожного із кривошипів відносно власної осі обертання; r – радіус кривошипів; J_κ – момент інерції кожного із кривошипів з половиною маси шатуна відносно власної осі обертання; m_{B_1} , m_{B_2} – маса першого та другого візків відповідно з половиною маси шатуна.

Зведений момент інерції $J_{п2}$ визначимо з умови рівності кінетичних енергій кривошипно-шатунних механізмів з візками T_p (рис. 3) та другого диска динамічної моделі (рис. 2) T_1 , тобто $T_p = T_M$.

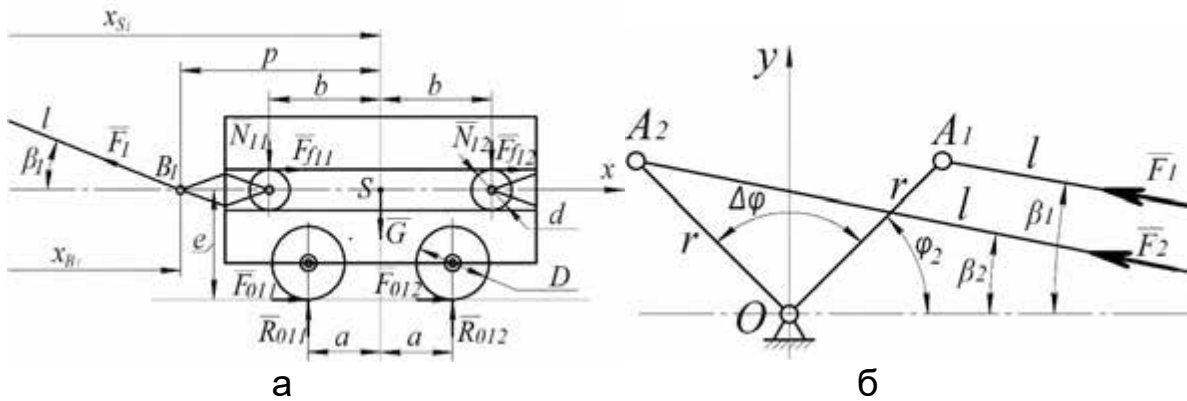


Рис. 3. Розрахункова схема навантажень на формувальний візок (а) та на приводний механізм (б) установки з рекупераційним приводом.

Знайдемо кінетичну енергію кривошипно-шатунних механізмів з візками:

$$T_p = \frac{1}{2} \cdot J_\kappa \cdot \dot{\varphi}_2^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{B_1} \cdot \dot{x}_{S_1}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{B_2} \cdot \dot{x}_{S_2}^2, \quad (4)$$

де: $\dot{x}_{S_1}$, $\dot{x}_{S_2}$ – швидкості центрів мас першого та другого формувальних візків відповідно.

Оскільки обидва візки рухаються поступально, то усі їхні точки мають однакову швидкість. Тому можна прийняти, що $\dot{x}_{S_1} = \dot{x}_{B_1}$ та $\dot{x}_{S_2} = \dot{x}_{B_2}$. Виразимо швидкості точок B_1 та B_2 через координати кривошипів та їх похідні за часом. Для цього скористаємось залежностями:

$$\dot{x}_{B_1} = \dot{\varphi}_2 \cdot \frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2}; \quad \dot{x}_{B_2} = \dot{\varphi}_2 \cdot \frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2}. \quad (5)$$

Тоді залежність (4) буде мати вигляд:

$$T_p = \frac{1}{2} \cdot \dot{\varphi}_2^2 \cdot \left[J_\kappa + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Кінетична енергія другого диска на рис. 2 виражається

залежністю:

$$T_M = \frac{1}{2} \cdot J_{п2} \cdot \dot{\varphi}_2^2. \quad (7)$$

Прирівнюючи залежності (6) та (7), будемо мати:

$$\frac{1}{2} \cdot \dot{\varphi}_2^2 \cdot \left[J_{\kappa} + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2 \right] = \frac{1}{2} \cdot J_{п2} \cdot \dot{\varphi}_2^2. \quad (8)$$

З рівняння (8) отримуємо:

$$J_{п2} = J_{\kappa} + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2. \quad (9)$$

Для визначення зведеного моменту сил опору $M_{п2}$ скористаємось рис. 3, на якому прийняті такі позначення: F_1 та F_2 – зусилля в шатунах, необхідне для подолання сил опору, що діють на візки; β_1 та β_2 – кутові координати, що визначають положення шатунів першого та другого візків відносно горизонталі; для першого формувального візка F_{011} , F_{012} – горизонтальні сили взаємодії укочувальних роликів з бетонною сумішшю; R_{011} , R_{012} – вертикальні сили взаємодії укочувальних роликів з бетонною сумішшю; N_{11} , N_{12} – нормальні реакції напрямних руху формувального візка на напрямні ролики; $F_{f11} = N_{11} \cdot f_{np}$, $F_{f12} = N_{12} \cdot f_{np}$ – сили тертя напрямних роликів по напрямних руху формувального візка; f_{np} – зведений коефіцієнт тертя напрямних роликів по напрямних руху формувального візка; G – сила тяжіння формувального візка; a , b , p , e – геометричні розміри формувального візка; D – діаметр укочувального ролика; d – діаметр напрямного ролика; l – довжина шатуна. Для другого формувального візка силові параметри F_{021} , F_{022} , R_{021} , R_{022} , N_{21} , N_{22} , F_{f21} , F_{f22} , f_{np} , G та геометричні характеристики a , b , p , e , D , d , l будуть ідентичні.

Для визначення реакцій напрямних роликів N_{11} , N_{12} , N_{21} та N_{22} , а також зусиль в шатунах F_1 та F_2 розглянемо статичну рівновагу першого та другого формувальних візків. Спроекуємо всі сили, що діють на кожний з візків на координатні осі x і y та складемо суму моментів цих сил відносно точок B_1 та B_2 (рис. 3) в результаті чого отримаємо:

- для першого формувального візка:

$$\begin{cases} \sum X = -F_1 \cdot \cos \beta_1 + N_{11} \cdot f_{np} + N_{12} \cdot f_{np} + F_{011} + F_{012} = 0; \\ \sum Y = F_1 \cdot \sin \beta_1 - N_{11} - N_{12} - G + R_{011} + R_{012} = 0; \\ \sum M_{B_1} = -N_{11} \cdot (p-b) - N_{12} \cdot (p+b) - G \cdot p - (N_{11} + N_{12}) \cdot f_{np} \cdot \frac{d}{2} + \\ \quad + (F_{011} + F_{012}) \cdot e + R_{011} \cdot (p-a) + R_{012} \cdot (p+a) = 0. \end{cases} \quad (10)$$

- для другого формувального візка:

$$\begin{cases} \sum X = -F_2 \cdot \cos \beta_2 + N_{21} \cdot f_{np} + N_{22} \cdot f_{np} + F_{021} + F_{022} = 0; \\ \sum Y = F_2 \cdot \sin \beta_2 - N_{21} - N_{22} - G + R_{021} + R_{022} = 0; \\ \sum M_{B_2} = -N_{21} \cdot (p-b) - N_{22} \cdot (p+b) - G \cdot p - (N_{21} + N_{22}) \cdot f_{np} \cdot \frac{d}{2} + \\ + (F_{021} + F_{022}) \cdot e + R_{021} \cdot (p-a) + R_{022} \cdot (p+a) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Розв'язавши системи рівнянь (10) та (11), знаходимо:

$$F_1 = \frac{1}{\cos \beta_1 - f_{np} \cdot \sin \beta_1} \cdot [(R_{011} + R_{012} - G) \cdot f_{np} + F_{011} + F_{012}]; \quad (12)$$

$$F_2 = \frac{1}{\cos \beta_2 - f_{np} \cdot \sin \beta_2} \cdot [(R_{021} + R_{022} - G) \cdot f_{np} + F_{021} + F_{022}]; \quad (13)$$

$$N_{12} = \frac{1}{2 \cdot b} \cdot \left[R_{011} \cdot \left(b - a - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) + R_{012} \cdot \left(b + a - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) - \right. \\ \left. - G \cdot \left(b - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) + F_1 \cdot \sin \beta_1 \cdot \left(b - p - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) \right]; \quad (14)$$

$$N_{22} = \frac{1}{2 \cdot b} \cdot \left[R_{021} \cdot \left(b - a - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) + R_{022} \cdot \left(b + a - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) - \right. \\ \left. - G \cdot \left(b - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) + F_2 \cdot \sin \beta_2 \cdot \left(b - p - f_{i\partial} \cdot \frac{d}{2} \right) \right]; \quad (15)$$

$$N_{11} = R_{011} + R_{012} + F_1 \cdot \sin \beta_1 - N_{12} - G; \quad (16)$$

$$N_{21} = R_{021} + R_{022} + F_2 \cdot \sin \beta_2 - N_{22} - G. \quad (17)$$

На основі залежностей (12) та (13) знайдемо моменти сил опору M_{o1} і M_{o2} від кожного з формувальних візків та сумарний момент сил опору M_{n2} , зведений до осі повороту кривошипів:

$$M_{01} = F_1 \cdot r \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_2 - \beta_1 \right) = F_1 \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \beta_1); \quad (18)$$

$$M_{02} = F_2 \cdot r \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - (\varphi_2 + \Delta\varphi) - \beta_2 \right) = F_2 \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi + \beta_2); \quad (19)$$

$$M_{n2} = M_{01} + M_{02} = F_1 \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \beta_1) + F_2 \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi + \beta_2). \quad (20)$$

Величина кутів β_1 та β_2 може бути визначена зі співвідношень:

$$r \cdot \sin \varphi_2 = l \cdot \sin \beta_1; \quad r \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) = l \cdot \sin \beta_2. \quad (21)$$

$$\text{Звідки } \beta_1 = \arcsin \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \varphi_2 \right); \quad \beta_2 = \arcsin \left(\frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right). \quad (22)$$

Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду складемо диференціальні рівняння руху роликової формуальної установки з рекупераційним приводом, представленій двомасовою динамічною моделлю:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} &= Q_{\varphi_1} - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} &= Q_{\varphi_2} - \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_2}, \end{aligned} \quad (23)$$

де: t – час; T – кінетична енергія системи; Q_{φ_1} , Q_{φ_2} – узагальнені сили,

що відповідають координатам φ_1 та φ_2 відповідно; Π – потенціальна енергія системи, яка має вигляд:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot c \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)^2. \quad (24)$$

Кінетична енергія системи виражається залежністю:

$$T = \frac{1}{2} \cdot J_{n1} \cdot \dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2} \cdot \left[J_{\kappa} + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2 \right] \cdot \dot{\varphi}_2^2. \quad (25)$$

Узагальнені сили мають вигляд:

$$Q_{\varphi_1} = M_{n1}; \quad Q_{\varphi_2} = M_{n2}, \quad (26)$$

де: M_{n1} – рушійний момент на валу приводного електродвигуна зведений до осі повороту кривошипа, який визначається за формулою Клосса:

$$M_{n1} = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot u \cdot \eta_n}{1 - \frac{\dot{\varphi}_1 \cdot u}{\omega_0} + \frac{s_{кр}}{1 - \frac{\dot{\varphi}_1 \cdot u}{\omega_0}}}. \quad (27)$$

Тут $M_{кр}$ – критичний (максимальний) момент на валу приводного електродвигуна; u – передаточне число приводного механізму; η_n – коефіцієнт корисної дії приводного механізму; ω_0 – синхронна кутова швидкість ротора приводного електродвигуна; $s_{кр}$ – критичне ковзання електродвигуна, яке визначається залежністю:

$$s_{кр} = s_n \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}),$$

де: λ – кратність максимального моменту електродвигуна (перевантажувальна здатність двигуна); s_n – номінальне ковзання електродвигуна, що визначається наступним виразом:

$$s_n = 1 - \frac{\omega_n}{\omega_0}.$$

Тут ω_n – номінальна кутова швидкість ротора приводного електродвигуна. Взявши похідні від виразу кінетичної енергії системи, отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} &= 0; \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = \dot{\varphi}_2^2 \cdot \left[m_{B_1} \cdot \frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_1}}{\partial \varphi_2^2} + m_{B_2} \cdot \frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_2}}{\partial \varphi_2^2} \right]; \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} &= J_{n1} \cdot \dot{\varphi}_1; \quad \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} = \left[J_{\kappa} + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2 \right] \cdot \dot{\varphi}_2; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} &= J_{n1} \cdot \ddot{\varphi}_1; \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} = \left[J_{\kappa} + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2 \right] \cdot \ddot{\varphi}_2 + \\ &\quad + \dot{\varphi}_2^2 \cdot \left[m_{B_1} \cdot \frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_1}}{\partial \varphi_2^2} + m_{B_2} \cdot \frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_2}}{\partial \varphi_2^2} \right]. \end{aligned} \quad (28)$$

Після підстановки виразів (24), (26), (27), (12), (13) та (20) в

систему рівнянь (23) отримаємо:

$$\left\{ \begin{aligned} J_{\pi 1} \cdot \ddot{\varphi}_1 &= \frac{2 \cdot M_{\kappa p} \cdot u \cdot \eta_n}{1 - \frac{\dot{\varphi}_1 \cdot u}{\omega_0} + \frac{s_{\kappa p}}{1 - \frac{\dot{\varphi}_1 \cdot u}{\omega_0}}} - c \cdot (\varphi_1 - \varphi_2); \\ \left[J_{\kappa} + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2 \right] \cdot \ddot{\varphi}_2 + \\ + \ddot{\varphi}_2^2 \cdot \left[m_{B_1} \cdot \frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_1}}{\partial \varphi_2^2} + m_{B_2} \cdot \frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_2}}{\partial \varphi_2^2} \right] = \\ = c \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - \frac{1}{\cos \beta_1 - f_{np} \cdot \sin \beta_1} \cdot [(R_{011} + R_{012} - G) \cdot f_{np} + F_{011} + F_{012}] \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \beta_1) - \\ - \frac{1}{\cos \beta_2 - f_{np} \cdot \sin \beta_2} \cdot [(R_{021} + R_{022} - G) \cdot f_{np} + F_{021} + F_{022}] \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta \varphi + \beta_2). \end{aligned} \right. \quad (29)$$

Для роlikової формувальної установки з параметрами [4]: $r = 0,2 м$; $l = 0,8 м$; горизонтальні сили взаємодії укочувальних роликів з бетонною сумішшю $F_{011} = F_{012} = F_{021} = F_{022} = 7962 Н$ при здійсненні процесу ущільнення формувальним візком з двома укочувальними роликами радіусом $R = 0,11 м$ будівельної суміші з наступними характеристиками: висота виробу – $h_0 = 0,22 м$, ширина виробу – $B = 1,164 м$; тип суміші, що ущільнюється – дрібнозерниста суміш; вологість бетонної суміші – $W = 10\%$; потрібна щільність виробу – $k_{yuy} = 0,98$; величина максимального контактного тиску, що забезпечує $k_{yuy} = 0,98$ при $W = 10\%$, за експериментальними даними $p = 625 кПа$; $R_{011} = R_{012} = R_{021} = R_{022} = 9740 Н$; $m_{ш} = 64 кг$; $m'_{B_1} = m'_{B_2} = 1000 кг$; $f_{np} = 0,008$; $D = 0,22 м$; $d = 0,046 м$; $a = 0,27 м$; $b = 0,37 м$; $p = 0,52 м$; $e = 0,21 м$; маса візка з половиною маси шатуна $m_{B_1} = m_{B_2} = 1032 кг$; $G = 10124,9 Н$ за виразами (12)–(20) визначено функції та побудовано графіки зміни реакцій напрямних роликів N_{11} , N_{12} , N_{21} і N_{22} (рис. 4), зусилля в шатунах F_1 і F_2 (рис. 5) та моментів сил опору M_{o1} , M_{o2} та $M_{\pi 2}$ (рис. 6) в залежності від кута повороту кривошипів.

За середнім значенням зведеного моменту сил опору за цикл повороту кривошипа визначено номінальну розрахункову потужність двигуна [15, 16]. За цими даними вибрано асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором серії 4А основного виконання 4А160S6У3 [17] з параметрами: $\omega_o = 104,72 рад/с$, $\omega_n = 102,1 рад/с$, $\omega_{\kappa p} = 94,95 рад/с$ – синхронна, номінальна та критична

швидкості обертання ротора двигуна; $J_p = 0,138 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції ротора двигуна; $M_n = 129,24 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – пусковий момент; $M_n = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – номінальний момент; $M_{кр} = 215,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – критичний момент; $\lambda = \frac{M_{кр}}{M_n} = 2,0$ – відношення критичного моменту до номінального; $s_n = 0,025$ – номінальне ковзання електродвигуна; $s_{кр} = 0,0933$ – критичне ковзання електродвигуна. Також підібрано з'єднувальну муфту МУВП [18] з номінальним моментом, що передається, $M_{мном} = 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ і моментом інерції $I_m = 0,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ та редуктор Ц2-400 з передаточним числом $u = 9,8$ і моментом інерції $I_{ред} = 0,046 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

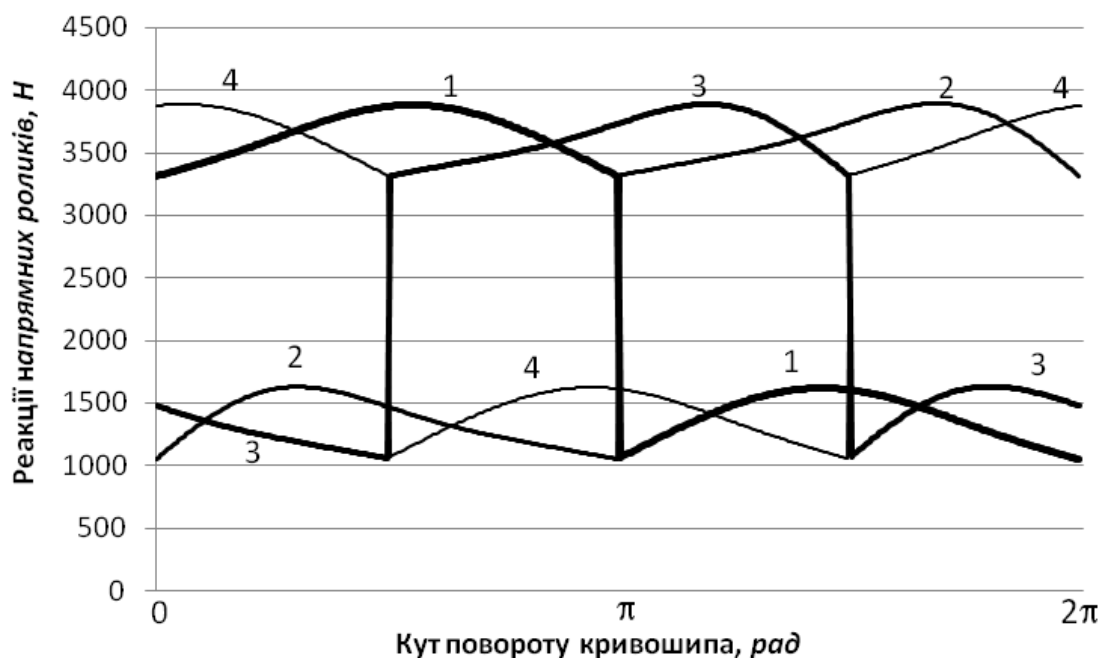


Рис. 4. Графіки зміни реакцій напрямних роликів N_{11} (1), N_{12} (2), N_{21} (3) та N_{22} (4) в залежності від кута повороту кривошипів.

Значення першої та другої передаточних функцій візків визначаються з виразів функцій зміни координат першого та другого формувальних візків відповідно (рис. 1, б) [5, 8]:

$$x_{B_1} = r \cdot \cos \varphi_2 + l \cdot \cos \beta_1; \quad (30)$$

$$x_{B_2} = r \cdot \cos(\varphi_2 + \Delta\varphi) + l \cdot \cos \beta_2. \quad (31)$$

З рівностей (21) можна отримати:

$$\sin \beta_1 = \frac{r}{l} \cdot \sin \varphi_2 \rightarrow \cos \beta_1 = \left[1 - \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \varphi_2 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (32)$$

$$\sin \beta_2 = \frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) \rightarrow \cos \beta_2 = \left[1 - \left(\frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (33)$$

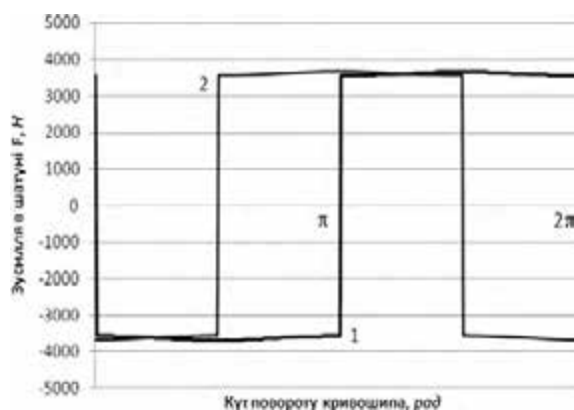


Рис. 5. Графік зміни зусилля в шатунах F_1 (1) та F_2 (2) в залежності від кута повороту кривошипів.

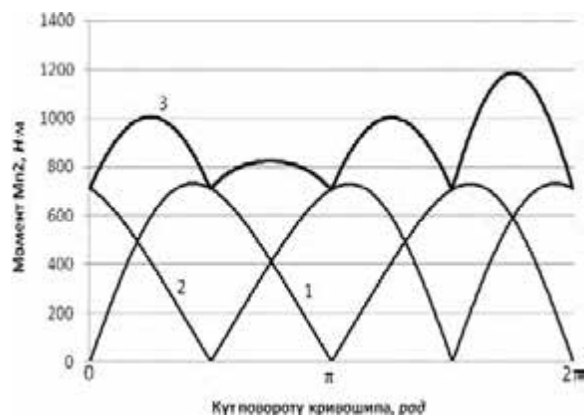


Рис. 6. Графік зміни моментів сил опору M_{o1} (1), M_{o2} (2) та M_{n2} (3) в залежності від кута повороту кривошипів.

Вирази $\cos \beta_1$ та $\cos \beta_2$ можна розкласти в ряд за формулою бінома Ньютона:

$$\left[1 - \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \varphi_2 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \varphi_2 \right)^2 - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \varphi_2 \right)^4 - \dots; \quad (34)$$

$$\left[1 - \left(\frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right)^2 - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right)^4 - \dots \quad (35)$$

Відношення $\frac{r}{l}$ для роликів формувальних установок з кривошипно-шатунними приводними механізмами не перевищують $\frac{1}{3}$ і ряди (34) та (35) досить швидко сходяться, тому з достатньою для практики точністю можна відкинути третій та подальші члени рядів (34) та (35). Тоді залежності (30) та (31) будуть мати вигляд:

$$x_{B_1} = r \cdot \cos \varphi_2 + l \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin \varphi_2 \right)^2 \right]; \quad (36)$$

$$x_{B_2} = r \cdot \cos(\varphi_2 + \Delta\varphi) + l \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{r}{l} \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right)^2 \right]. \quad (37)$$

Значення першої та другої передаточних функцій обох формувальних візків матимуть вигляд:

$$\frac{\partial x_{B1}}{\partial \varphi_2} = -r \cdot \left(\sin \varphi_2 + \frac{r}{2 \cdot l} \cdot \sin 2\varphi_2 \right); \quad \frac{\partial x_{B2}}{\partial \varphi_2} = -r \cdot \left[\sin(\varphi_2 + \Delta\varphi) + \frac{r}{2 \cdot l} \cdot \sin 2(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right]; \quad (38)$$

$$\frac{\partial^2 x_{B1}}{\partial \varphi_2^2} = -r \cdot \left(\cos \varphi_2 + \frac{r}{l} \cdot \cos 2\varphi_2 \right); \quad \frac{\partial^2 x_{B2}}{\partial \varphi_2^2} = -r \cdot \left[\cos(\varphi_2 + \Delta\varphi) + \frac{r}{l} \cdot \cos 2(\varphi_2 + \Delta\varphi) \right]. \quad (39)$$

В результаті числового експерименту встановлено, що оптимальне значення жорсткості привідного механізму, зведеної до осі обертання кривошипів, установки з рекупераційним приводом із наведеними вище параметрами становить $c = 110000 \frac{H}{м}$. При цьому значенні жорсткості спостерігаються мінімальні навантаження у муфтах привідного механізму. Це значення жорсткості використано в наступних розрахунках.

Для дослідження динаміки руху роликової формувальної установки з урахуванням дисипації при пускогальмівних режимах руху формувальних візків систему рівнянь (29) було доповнено величиною дисипації приводу k .

Розв'язавши систему рівнянь (40) визначено та побудовано графічну залежність зміни максимального $M_{\text{муф max}}$ (рис. 7) та середньоквадратичного $\tilde{M}_{\text{муф}}$ (рис. 8) моментів у муфті в залежності від коефіцієнту дисипації. Аналіз графіків показує, що при всіх значеннях коефіцієнта дисипації в межах від $k = 200 \frac{H \cdot c}{м}$ до $k = 10000 \frac{H \cdot c}{м}$ відбувається зменшення максимального та середньоквадратичного моментів, однак в межах від $k = 200 \frac{H \cdot c}{м}$ до $k = 6000 \frac{H \cdot c}{м}$ іде різка зміна, а потім іде їхня плавна стабілізація, яка майже не впливає на зміну динаміки руху установки.

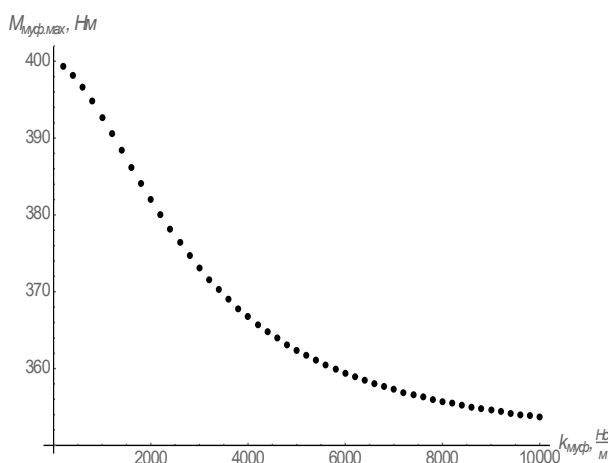


Рис. 7. Графік зміни максимального моменту $M_{\text{муф max}}$ у муфті в залежності від коефіцієнту дисипації.

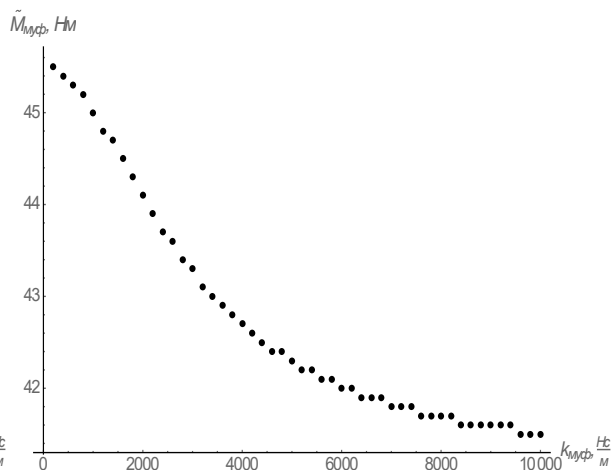


Рис. 8. Графік зміни середньоквадратичного моменту $\tilde{M}_{\text{муф}}$ у муфті в залежності від коефіцієнту дисипації.

$$\begin{cases}
J_{\pi 1} \cdot \ddot{\varphi}_1 = \frac{2 \cdot M_{\kappa p} \cdot u \cdot \eta_n}{1 - \frac{\dot{\varphi}_1 \cdot u}{\omega_0} + \frac{s_{\kappa p}}{1 - \frac{\dot{\varphi}_1 \cdot u}{\omega_0}}} - c \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - k \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2); \\
\left[J_{\kappa} + m_{B_1} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \right)^2 + m_{B_2} \cdot \left(\frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \right)^2 \right] \cdot \ddot{\varphi}_2 + \\
+ \dot{\varphi}_2^2 \cdot \left[m_{B_1} \cdot \frac{\partial x_{B_1}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_1}}{\partial \varphi_2^2} + m_{B_2} \cdot \frac{\partial x_{B_2}}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial^2 x_{B_2}}{\partial \varphi_2^2} \right] = \\
= c \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + k \cdot (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - \\
- \frac{1}{\cos \beta_1 - f_{np} \cdot \sin \beta_1} \cdot [(R_{011} + R_{012} - G) \cdot f_{np} + F_{011} + F_{012}] \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \beta_1) - \\
- \frac{1}{\cos \beta_2 - f_{np} \cdot \sin \beta_2} \cdot [(R_{021} + R_{022} - G) \cdot f_{np} + F_{021} + F_{022}] \cdot r \cdot \sin(\varphi_2 + \Delta \varphi + \beta_2).
\end{cases} \quad (40)$$

Виходячи із системи рівнянь (40) розраховано та побудовано графіки зміни моменту у муфті $M_{\text{муф}}$ (рис. 9) на ділянці усталеного руху в залежності від часу при значеннях коефіцієнта дисипації $k = 2000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ (сірий колір) та $k = 8000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ (чорний колір). Аналіз цих графіків показує, що при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 2000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ момент у муфті на усталеному режимі руху змінюється в межах від $M_{\text{муф min}} = -550 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до $M_{\text{муф max}} = 710 \text{ Н} \cdot \text{м}$. При значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 8000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ момент у муфті на усталеному режимі руху змінюється в межах від $M_{\text{муф min}} = -360 \text{ Н} \cdot \text{м}$ до $M_{\text{муф max}} = 340 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

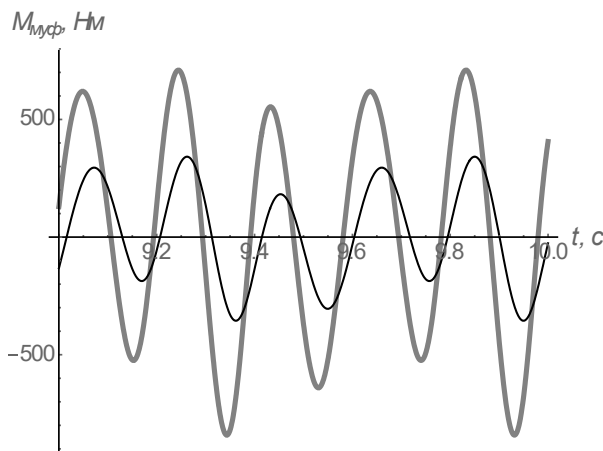


Рис. 9. Графік зміни моменту у муфті $M_{\text{муф}}$ в залежності від часу.

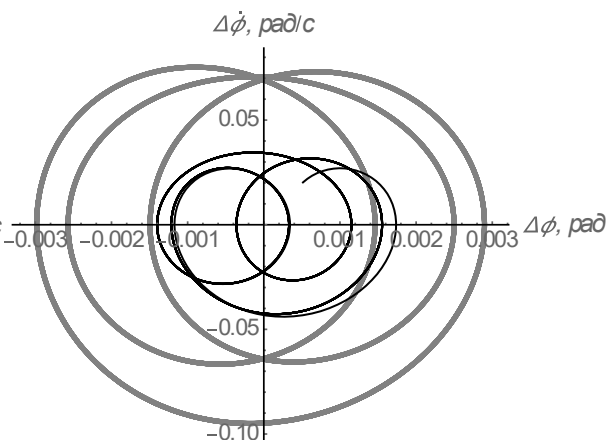


Рис. 10. Графічна залежність $((\varphi_1 - \varphi_2), (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2))$.

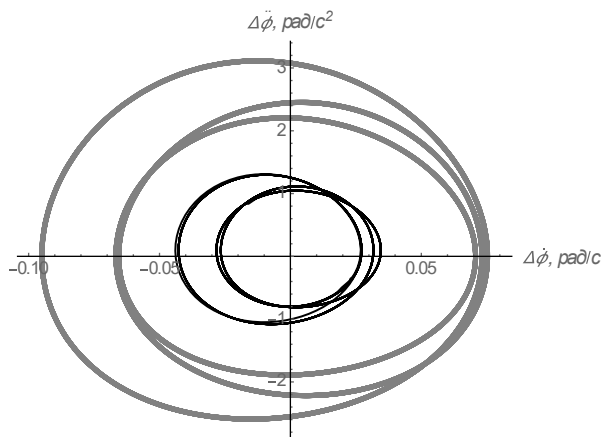


Рис. 11. Графічна залежність $((\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2), (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2))$.

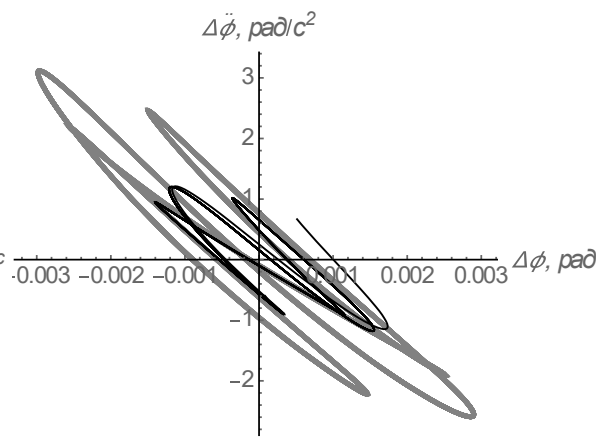


Рис. 12. Графічна залежність $((\varphi_1 - \varphi_2), (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2))$.

На рис. 10 – рис. 12 наведено графічні залежності $((\varphi_1 - \varphi_2), (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2))$, $((\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2), (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2))$ та $((\varphi_1 - \varphi_2), (\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2))$ при значеннях коефіцієнта дисипації $k = 2000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ (сірий колір) та $k = 8000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ (чорний колір) відповідно. Аналіз цих графіків показує їх однаковий характер зміни, однак при значенні коефіцієнта дисипації приводу $k = 8000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ їх амплітуда по осі абсцис та по осі ординат має більше значення ніж при $k = 2000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень з метою підвищення надійності та довговічності роликової формувальної установки з рекупераційним приводом розраховано навантаження в елементах її конструкції та приводу, визначено функцію зміни необхідного крутного моменту на привідному валу кривошипів для забезпечення процесу ущільнення виробів з будівельних сумішей із врахуванням жорсткості та дисипації привідного механізму.

2. Для роликової формувальної установки з рекупераційним привідним механізмом визначено значення жорсткості привідного механізму, зведеної до осі обертання кривошипів, при якому спостерігаються мінімальні навантаження у муфтах привідного механізму.

3. Проаналізовано залежність крутного моменту у муфті приводу від величини коефіцієнта дисипації.

4. Для роликової формувальної установки з рекупераційним привідним механізмом із вказаними вище параметрами рекомендована величина коефіцієнта дисипації має значення в межах від $k = 6000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ до $k = 8000 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$. Більше значення коефіцієнта

дисипації на динаміку установки впливатиме не значно, однак потребуватиме більшої точності виготовлення привідного механізму.

5. Результати роботи можуть в подальшому бути корисними для уточнення та удосконалення існуючих інженерних методів розрахунку привідних механізмів машин роликового формування як на стадіях проектування/конструювання, так і в режимах реальної експлуатації.

Список літератури

1. *Гарнець В. М.* Прогресивні бетоноформуючі агрегати і комплекси. Київ. Будівельник. 1991. 144 с.
2. *Гарнець В. М., Зайченко С. В., Човнюк Ю. В., Шаленко В. О., Приходько Я. С.* Бетоноформувальні агрегати. Конструктивно-функціональні схеми, принцип дії, основи теорії. Київ. Інтерсервіс. 2015. 238 с.
3. *Кузин В. Н.* Технология роликового формования плоских изделий из мелкозернистых бетонов. Автореф. дис... канд. наук. Москва. 1981. 20 с.
4. *Рюшин В. Т.* Исследование рабочего процесса и разработка методики расчета машин роликового формования бетонных смесей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев. 1986. 190 с.
5. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Динамічний аналіз роликової формувальної установки з рекупераційним приводом. Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин: Праці І-ї Міжнародної науково-технічної конференції (DSR AM-I). Тернопіль. 2004. С. 507–514.
6. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Результати експериментальних досліджень режимів руху роликової формувальної установки з рекупераційним приводом. Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2007. Вип. 59. Том 1. С. 465–474.
7. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Визначення оптимального значення кута зміщення кривошипів роликової формувальної установки з рекупераційним приводом. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів. 2007. № 41. С. 127–134.
8. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Визначення навантажень в елементах роликових формувальних установок. Збірник наукових праць. Харків. УкрДАЗТ. 2008. Вип. 88. С. 15–20.
9. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Визначення навантажень в елементах роликової формувальної установки. Теорія і практика будівництва. 2007. № 3. С. 19–23.
10. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Дослідження динамічних навантажень в елементах роликових формувальних установок. Materialy VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference "Vznik moderni vedecke – 2012". Dil. 18. Technicke vedy. Moderni informacni technologie: Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o. P. 20–25.
11. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Дослідження навантажень в елементах роликової формувальної установки з врівноваженим приводом. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів. 2015. Вип. 49. С. 73–79.
12. *Ловеїкін В. С., Почка К. І.* Анализ динамического уравнивания приводов машин роликового формования. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin-Rzeszow. 2016. Vol. 18. No 3. P. 41–52.
13. *Патент України на винахід № 67091 А.* Установка для формирования виробів з бетонних сумішей. Ловеїкін В. С., Гарнець В. М., Почка К. І. № u2003076371, заявл. 08.07.2003, опубл. 15.06.2004. Бюл. № 6.

14. Патент України на винахід № 70523 А. Установка для формования виробів з бетонних сумішей. Ловейкін В. С., Гарнець В. М., Почка К. І. № u20031110814, заявл. 28.11.2003, опубл. 15.10.2004. Бюл. № 10.
15. Ловейкін В. С., Почка К. І. Аналіз нерівномірності руху роликової формовочної установки з рекупераційним приводом. Підйомно-транспортна техніка. 2005. Вип. 4. С. 19–33.
16. Ловейкін В. С., Почка К. І. Вплив кута зміщення кривошипів на нерівномірність руху роликової формовочної установки з рекупераційним приводом. Техніка будівництва. 2006. № 18. С. 12–22.
17. *Электротехнический справочник* Т. 2. Электротехнические изделия и устройства / Под ред. профессоров МЭИ (гл. ред. И. Н. Орлов). 7-е изд., испр. и доп. Москва. Энергоатомиздат. 1986. 712 с.
18. Шейнблит А. Е. Курсовое проектирование деталей машин. Москва. Высшая школа. 1991. 432 с.

References

1. Garnets, V. M. (1991). Progressive betonform aggregates and complexes. Kiev. Builder. 144.
2. Garnets, V. M., Zaichenko, S. V., Chovnyk, J. V., Chalenko, V. A., Prikhodko, Y. S. (2015). Blonoforsale units. Structurally-functional diagram, operating principle, basic theory. Kiev. Interservis. 238.
3. Kuzin, V. N. (1981). Technology of roller forming of flat products made from fine-grained concrete. Abstract. dis... kand. Sciences. Moscow. 20.
4. Rusin, V. T. (1986). Study of working process and development of methodology for calculating machines, roller forming concrete mixes. The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences. Kiev. 190.
5. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2004). Dynamic analysis of roller formovochno installing recuperation drive. Dynamics, strength and reliability of agricultural machinery: proceedings of the 1st International scientific and technical conference (DSR AM-I). Ternopil. 507–514.
6. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2007). Results of experimental researches of the modes of motion of the molding roller installing recuperation drive. Bulletin of Kharkov National University of Agriculture after Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 59. Volume 1. 465–474.
7. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2007). Determination of optimum values of the offset angle of the cranks roller molding installing recuperation drive. Automation of production processes in machine building and instrument making. Lviv. No. 41. 127–134.
8. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2008). Determination of loads in the elements of the roller forming units. Collection of scientific works. Kharkov. UkrGaz. Vol. 88. 15–20.
9. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2007). Determination of loads in the elements of the roller of the molding installation. Theory and practice of construction. No. 3. 19–23.
10. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2012). Study of dynamic loads in elements of the roller forming units. Materialy VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference “moderni vedecke Vznik – 2012”. Dil. 18. Technicke vedy. Moderni informacni technologie. Praha. Publishing House “Education and Science”. 20–25.
11. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2015). Study of loads in the elements of the roller of the molding installation with a balanced drive. Automation of production processes in machine building and instrument making. Lviv. Vol. 49. 73–79.

12. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2016). Analysis dynamic balancing of the drive machine for roller molding. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin-Rzeszow. Vol. 18. No 3. 41–52.
13. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2004). Patent of Ukraine for invention. No 67091A. Device for molding articles from concrete mixes. No u2003076371, Appl. 08.07.2003, publ. 15.06.2004. Bull. No. 6.
14. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2004). Patent of Ukraine for invention. No 70523A. Device for molding articles from concrete mixes. Nou20031110814, Appl. 28.11.2003, publ. 15.10.2004. Bull. No 10.
15. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2005). Analysis of the uneven movement of the roller formovochno installing recuperation drive. Handling equipment. Vol. 4. 19–33.
16. Loveikin, V. S., Pochka, K. I. (2006). Influence of the angle of displacement of the cranks to the uneven movement of the roller formovochno installing recuperation drive. Technique of construction. No 18. 12–22.
17. *Electrical Handbook* vol. 2. (1986). Electrical products and devices / Under the editorship of professors MEI (ed. I. N. Orlov). 7th ed., Rev. and extra Moscow. Energoatomizdat. 712.
18. Sheynblat, A. E. (1991). Course design of machine parts. Moscow. High school. 432.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РОЛИКОВОЙ ФОРМОВОЧНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ РЕКУПЕРАЦИОННОГО ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА

В. С. Ловеikin, К. И. Почка, Ю. А. Ромасевич

Аннотация. С целью повышения надёжности и долговечности роликовой формовочной установки с рекуперационным приводом рассчитаны нагрузки в элементах её конструкции и привода, определена функция изменения необходимого крутящего момента для обеспечения процесса уплотнения изделий из строительных смесей с учётом жёсткости и диссипации приводного механизма. Установлена зависимость момента в муфте привода от величины коэффициента диссипации, рассчитаны функции изменения кинематических характеристик установки при разных значениях коэффициента диссипации. Определены рекомендованные величины жёсткости и коэффициента диссипации для роликовой формовочной установки с рекуперационным приводным механизмом.

Ключевые слова: роликовая формовочная установка, приводной механизм, усилие, момент, жёсткость, диссипация

DYNAMIC ANALYSIS OF ROLLER MOLDING INSTALLATION, TAKING INTO ACCOUNT THE DISSIPATIVE PROPERTIES RECUPERATING DRIVE MECHANISM

V. S. Loveikin, K. I. Pochka, Yu. O. Romasevich

Abstract. For the purpose of increase in reliability and durability of roller forming installation with the recuperative drive loadings in elements

of her design and the drive are calculated, function of change of necessary torque for ensuring process of consolidation of products of construction mixes taking into account rigidity and dissipation of the driving mechanism is defined. The dependence of the moment is installed in the drive coupling from dissipation coefficient size, functions of change of kinematic characteristics of installation at different values of coefficient of dissipation are calculated. The recommended sizes of rigidity and coefficient of dissipation for roller forming installation with the recuperative driving mechanism are determined.

Key words: roller forming installation, driving mechanism, effort, moment, rigidity, dissipation

УДК 631.333.92:879.4

ЗМІНА ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ГНОЄ-КОМПОСТНОЇ СУМІШІ ПОСЛІДУ В РЕЗУЛЬТАТІ ЙОГО КОМПОСТУВАННЯ В БУРТАХ

**С. І. Павленко, кандидат технічних наук,
ORCID 0000-0003-3352-5797**

**Г. А. Голуб, доктор технічних наук,
ORCID 0000-0002-2388-0405**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: gagolub@ukr.net**

Анотація. Пошук методів швидкого і ефективного визначення структурного складу сумішей з вологістю більше 40–50 %, до яких відноситься компостуємо органічна сировина, являється об'єктивно цінним науковим матеріалом. Одним із варіантів таких методик можуть скласти сучасні цифрові технології і статистичні методи обробки інформації на базі ефективного програмного забезпечення. Метою дослідження є розробка алгоритму і проведення статистичної обробки цифрової інформації світлин фракційного складу гноє-компостної суміші посліду при його компостуванні в буртах.

Алгоритм визначення складу суміші включав наступні дії: на першому етапі формувались світлини-фотографії цифровою камерою. Одержані відображення в форматі JPEG заносились в оригінальну комп'ютерну програму, де в режимі сканування переводились в двомірні цифрові матриці, що відображали коефіцієнти світового відбиття і поглинання від поверхні часток.

© С. І. Павленко, Г. А. Голуб, 2018

Використовуючи програму розкладу в ряди Фур'є, проводилось вирівнювання значень і по новим значенням матриці будувались поверхні, що відображають розподіл коефіцієнтів світлового відбиття і поглинання. На основі нових матриць формувались статистичні ряди агрегатів, розподілених на поверхні. Після будувалася інтегральний розподіл розмірів агрегатів. Їх кількість до 50 інтервалів. Із одержаних даних обчислювались складові гаусіани. Такий методичний підхід дозволяє виділити фракції агрегатів, їх відсоток в загальній масі, середні розміри і порівняти компостуємо сировину до і після технологічної їх обробки, використовуючи конкретні числові параметри: середнє, дисперсію і співвідношення в межах порівняльного аналізу.

Проведена експериментальна перевірка на трьохмірних побудовах фракційного складу компостуємої сировини до (вологість 26 %) і після обробки (вологість 50 %). Результати аналізу світлин по трьом базовим фракціям: для обробленого компосту: I фракція – середнє – $0,28 \text{ см}^3$, дисперсія $0,019 \text{ см}^3$, відсоток кількості – 10 %; II фракція – середній розмір – $0,98 \text{ см}^3$, дисперсія $0,040 \text{ см}^3$, відсоток кількості – 72 %; III фракція – середній розмір $1,75 \text{ см}^3$, дисперсія $0,060 \text{ см}^3$, відсоток – 13 %; для необробленого: I фракція – середнє – $0,44 \text{ см}^3$, дисперсія $0,019 \text{ см}^3$, відсоток кількості – 50 %; II фракція – середній розмір – $0,77 \text{ см}^3$, дисперсія $0,020 \text{ см}^3$, відсоток кількості – 18 %; III фракція – середній розмір $1,56 \text{ см}^3$, дисперсія $0,060 \text{ см}^3$, відсоток – 32 %.

Таким чином, візуальна оцінка фракційного складу компосту до і після технологічної обробки свідчить про різницю в якості сировини, а використання методу статистичної обробки числових світлин забезпечує одержання чисельних показників для ідентифікації, аналізу і порівняння процесів і засобів.

Ключові слова: *послід, компост, бурт, фракційний склад, статистичний метод, цифрові зображення, статистичний розподіл, числові показники*

Постановка проблеми. Виробництво компостів із органічної сировини потребує оцінки якості фракційного складу суміші. Визначення цього показника проводиться на основі масової долі відсоткового вмісту фракцій, що визначаються ситовим аналізом, аналогічно визначенню відсотків фракцій ґрунту. Дієвість і об'єктивність одержання показників справедлива до вологості 30–35% за нашими спостереженнями. При більших значеннях вологості частки сировини злипаються, а від цього змінюється структурний склад, визначити який доволі трудомістко, не завжди об'єктивно, не санітарно-гігієнічно, що визвано специфікою органічних

відходів – гною, посліду та інше. Виконання визначення фракційного складу іншими методами: висушуванням, виготовлення розчинів теж не додають об'єктивності: агрегати сировини мають незначну механічну міцність і швидко розчиняються в воді. Тому пошук методів визначення структурного складу сумішей компостуємих матеріалів являється об'єктивно цінним науковим матеріалом. Основою таких методик можуть скласти сучасні цифрові технології і статистичні методи обробки інформації на базі ефективного програмного забезпечення [1–3].

Аналіз останніх досліджень. Попередні дослідження показали, що при компостуванні підстилкового гною, посліду структура часток сировини або при внесенні додаткових компонентів: рідини, волого-поглинальних матеріалів суттєво змінюється в порівнянні з вихідним матеріалом. Ефективних методів визначення проведення порівняльного аналізу змін недостатньо: візуально спостерігається значима трансформація структури в сторону її покращення – збільшення розмірів часток і зменшення дрібних фракцій, підвищення їх міцності, що покращує аерацію і відповідно, мінералізацію сировини. Оскільки структурна цілісність і міцність агрегатів доволі нестійка, і відповідно немає можливості використовувати сита, була використана методологія на основі статистичного аналізу цифрових світлин – фотографій високого розрішення [4–8].

Мета досліджень. Розробити алгоритм і провести статистичну обробку цифрових зображень фракційного складу гное-компостної суміші посліду в результаті його компостування в буртах.

Матеріали і методи досліджень. Суть статистичного аналізу цифрових світлин представлено на рис. 1. На першому етапі формувалися світлин – фотографії цифровою фотокамерою. Одержані відображення в форматі JPEG заносяться в комп'ютерну програму (оригінальна розробка), де в режимі віртуального сканування переводяться в двомірні цифрові матриці, що відображають коефіцієнти світового відбиття і поглинання від поверхні. Далі всі цифрові значення формуються до одиниці. Після двомірні цифрові матриці трансформуються в лінійні цифрові ряди шляхом суміщення стовбців. Розмір таких рядів складає приблизно $3 \cdot 10^4$ елементів (чисел).

Використовуючи сертифіковану програму аналізу цифрових рядів (сингулярного розкладення – векторний варіант розкладення в ряд Фур'є), обчислюється основні гармоніки, що дозволяє знову синтезувати двомірні цифрові матриці, виключаючи з них шуми і флуктуацій, таким чином, вирівнюючи значення. По новим одержаним матрицям будуються поверхні, що відображають розподіл

коефіцієнтів світлового відбиття і поглинання на площині, на якій розстелений шар компосту. Побудовані таким чином поверхні мають певну структурну конфігурацію, що відображає розподіл агрегатів, їх форм та розмір.

Комп'ютерним скануванням формуються статистичні ряди розподілу розмірів агрегатів, розстелених на поверхні. Після будується інтегральний розподіл розмірів агрегатів, тобто скільки часток по своїм розмірам попадає в відведений інтервал. Розбивка на 50 інтервалів від нуля до максимального – автоматична (комп'ютерна). Із одержаних інтегральних розподілів, обчислюються складові гауссіани – (нормальне розподілення Гаусса) формується біля відповідного середнього і має відповідні дисперсії (середньоквадратичні відхилення). Такий методичний підхід дозволяє виділити фракції агрегатів, їх відсоток в загальній масі, середні розміри і порівняти компостуємо сировину до і після обробки, використовуючи конкретні числові параметри: середнє, дисперсію і відсотковий вміст і співвідношення в межах порівняльного аналізу.

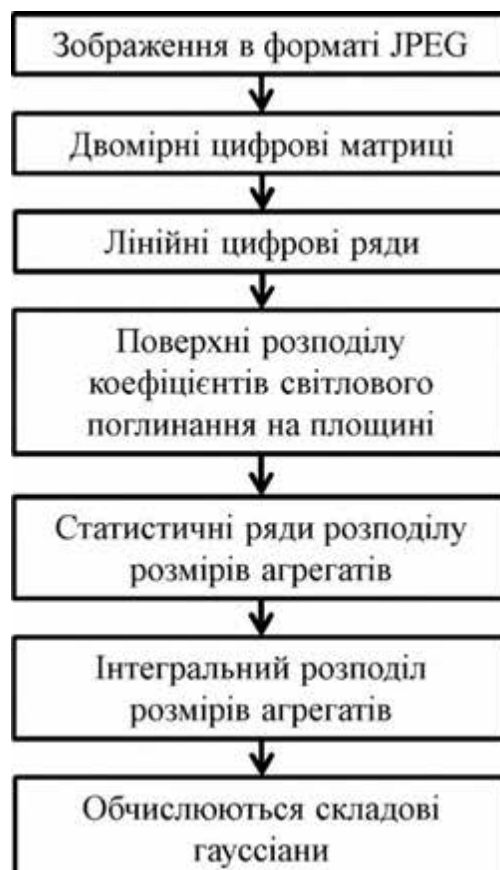


Рис. 1. Статистична обробка цифрових зображень фракційного складу гное-компостної суміші посліду.

Для деталізації опису розподілу агрегатів за розмірами і проведення порівняльного аналізу був використаний метод

статистичного аналізу цифрових значень, отриманих від віртуального комп'ютерного сканування оцифрованих знімків. Дана процедура полягала в наступному:

1. Оцифрований знімок містився в спеціально розроблену для цих цілей оригінальну програму, де на відтвореному знімку вибирався віртуальний трек по поверхні спланованого шару компосту. За результатами сканування зазначеного треку формувалася двовимірна матриця значень, чисельно відповідних коефіцієнтів відображення у відповідному місці знімка. Загальна кількість цифрових значень відповідало $\sim 4,5 \cdot 10^4$.

2. Далі цифрова матриця нормувалася до максимального значення (з метою виключення впливу умов освітлення і подальшої можливості порівняльного аналізу інших знімків), після чого максимальний коефіцієнт відбиття відповідав – 1.

3. Горизонтальні цифрові значення отриманої матриці усереднювалися з метою формування згладженого графічного зображення розподілу. Для інтегрального згладжування отриманої кривої використовували сингулярних (векторний) аналіз з виділенням і подальшою інтеграцією основних гармонік, після чого розподіл мав вигляд гладкої кривої.

4. Детальний характер розподілу розмірів просторово організованих структурних одиниць – агрегатів компосту проводили методом побудови інтегральної кривої розподілу щільності ймовірності появи того чи іншого розміру агрегатів на сформованій цифровій поверхні компостного шару. Весь інтервал від мінімального значення до максимального розбивали на сто підінтервалів.

5. Використовуючи властивість нормального розподілу (розподілу Гаусса) мати в логарифмічному представленні квадратичну залежність, була розроблена процедура поетапного виділення складових, що входять в інтегральну криву розподілу щільності ймовірності:

$$\begin{aligned} P(x) &= A \cdot \exp \left[- \left(x - \bar{x} \right)^2 / 2\delta^2 \right] \\ \ln p(x) &= \frac{-x^2}{2\delta^2} + \frac{\bar{x}}{\delta^2} \cdot x + \left[\ln A - \frac{\bar{x}^2}{2\delta^2} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

де: $P(x)$ – щільність ймовірності ознаки – x (розмір агрегату); A – амплітуда розподілу Гаусса; $\bar{x}$ – середнє значення ознаки; δ – середньоквадратичне відхилення ознаки x від середнього $\bar{x}$.

6. Використовуючи квадратичну регресію до подання (1), де коефіцієнт при змінній другого порядку – $1/2\delta^2$; при змінній першого порядку – $\bar{x}/\delta^2$; вільний член – $(\ln A - \bar{x}^2/2\delta^2)$, визначають всі параметри нормального розподілу граничного ділянки інтегральної кривої.

Послідовне вилучення виділених Гауссіан дозволяє відновити всі складові. Кожна компонента має свій максимум, що відповідає середньому значенню і площа (нормовану до одиниці), яка в процентному вираженні відображає сумарний компартмент тій чи іншій агрегатної фракції компосту.

Ймовірність появи тієї чи іншої ознаки у відповідному інтервалі значень, в нашому випадку розміру агрегатів, буде відповідати ширині даного інтервалу, помноженому на значення функції щільності ймовірності в центрі даного інтервалу. Власне це буде деякий стовбчик, площа якого менше одиниці. Загальна площа стовбчиків відповідає одиниці і обмежується всією кривою щільності ймовірності, що включає 100 % появу всіх ознак. Якщо розбити весь інтервал досліджуваної ознаки, в нашому випадку розмірів агрегатів, від максимальних до мінімальних значень на інтервалі і провести в кожному антологічній вище процедуру, то отримуємо набір стовпчиків (рис. 2), тобто гістограму. В цьому випадку, огинаюча крива, що проходить крізь середини верхніх площ стовпчиків отожднюється з щільністю ймовірності.

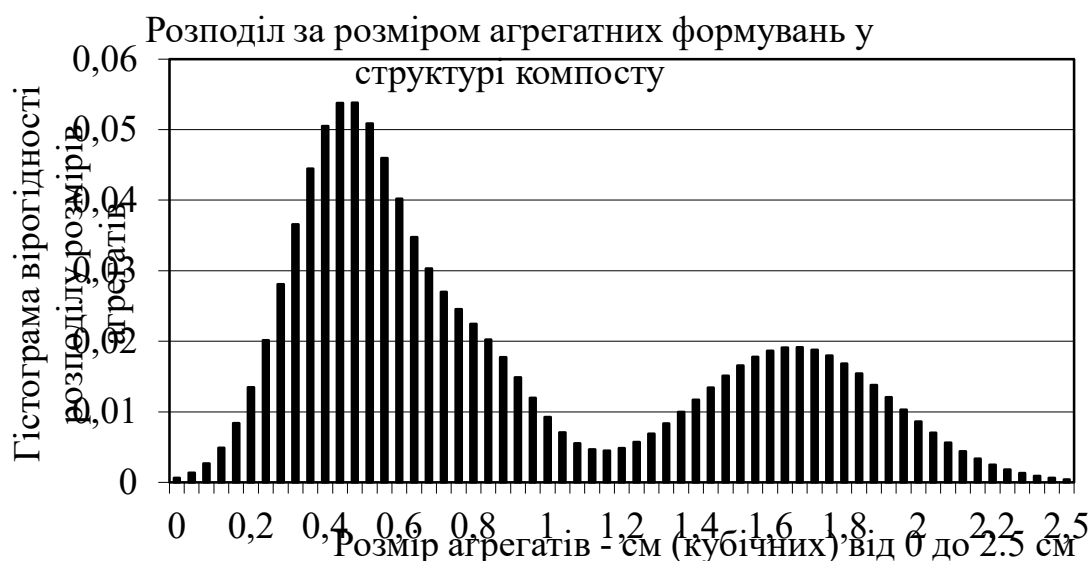


Рис. 2. Гістограма ймовірності появи відповідного розміру агрегатних формувань у компості.

Результати досліджень. Результати досліджень наведені на трьохмірних побудовах (рис. 3 – рис. 6).

Візуальна оцінка фракційного стану зволоженої сировини (до обробки вологість – 26 %, а після обробки 50 %) дозволяє зробити висновок про більшу структурованість обробленого компосту: більше виражені агрегати; більші розміри агрегатів, які створились в результаті зкачування, злипання пиловидних часток. Повне статистичне представлення порівняльного аналізу змін стану

сировини видно на графіках розподілу ймовірності появи розміру агрегату рис. 7 для обробленої сировини.

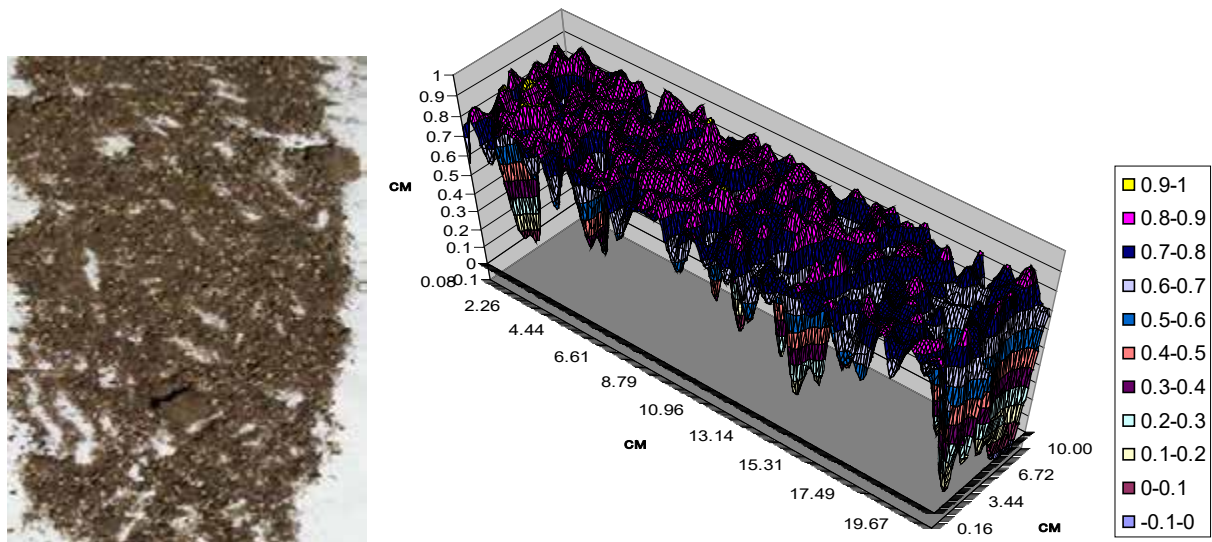


Рис. 3. Модельна поверхня розподілу агрегатів на площині оброблюваного компосту.

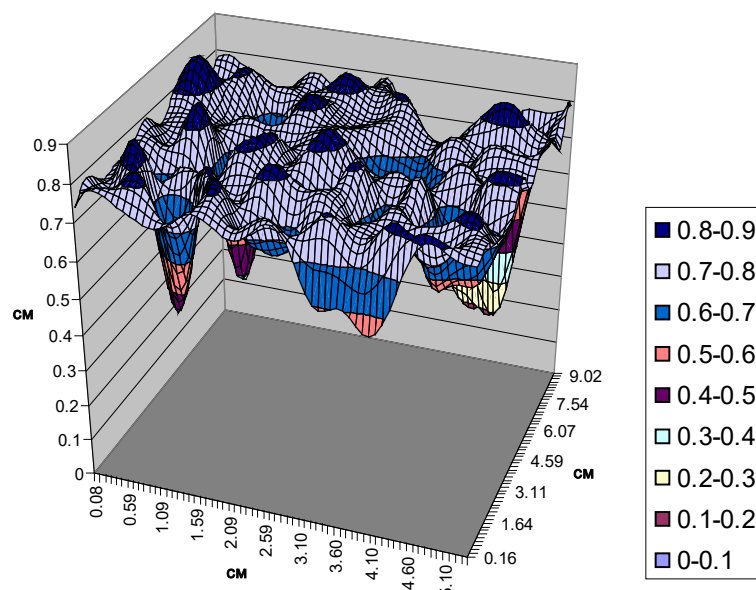


Рис. 4. Деталізоване представлення модельної поверхні розподілу агрегатів на площині обробленого компосту.

Середній розмір I фракції складає $0,28 \text{ см}^3$, дисперсія $0,019 \text{ см}^3$, а загальна кількість часток даної фракції біля 10 %, що свідчить про незначну присутність в загальній масі.

Друга фракція найбільш масова. Середній розмір – $0,98 \text{ см}^3$, дисперсія $0,040 \text{ см}^3$, складає 72 % всієї кількості і показує високу однорідність сировини відносно вибраного інтервалу. Третя фракція при середньому $1,75 \text{ см}^3$, дисперсії $0,060 \text{ см}^3$ складає невелику

частину – 13 %, що вказує на наявність великих часток сировини, які потребують додаткової обробки.

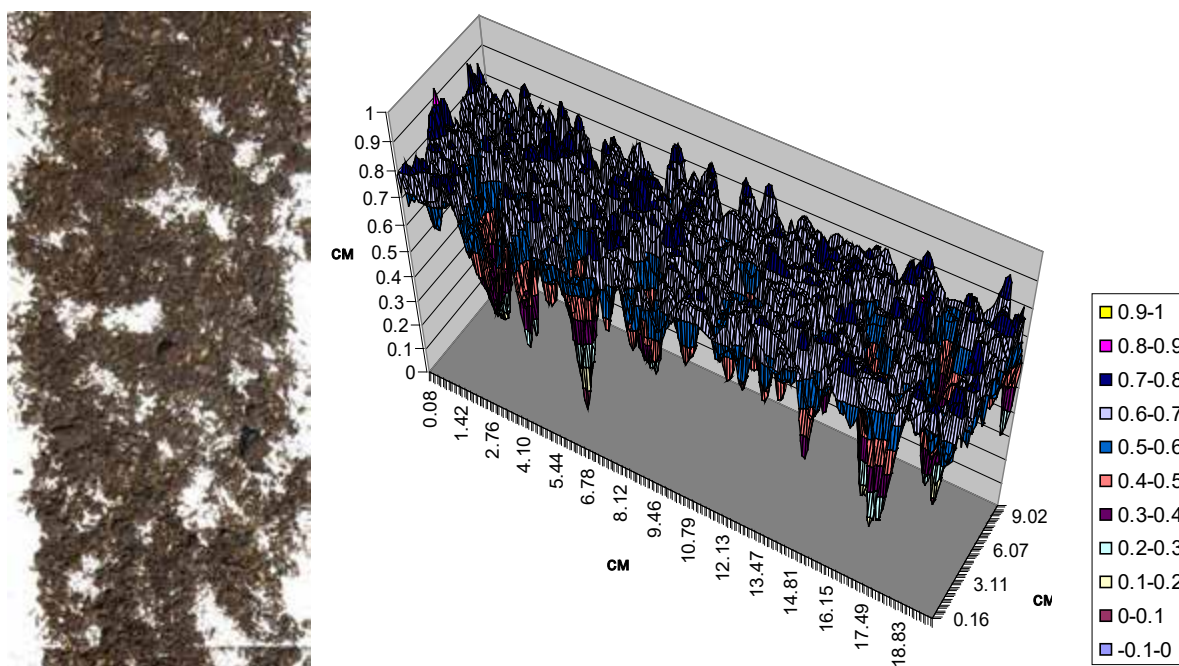


Рис. 5. Модельна поверхня розподілу агрегатів на площині необроблюваного компосту.

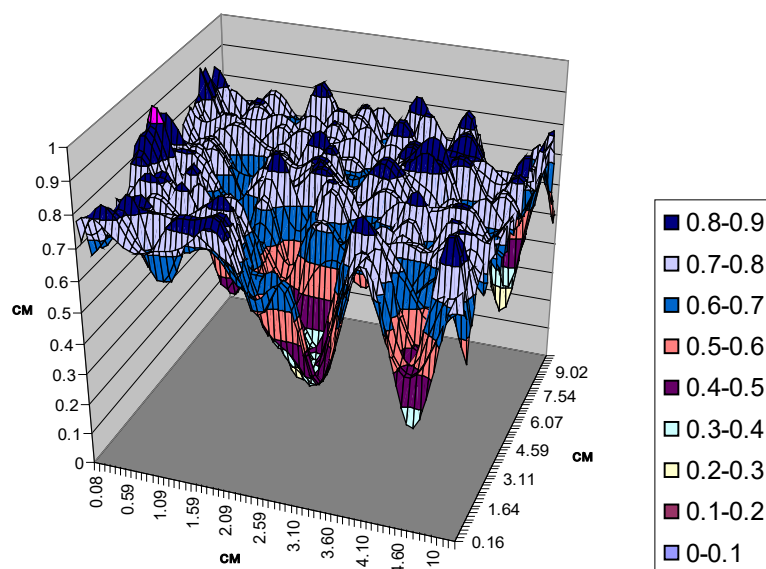


Рис. 6. Деталізоване представлення модельної поверхні розподілу агрегатів на площині необробленого компосту.

Статистичний розподіл агрегатів по фракціям у масі необробленого компосту наведено на рисунку 8. Ці складові (компоненти) формують відповідний фракційний склад, який характеризує структуру компосту в цілому.

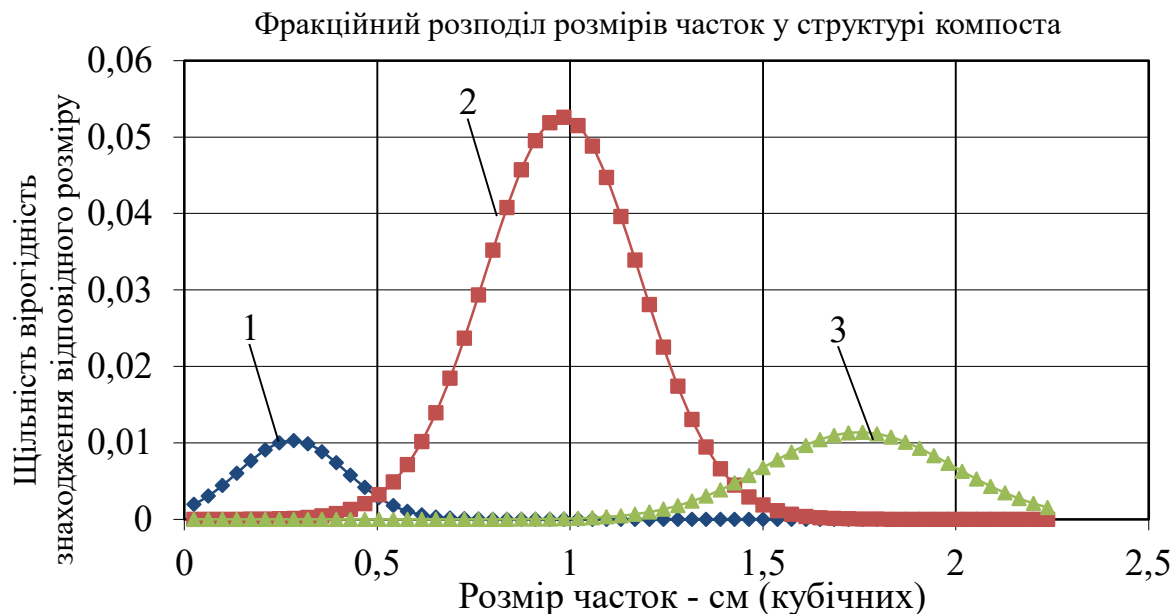


Рис. 7. Фракційний склад агрегатів обробленого компосту: 1 фракція – середній розмір $0,28 \text{ см}^3$, дисперсія $0,019 \text{ см}^3$, відсоток 10 %; 2 фракція – середній розмір $0,98 \text{ см}^3$, дисперсія $0,040 \text{ см}^3$, відсоток 72 %; 3 фракція – середній розмір $1,75 \text{ см}^3$, дисперсія $0,060 \text{ см}^3$, відсоток 13 %.

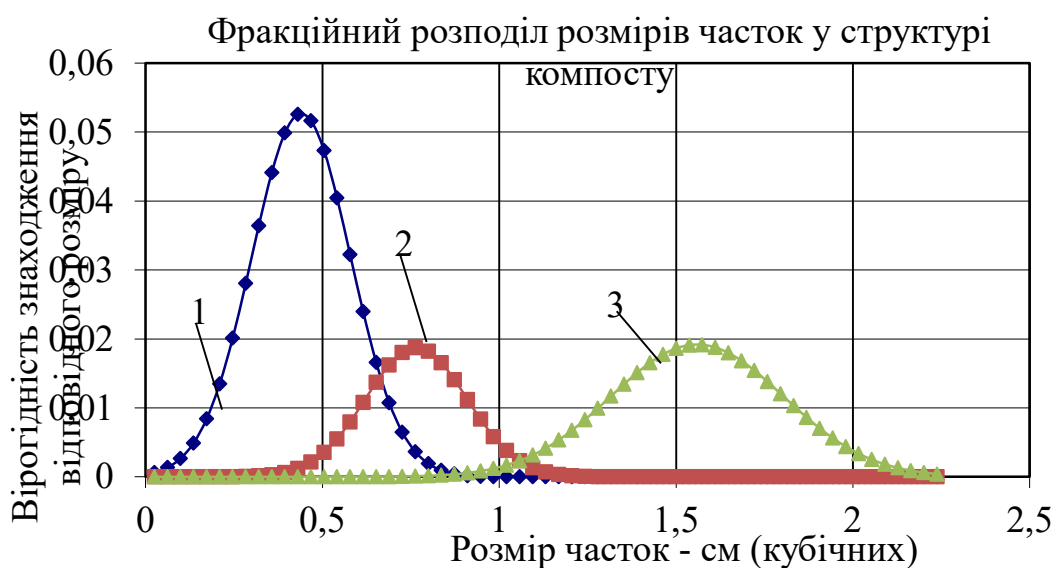


Рис. 8. Фракційний склад агрегатів необробленого компосту: 1 фракція – середній розмір $0,44 \text{ см}^3$, дисперсія $0,019 \text{ см}^3$, відсоток 50 %; 2 фракція – середній розмір $0,77 \text{ см}^3$, дисперсія $0,020 \text{ см}^3$, відсоток 18 %; 3 фракція – середній розмір $1,56 \text{ см}^3$, дисперсія $0,060 \text{ см}^3$, відсоток 32 %.

Перша фракція має середнє значення $0,44 \pm 0,053 \text{ см}^3$ і складає 50 % від сумарного агрегатного комплексу. Друга фракція має середнє значення $0,77 \pm 0,055 \text{ см}^3$ і складає 18 % від сумарного

агрегатного комплексу. Третя фракція має значні відхилення від середнього і може включати великі частки більше $1,6 \text{ см}^3$, але з малою вірогідністю. В той же час третя фракція складає майже 32 % загальної кількості часток, що свідчить про необхідність додаткової обробки для зменшення розміру часток.

Висновки. Порівняння значень інтервалів для обробленої (додаткове зволоження) і необробленої сировини, кількості фракцій, їх вмісту показує наявність більшої кількості пилових часток і в той же час значних включень грудок, пластів в необробленій сировині, що відповідає візуальній оцінці. Під дією зволоження і механічної обробки зменшується кількість крупних часток і в результаті злипання і зкачування дрібних включень збільшуються середній розмір фракцій обробленого матеріалу. Таким чином спостерігається відповідність фізичному змісту процесів, що відбуваються. Запропонована методика – оцінки фракційного складу з статистичним аналізом цифрових світлин забезпечує чисельне визначення показників, що можуть бути використані при аналізі, порівнянні ідентифікації технологічних процесів і технічних засобів.

Список літератури

1. Гоц С. С., Ямалетдинова К. Ш., Васильев В. А., Хиразов Э. Р. Статистические методы и обработка изображений в автоматизированных системах управления качеством. Уфа. 2005. 230 с.
2. Гоц С. С. Основы построения и программирования автоматизированных систем цифровой обработки сигналов. Уфа. 2006. 212 с.
3. Diógenes A. N., Hoff E. A., Fernandes C. P. Grain size measurement by image analysis: An application in the ceramic and in the metallic industries. 18th International Congress of Mechanical Engineering. November 6–11. 2005. Ouro Preto. MG.
4. Калинин А. П., Манойлов В. В., Приходько О. А. Программный модуль для оценки параметров дисперсных систем по их изображениям для количественного трехмерного стереоанализа. Научно-технический вестник университета информационных технологий, механики, оптики. 2012. № 6. С. 101–106.
5. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. Пер. с англ. Москва. Радио и связь. 1986. 86 с.
6. Malmqvist K. G., Johansson G., Bohgard M., Akseleson R. K. Process-dependent characteristics of welding fume particles. Proceedings of the International Conference on Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases. Copenhagen. 2011. P. 31–47.
7. Rodriguez M., Adebayo A., Brueck S., Ramsey J. Evaluation of employees' exposures to welding fumes and powder paint dust during metal furniture manufacturing. Health Hazard Evaluation Report. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH HETA. Chicago. 2007-0199-3075.
8. Cray N., Hewitt J., Dare P. R. M. New approach would help control weld fume at source. Part 2. MIG fumes. Weld. and Met. Fabrication. 1982. 10. P. 393–397.

References

1. Gots, S. S., Yamaletdinova, K. S., Vasiliev, V. A., Cherezov, E. R. (2005). Statistical methods and image processing in automated systems of quality management. Ufa. 230.
2. Gots, S. S. (2006). Fundamentals of building and programming automated systems and digital signal processing. Ufa. 212.
3. Diógenes, A. N., Hoff, E. A., Fernandes, C. P. (2005). Grain size measurement by image analysis: An application in the ceramic and in the metallic industries. 18th International Congress of Mechanical Engineering. November 6–11. Ouro Preto. MG.
4. Kalinin, A. P., Manoilov, V. V., Prikhod'ko, O. A. (2012). Software module for estimating parameters of disperse systems by their images for quantitative three-dimensional stereoanalysis. Scientific and technical journal of University of information technologies, mechanics, optics. No 6. 101–106.
5. Pavlidis, T. (1986). Algorithms for computer graphics and image processing. Per. from English. Moscow. Radio and communication. 86.
6. Malmqvist, K. G., Johansson, G., Bohgard, M., Akseelsson, R. K. (2011). Process-dependent characteristics of welding fume particles. Proceedings of the International Conference on Health Hazards and Biological Effects of Welding Fumes and Gases. Copenhagen. 31–47.
7. Rodriguez, M., Adebayo, A., Brueck, S., Ramsey, J. (2007). Evaluation of employees' exposures to welding fumes and powder paint dust during metal furniture manufacturing. Health Hazard Evaluation Report. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH HETA. Chicago. 2007-0199-3075.
8. Cray, N., Hewitt, J., Dare, P. R. M. (1982). New approach would help control weld fume at source. Part 2. MIG fumes. Weld. and Met. Fabrication. 10. 393–397.

ИЗМЕНЕНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА НАВОЗНО-КОМПОСТНОЙ СМЕСИ ПОМЕТУ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЕГО КОМПОСТИРОВАНИЯ В БУРТАХ

С. И. Павленко, Г. А. Голуб

Аннотация. Поиск методов быстрого и эффективного определения структурного состава смесей с влажностью более 40–50%, к которым относится компостирует органическое сырье, является объективно ценным научным материалом. Одним из вариантов таких методик могут составить современные цифровые технологии и статистические методы обработки информации на базе эффективного программного обеспечения. Целью исследования является разработка алгоритма и проведения статистической обработки цифровой информации фотографий фракционного состава гное-компостной смеси помета при его компостировании в буртах.

Алгоритм определения состава смеси включал следующие действия: на первом этапе формировались фотографии-фотографии цифровой камерой. Полученные отражение в формате JPEG заносились в оригинальную компьютерную программу, где в режиме сканирования переводились в двухмерные

цифровые матрицы, отражали коэффициенты мирового отражения и поглощение от поверхности частиц. Используя программу расписания в ряды Фурье, проводилось выравнивание значений и по новым значениям матрицы строились поверхности, отражающие распределение коэффициентов светового отражения и поглощения. На основе новых матриц формировались статистические ряды агрегатов, распределенных на поверхности. После строился интегральный распределение размеров агрегатов. Их количество до 50 интервалов. По полученным данным вычислялись составляющие гауссианы. Такой методический подход позволяет выделить фракции агрегатов, их процент в общей массе, средние размеры и сравнить компостируемое сырье до и после технологической обработки, используя конкретные числовые параметры: среднее, дисперсию и соотношение в пределах сравнительного анализа.

Проведена экспериментальная проверка на трехмерных построениях фракционного состава компостируемого сырья до (влажность 26%) и после обработки (влажность 50%). Результаты анализа фотографий по трем базовым фракциям: для обработанного компоста: I фракция – среднее – $0,28 \text{ см}^3$, дисперсия $0,019 \text{ см}^3$, процент количества – 10%; II фракция – средний размер – $0,98 \text{ см}^3$, дисперсия $0,040 \text{ см}^3$, процент количества – 72%; III фракция – средний размер $1,75 \text{ см}^3$, дисперсия $0,060 \text{ см}^3$, процент – 13%; для необработанного: I фракция – среднее – $0,44 \text{ см}^3$, дисперсия $0,019 \text{ см}^3$, процент количества – 50%; II фракция – средний размер – $0,77 \text{ см}^3$, дисперсия $0,020 \text{ см}^3$, процент количества – 18%; III фракция – средний размер $1,56 \text{ см}^3$, дисперсия $0,060 \text{ см}^3$, процент – 32%.

Таким образом, визуальная оценка фракционного состава компоста до и после технологической обработки свидетельствует о разнице в качестве сырья, а использование метода статистической обработки числовых фотографий обеспечивает получение численных показателей для идентификации, анализа и сравнения процессов и средств.

Ключевые слова: помет, компост, бурт, фракционный состав, статистический метод, цифровые изображения, статистическое распределение, числовые показатели

CHANGES IN FRACTIONAL COMPOSITION OF MANURE COMPOST MIX LITTER AS RESULT OF ITS COMPOSTING IN CLAMPS

S. I. Pavlenko, G. A. Golub

Abstract. The search for methods of rapid and efficient determination of the structural composition of mixtures with a moisture content of more than 40–50%, which includes the composting of organic

raw materials, is an objectively valuable scientific material. One of the options for such techniques can be advanced digital technologies and statistical methods for processing information based on effective software. The purpose of the study is to develop algorithm and statistical processing of digital information of the fractional composition of the compost-compost mixture of litter during its composting in brotches.

The algorithm for determining the composition of the mixture included the following steps: in the first stage, photographs were photographed with a digital camera. The resulting JPEG images were mapped to the original computer program, where, in scan mode, they were converted into two-dimensional digital matrices, reflecting the reflection and absorption coefficients of the particle surface. Using the program of the expansion in the Fourier series, the alignment of values was carried out and new surfaces of the matrix were constructed reflecting the distribution of the coefficients of light reflection and absorption. On the basis of new matrices, statistical series of aggregates distributed on the surface were formed. After built an integral distribution of aggregate sizes. Their number is up to 50 intervals. The obtained data computed Gaussian components. Such methodical approach allows to allocate fractions of aggregates, their percentage in the total mass, average sizes and to compare composting of raw materials before and after technological processing, using specific numerical parameters: mean, dispersion and correlation within the framework of the comparative analysis.

Experimental testing was carried out on three-dimensional structures of fractional composition of raw materials to (moisture 26%) and after processing (humidity 50%). Results of analysis of photos on three basic fractions: for processed compost: I fraction – average – $0,28 \text{ cm}^3$, dispersion $0,019 \text{ cm}^3$, percentage of the amount – 10%; II fraction – average size – $0,98 \text{ cm}^3$, dispersion $0,040 \text{ cm}^3$, percentage of the amount – 72%; III fraction – average size $1,75 \text{ cm}^3$, dispersion $0,060 \text{ cm}^3$, percentage – 13%; for untreated: I fraction – average – $0,44 \text{ cm}^3$, dispersion $0,019 \text{ cm}^3$, percentage of the amount – 50%; II fraction – average size – $0,77 \text{ cm}^3$, dispersion $0,020 \text{ cm}^3$, percentage of the amount – 18%; III fraction – average size $1,56 \text{ cm}^3$, dispersion $0,060 \text{ cm}^3$, percentage – 32%.

Thus, a visual assessment of the fractional composition of the compost before and after the technological treatment indicates the difference in the quality of raw materials, and the use of the method of statistical processing of numerical pictures provides the obtaining of numerical indicators for the identification, analysis and comparison of processes and means.

Key words: litter, compost, burt, fractional composition, statistical method, digital images, statistical distribution, numerical indices

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ВІЛЬОТУ ВАНТАЖУ БАШТОВОГО КРАНА

**В. С. Ловейкін, доктор технічних наук
ORCID: 0000-0003-4259-3900**

**Ю. О. Ромасевич, доктор технічних наук
ORCID: 0000-0001-5069-5929**

**О. В. Стехно, аспірант* ORCID: 0000-0002-7285-6508
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: lovvs@ukr.net**

Анотація. В статті наведено дослідження, які присвячені розрахункам динамічних навантажень в тяговому канаті механізму зміни вильоту вантажу баштового крана. Для дослідження динамічних навантажень розроблено динамічну модель руху окремих зведених мас системи. На основі динамічної моделі за допомогою принципу д'Аламбера складено багатоступеневу математичну модель руху механізму зміни вильоту вантажу. Встановлено, що величина зусилля в тяговому канаті включає три складові: статичну, динамічну від маятникових коливань вантажу та динамічну від пружних коливань вантажного візка відносно канатного барабана.

В подальших дослідженнях запропоновано розглядати динамічні навантаження окремо один від одного. Це пов'язано з тим, що частоти відповідних маятникових коливань вантажу та вантажного візка відносно канатного барабана значно різняться між собою. Визначено максимальне зусилля в тяговому канаті від маятникових коливань вантажу та від коливань вантажного візка відносно канатного барабана. В результаті аналізу отриманих результатів визначено величину коефіцієнта дисипації канатно-демпферної системи, при якому коливання візка відносно канатного барабана є аперіодичними.

Визначення максимальних зусиль в тяговому канаті проведено на прикладі чотирьох баштових кранів марок: КБ-674, 200 EC-H 10 Liebherr, MTD 128 Potain, та 5 LC 5010 5t LINDEN COMANSA. Для встановлення адекватності отриманих аналітичних результатів проведено їх порівняння із даними чисельного інтегрування рівнянь руху механізму зміни вильоту вантажу баштового крана КБ-674.

***Науковий керівник – доктор технічних наук Ю. О. Ромасевич**

© В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, О. В. Стехно, 2018

Ключові слова: *баштовий кран, механізм зміни вильоту, вантаж, тяговий канат, парціальні частоти, коливання, динамічні навантаження, коефіцієнт дисипації*

Постановка проблеми. Під час виконання навантажувально-розвантажувальних операцій на будівництві значне поширення отримали баштові крани. Для переміщення вантажу вздовж балочної стріли крана використовується механізм зміни вильоту вантажу. Одним із головних недоліків в роботі цього механізму є небажані динамічні навантаження в його компонентах, одним з яких є тяговий канат приводу вантажного візка.

Виникнення динамічних навантажень здебільшого пов'язане з високочастотними коливаннями вантажного візка відносно канатного барабана, а також від маятникових коливань закріпленого на гнучкому підвісі вантажу. Значне максимальне зусилля натягу тягового канату може призвести до його пошкодження та передчасного руйнування, що спричиняє виникнення аварійних ситуацій та зупинки роботи баштового крана.

Аналіз останніх досліджень. Теоретичні дослідження динамічних навантажень у вантажопідіймальних кранах та їх механізмах досліджені в багатьох роботах. В основному для дослідження використовувалися досить прості динамічні та математичні моделі [1, 2].

У роботі [3] проведено динамічний аналіз механізму підйому баштового крана та розроблені його моделі в робочому та пошкодженному станах. Стан пошкодження баштового крана змодельовано за допомогою методу кінцевих елементів. Однак, при побудові динамічних моделей системи не врахована дисипація в компонентах досліджуваного механізму.

У статті [4] представлена модель пружної стрілової системи для керування механізмом повороту баштового крана. Складено спрощені динамічні моделі прогину стрілової системи та відхилення башти від вертикалі. У аналізованій роботі використані динамічні моделі в яких не враховані дисипативні сили, які впливають на величину прогину стріли та відхилення башти.

Деякі дослідники пропонують зменшувати динамічні навантаження у механізмах вантажопідіймальних машин за рахунок демпферів. Так у роботі [5] наведено динамічний аналіз впливу різноманітних керованих та некерованих демпферів коливань на зменшення динамічних навантажень в механізмі підйому вантажу. В цій роботі запропоновано встановлення гасників коливань на гнучкий підвіс вантажу.

У роботі [6] наведено динамічні розрахунки механізму підйому та зміни вильоту вантажу баштового крана з використанням природної та штучної механічних характеристик. У розрахунках врахована жорсткість тягового каната, але не було враховано його дисипативних характеристик. Проведений динамічний аналіз показав суттєву навантаженість досліджуваного механізму, особливо на штучній механічній характеристиці приводу.

У праці [7] наведено динамічний аналіз механізму зміни вильоту вантажу баштового крана. Теоретичні дослідження проведено із використанням моделі вдосконаленої конструкції механізму приводу вантажного візка, яка за рахунок пружно-дисипативних елементів, розміщених на канатному барабані, дозволила зменшити динамічні навантаження в канаті.

Як видно із аналізу існуючих робіт, питанням дослідження динамічних навантажень у компонентах вантажопідіймальних машин, зокрема баштових кранів, займалося багато дослідників. Однак, динамічним розрахункам складових механізму зміни вильоту вантажу баштового крана приділено недостатньо уваги.

Мета досліджень – зменшення динамічних навантажень в компонентах механізму зміни вильоту вантажу баштового крана. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: 1) розробити динамічну модель механізму зміни вильоту вантажу баштового крана та на основі неї побудувати багатоетапну математичну модель руху системи; 2) визначити максимальні зусилля в тяговому канаті від маятникових коливань вантажу закріпленого на гнучкому підвісі та від коливань вантажного візка відносно канатного барабана; 3) визначити значення коефіцієнта дисипації канатно-демпферної системи при якому відбувається зменшення небажаних динамічних навантажень в канаті.

Результати досліджень. Визначення величини максимального зусилля у тяговому канаті базується на детальному аналізі математичної моделі руху механізму зміни вильоту вантажу.

Для досліджуваного механізму зміни вильоту вантажу баштового крана у роботах [6, 7] розроблено динамічну модель, яка зображена на рис. 1. Вона буде використана у подальших дослідженнях.

На рис. 1 використані наступні позначення: 1 – канатний барабан приводу механізму зміни вильоту вантажу; 2 – вантажний візок; 3 – демпфер коливань візка відносно канатного барабана; 4 – вантаж, що закріплений на гнучкому підвісі; 5 – канатний блок; L – довжина гнучкого підвісу закріпленого вантажу; J_1 – зведений до канатного барабана момент інерції приводу; m_1 , m_2 – зведені маси вантажного візка та вантажу відповідно; c_k , c_d – зведені коефіцієнти

жорсткості каната приводу візка та демпфера відповідно; b_k , b_d – зведені коефіцієнти демпфування каната приводу візка та демпфера відповідно; M_1 – рушійний момент механізму; M_0 – зведений момент опору канатного барабана; R_1 – радіус канатного барабана; W – зведена сила статичного опору переміщення вантажного візка, яка є постійною величиною; g – прискорення вільного падіння; φ_1 – узагальнена кутова координата повороту канатного барабана механізму зміни вильоту вантажу; x_1 , x_2 – узагальнені лінійні координати центрів мас вантажного візка та вантажу відповідно.

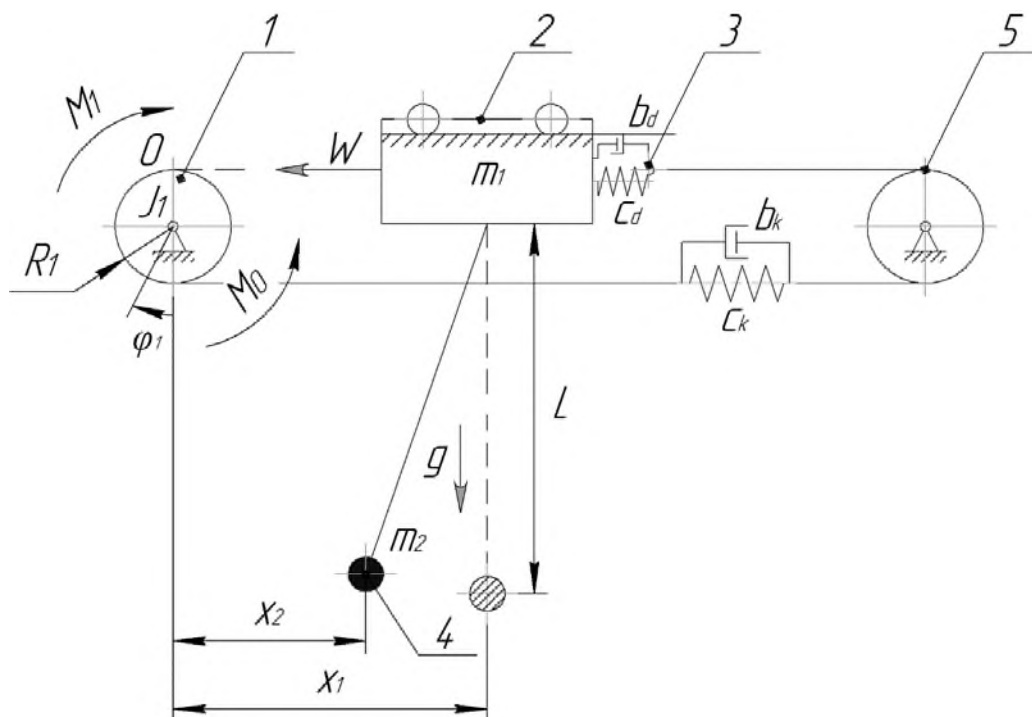


Рис. 1. Динамічна модель механізму зміни вильоту вантажу баштового крана.

При побудові динамічної моделі (рис. 1) прийняті наступні припущення [7]: 1) вантаж здійснює маятникові коливання на гнучкому підвісі; 2) рух всіх елементів механізму зміни вильоту вантажу відбувається у вертикальній площині (розглядається плоска задача); 3) зведені коефіцієнти жорсткості тягового каната c_k та демпфера c_d , а також зведені коефіцієнти дисипації b_k і b_d приймаються незмінними під час перехідних режимів руху досліджуваного механізму; 4) вітрові навантаження зведені до сили статичного опору переміщення вантажного візка W ; 5) зведений момент опору канатного барабана є постійною величиною 6) компоненти механізму зміни вильоту вантажу вважаються абсолютно жорсткими тілами, окрім тягового канату та демпферів вантажного візка, що мають пружно-дисипативні властивості.

Після розробки динамічної моделі механізму зміни вильоту вантажу, виконаємо його математичне моделювання. При цьому доцільно рух механізму зміни вильоту вантажу розділити на декілька етапів. Під час переходу від одного етапу до іншого структура математичної моделі змінюється. Це пов'язано з тим, що різні елементи механізму зміни вильоту вантажу починають свій рух у різні моменти часу.

На першому етапі роботи механізму зміни вильоту вантажу відбувається вибір слабину тягового канату. При цьому рухається лише привод механізму. Його рух описується наступним диференціальним рівнянням другого порядку:

$$J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_1 - M_o. \quad (1)$$

Крапка над символом означає диференціювання за часом. Початкові умови руху приводу на першому етапі є нульовими:

$$\varphi_1(0) = -\Delta\varphi; \quad \dot{\varphi}_1(0) = 0, \quad (2)$$

де: $\Delta\varphi$ – величина кута повороту канатного барабана, яка відповідає слабину тягового канату.

Перший етап закінчується в момент часу t_1 коли слабину тягового канату дорівнює нулю. При цьому привод встигає розігнатися до швидкості ω , яка приблизно відповідає швидкості ідеального холостого ходу двигуна.

На другому етапі руху системи виконується натяг каната до величини статичного опору W переміщення вантажного візка. Диференціальне рівняння руху механізму зміни вильоту вантажу під час другого етапу має наступний вигляд:

$$J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_1 - M_o - \tilde{c} \cdot \varphi_1 \cdot R_1^2 - \tilde{b} \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot R_1^2, \quad (3)$$

де: $\tilde{c}$ і $\tilde{b}$ – еквівалентні значення коефіцієнтів жорсткості та дисипації, які відповідають послідовному з'єднанню c_k і c_d та b_k і b_d відповідно.

Початковими умовами руху для другого етапу є кінцеві умови першого:

$$\varphi_1(t_1) = 0; \quad \dot{\varphi}_1(t_1) = \omega. \quad (4)$$

де: t_1 – тривалість першого етапу руху механізму зміни вильоту вантажу.

У подальших розрахунках приймемо припущення: $\dot{\varphi}_1 = \omega = const$. Справедливість цього припущення буде досліджено у подальшому викладі матеріалу. Із врахуванням цього отримаємо вираз для визначення моменту закінчення другого етапу:

$$t_2 = \frac{W - \tilde{b} \cdot R_1 \cdot \omega}{\tilde{c} \cdot R_1 \cdot \omega} + t_1. \quad (5)$$

Під час третього етапу руху механізму зміни вильоту вантажу відбувається переміщення вантажного візка та вантажу відповідно. Математична модель руху механізму зміни вильоту вантажу під час

третього етапу представлена у вигляді системи диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} J_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 = M_1 - M_0 - \tilde{c} \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 - x_1) \cdot R_1 - \tilde{b} \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot R_1 - \dot{x}_1) \cdot R_1; \\ W + m_1 \cdot \ddot{x}_1 = \tilde{c} \cdot (\varphi_1 \cdot R_1 - x_1) + \tilde{b} \cdot (\dot{\varphi}_1 \cdot R_1 - \dot{x}_1) - m_2 \cdot \frac{g}{L} \cdot (x_1 - x_2); \\ \ddot{x}_2 = \frac{g}{L} \cdot (x_1 - x_2). \end{cases} \quad (6)$$

Момент перевищення зусилля у канаті величини W визначає початок третього етапу. Кінцеві умови руху другого етапу є початковими для третього, вони записуються наступним чином:

$$\begin{cases} \varphi_1(t_2) = \omega \cdot (t_2 - t_1), \dot{\varphi}_1(t_2) = \omega; \\ x_1(t_2) = x_2(t_2) = \dot{x}_1(t_2) = \dot{x}_2(t_2) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Тривалість третього етапу залежить від відстані на яку потрібно переміщувати вантажний візок із вантажем на гнучкому підвісі.

Система диференціальних рівнянь (6) дає змогу визначити зусилля у канаті, яке представляє собою суму трьох складових: статичної, динамічних від маятникових коливань вантажу та від коливань вантажного візка відносно канатного барабана. Розгляд динамічних навантажень окремо один від одного обґрунтований тим, що парціальні частоти відповідних маятникових коливань вантажу та кранового візка відносно канатного барабану значно різняться між собою: перша коливна система є низькочастотною, а друга – високочастотною.

Представляє інтерес визначення максимальних значень зусиль у тяговому канаті для обох випадків: від маятникових коливань вантажу та від коливань візка відносно канатного барабана. Таке «розділення» зусиль у канаті дозволяє отримати аналітичні залежності, які описують максимальні зусилля у канаті. Крім того, у розрахунках для цього етапу також використовуємо припущення $\dot{\varphi}_1 = \omega = const$. Це дає змогу записати рівняння руху вантажного візка без врахування зусилля створюваного від маятникових коливань вантажу:

$$W + m_1 \cdot \ddot{x}_1 = \tilde{c} \cdot (\omega \cdot (t - t_1) \cdot R_1 - x_1) + \tilde{b} \cdot (\omega \cdot R_1 - \dot{x}_1), \quad (8)$$

або з урахуванням рівняння (5) будемо мати:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 = \tilde{c} \cdot (\omega \cdot R_1 \cdot (t - t_2) - x_1) + \tilde{b} \cdot (\omega \cdot R_1 - \dot{x}_1). \quad (9)$$

Диференціальне рівняння (9) будемо інтегрувати із врахуванням початкових умов (7).

Розв'язок вище вказаної задачі Коші має наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
x_1 = & \frac{1}{2 \cdot \tilde{c} \cdot \sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1}} \cdot e^{\frac{\sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \cdot (t - t_2) - \tilde{b} \cdot (t + t_2)}{2 \cdot m_1}} \cdot (2 \cdot e^{\frac{\sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \cdot (t - t_2) + \tilde{b}^2 \cdot (t + t_2)}{2 \cdot m_1}} \cdot \sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \times \\
& \times (\tilde{c} \cdot R_1 \cdot (t - t_1) \cdot \omega) + \tilde{b} \cdot e^{\frac{\tilde{b} \cdot t_2}{m_1}} \cdot (-1 + e^{\frac{\sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \cdot (t - t_2)}{m_1}}) \cdot (\tilde{c} \cdot R_1 \cdot (t_1 - t_2) \cdot \omega) + \\
& + e^{\frac{\sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \cdot (t - t_2) + \tilde{b}^2 \cdot t_2}{m_1}} \cdot (-2 \cdot \tilde{c} \cdot m_1 \cdot R_1 \cdot \omega + \sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \cdot (\tilde{c} \cdot R_1 \cdot (t_1 - t_2) \cdot \omega)) + e^{\frac{\tilde{b} \cdot t_2}{m_1}} \times \\
& \times (2 \cdot \tilde{c} \cdot m_1 \cdot R_1 \cdot \omega + \sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \cdot (\tilde{c} \cdot R_1 \cdot (t_1 - t_2) \cdot \omega)).
\end{aligned} \tag{10}$$

Для того, щоб визначити низькочастотну складову зусилля в тяговому канаті також необхідно розв'язати задачу Коші, яка сформована з використанням припущення, що маятникові коливання вантажного візка відносно канатного барабана не мають значимого впливу на маятникові коливання вантажу. Диференціальне рівняння таких коливань має наступний вигляд:

$$x_2 + \frac{L}{g} \cdot \ddot{x}_2 = \omega \cdot (t - t_2) \cdot R_1. \tag{11}$$

Будемо інтегрувати рівняння при початкових умовах (7).

Розв'язок представленої задачі Коші (7), (11) має такий вигляд:

$$x_2 = R_1 \cdot \omega \cdot \left(t - t_2 - \sqrt{\frac{L}{g}} \cdot \sin \left(\frac{\sqrt{g} \cdot (t - t_2)}{\sqrt{L}} \right) \right). \tag{12}$$

Знайдемо чверті періодів коливань, парціальних систем.

Для першої парціальної системи:

$$t_{q,II}^1 = \sqrt{\frac{m_1}{\tilde{c}}} \cdot \frac{\pi}{2}. \tag{13}$$

Для другої парціальної системи:

$$t_{q,II}^2 = \sqrt{\frac{L}{g}} \cdot \frac{\pi}{2}. \tag{14}$$

До отриманих величин необхідно додати t_2 , що дозволить визначити моменти часу коли динамічні зусилля в канаті досягають максимумів. Знайдемо максимальні зусилля в тяговому канаті у вказані моменти часу. Для першого випадку зусилля в тяговому канаті $F_{КАН.1}$ та його максимальна $F_{КАН.1}^{MAX}$ величина становлять:

$$F_{КАН.1} = \frac{\tilde{c} \cdot e^{\frac{(\tilde{b} + \sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1}) \cdot (R_1 \cdot (\tilde{b} + \tilde{c} \cdot t \cdot \tilde{c} \cdot t_1) \cdot \omega)}{2 \cdot \tilde{c} \cdot m_1 \cdot R_1 \cdot \omega}} \cdot (-1 \cdot e^{\frac{\sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1} \cdot (R_1 \cdot (\tilde{b} + \tilde{c} \cdot t \cdot \tilde{c} \cdot t_1) \cdot \omega)}{\tilde{c} \cdot m_1 \cdot R_1 \cdot \omega}}) \cdot m_1 \cdot R_1 \cdot \omega}{\sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1}}. \tag{15}$$

$$F_{КАН.1}^{MAX} = \frac{\tilde{c} \cdot e^{\frac{\sqrt{\frac{m_1}{\tilde{c}}} \cdot (\tilde{b} + \sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1}) \cdot \pi}{4 \cdot m_1}} \cdot (-1 \cdot e^{\frac{\sqrt{\frac{m_1}{\tilde{c}}} \cdot (\tilde{b} + \sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1}) \cdot \pi}{2 \cdot m_1}}) \cdot m_1 \cdot R_1 \cdot \omega}{\sqrt{\tilde{b}^2 - 4 \cdot \tilde{c} \cdot m_1}}. \tag{16}$$

Для першого випадку залежність включає багато факторів, одним із них є коефіцієнт дисипації тягового каната $\tilde{b}$.

Для другого випадку аналогічні вирази мають наступний вигляд:

$$F_{КАН.2} = \sqrt{\frac{g}{L}} \cdot m_2 \cdot R_1 \cdot \omega \cdot \sin \left(\sqrt{\frac{g}{L}} \cdot \left(\frac{\tilde{b}}{\tilde{c}} + t - t_1 - \frac{W}{\tilde{c} \cdot R_1 \cdot \omega} \right) \right). \quad (17)$$

Максимальне значення $F_{КАН.2}$ визначається за такою формулою:

$$F_{КАН.2}^{MAX.} = m_2 \cdot R_1 \cdot \omega \cdot \sqrt{\frac{g}{L}}. \quad (18)$$

Для другого випадку (18) значна маса вантажу, який закріплено на гнучкому підвісі, а також швидкість набігання тягового каната на барабан і частота коливань вантажу спричиняють значні величини максимального навантаження в тяговому канаті.

Аналіз виразу (17) показує, що можна знайти таке значення $\tilde{b}$ при якому розв'язок рівняння (9) буде аперіодичним:

$$\tilde{b} = 2 \cdot \sqrt{\tilde{c} \cdot m_1}. \quad (19)$$

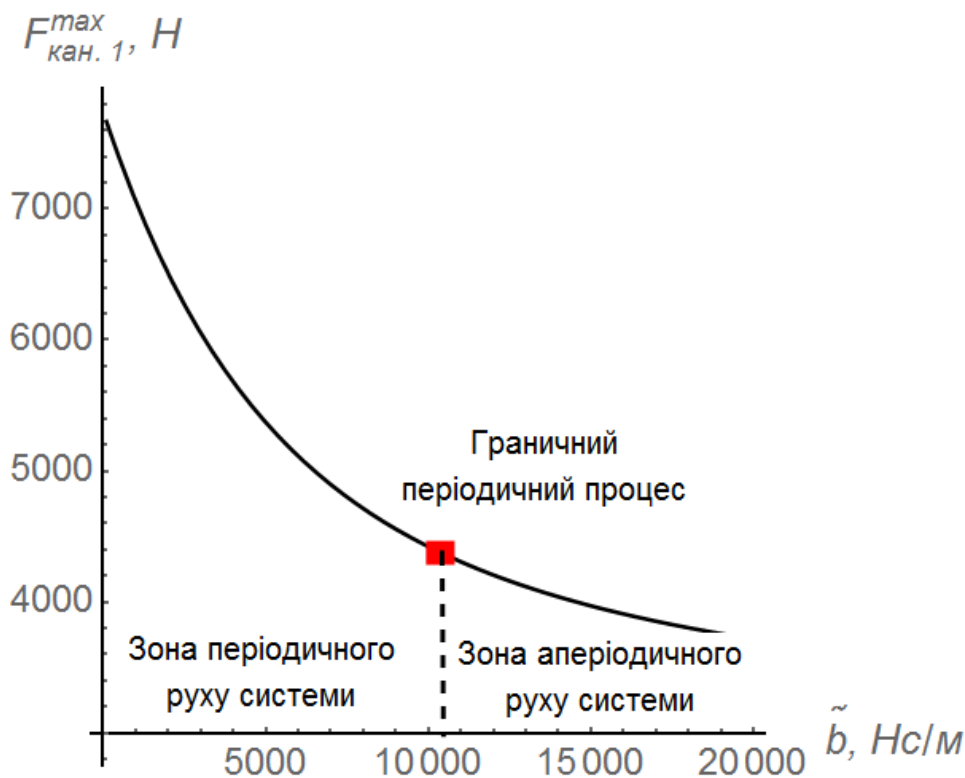


Рис. 2. Залежність максимального зусилля в канаті від коефіцієнта дисипації канатно-демпферної системи $\tilde{b}$.

Цей результат отримано шляхом проведення якісного аналізу диференційного рівняння (9).

Наведемо графічну залежність, яка відповідає максимальному зусиллю у канаті $F_{КАН.1}^{MAX.}$ в залежності від величини $\tilde{b}$ (рис. 2).

Місце точки на графіку (рис. 2), відповідає граничному періодичному випадку коливань візка відносно канатного барабана. Цей випадок відповідає переходу коливної системи „візок-канатний барабан” у режим аперіодичного руху, що означає відсутність коливань. Отриманий результат становить практичний інтерес стосовно конструювання раціональних демпферів коливань елементів баштових кранів.

Розрахунки максимального зусилля у тяговому канаті проведемо на прикладі чотирьох баштових кранів з горизонтальною стрілою: КБ-674 [8] (Нікопольський кранобудівний завод), 200 ЕС-Н 10 [9] (Liebherr), MTD 128 [10] (Potain) та 5 LC 5010 5t [11] (LINDEN COMANSA). Основні параметри механізму зміни вильоту вантажу вказаних кранів занесені в таблицю 1.

1. Параметри механізму зміни вильоту баштових кранів.

Параметри	Марки баштових кранів			
	КБ-674	200 ЕС-Н 10	MTD 128	5 LC 5010 5t
Максимальна вантажопідйомність, т	25	10	6	5
Швидкість переміщення візка, м/с	0,5	1,6	1,3	1,2
Максимальний виліт вантажу, м	35	60	55	50
Потужність механізму зміни вильоту, кВт	7,5	5,5	4,8	1,8

В результаті проведених розрахунків отримано значення максимальних зусиль в тяговому канаті $F_{КАН.1}^{MAX.}$ та $F_{КАН.2}^{MAX.}$. Результати розрахунків зведемо в таблицю 2.

2. Максимальні динамічні зусилля в канаті.

Позначення	Марки баштових кранів			
	КБ-674	200 ЕС-Н 10	MTD 128	5 LC 5010 5t
$F_{КАН.1}^{MAX.}$, Н	6263	4998	3084	2326
$F_{КАН.2}^{MAX.}$, Н	L = 20 м	7946	11316	5563
	L = 2 м	25127	35785	17591
				4516
				14279

Із даних табл. 2 випливає, що на величину $F_{КАН.2}^{MAX.}$ має значний вплив довжина гнучкого підвісу L . Для оцінки прийнятності зробленого припущення стосовно незмінності кутової швидкості канатного барабана на другому та третьому етапі руху системи $\dot{\phi}_1 = \omega = const$,

виконаємо порівняння отриманих результатів із тими, що відповідають моделюванню руху системи із приводом від асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (у розрахунках використаємо рівняння статичної механічної характеристики). Для цього випадку прийнемо:

$$M_1 = \frac{2 \cdot M_{MAX} \cdot U \cdot \eta}{\frac{(\omega_0 - \dot{\phi}_1 \cdot U) s_{KP}}{\omega_0} + \frac{s_{KP} \cdot \omega_0}{\omega_0 - \dot{\phi}_1 \cdot U}}, \quad (20)$$

де: M_{MAX} – максимальний обертовий момент на валу електродвигуна механізму зміни вильоту вантажу; s_{KP} – критичне ковзання електродвигуна механізму; U – загальне передавальне число приводу механізму; ω_0 – кутова швидкість ідеального холостого ходу електродвигуна; η – коефіцієнт корисної дії приводу механізму.

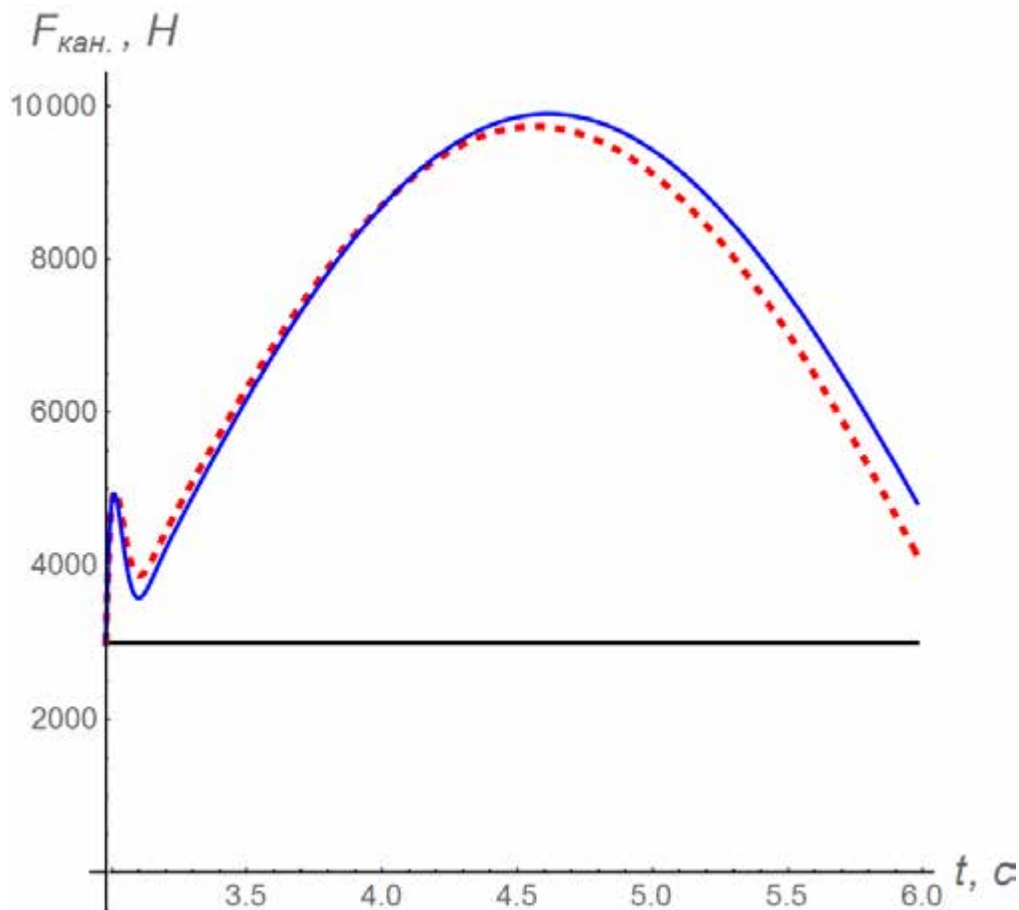


Рис. 3. Графіки функції, що відповідають зусиллю в тяговому канаті для аналітичного (пунктирна крива) і чисельного (суцільна крива) розрахунків.

Початкові умови для обох випадків однакові. В результаті чисельного розв'язку системи диференційних рівнянь (6), (7) побудовано графіки зусилля в тяговому канаті, які відповідають

аналітичним та чисельним розрахункам (рис. 3). Горизонтальна лінія на рис. 3 відповідає зусиллю W .

Похибка визначення максимального зусилля в тяговому канаті для величини $F_{КАН.1}^{MAX.}$ складає не більше 8% у більшу сторону, оскільки не враховано зменшення швидкості приводу при натягуванні канату. Похибка визначення величини $F_{КАН.2}^{MAX.}$ складає менше одного відсотка. Наведені дані підтверджують прийнятність зробленого припущення.

Висновки

У статті досліджено динамічні навантаження в тяговому канаті механізму зміни вильоту вантажу баштового крана. За параметрами досліджуваного механізму для чотирьох баштових кранів встановлено, що максимальні зусилля у тяговому канаті для першого випадку (високочастотна складова) знаходиться в діапазоні від 2326 до 6263 Н. Для низькочастотної складової діапазон максимальних зусиль в тяговому канаті за довжини гнучкого підвісу вантажу $L = 2$ метри знаходиться в межах від 14279 до 35785 Н, а для довжини гнучкого підвісу $L = 20$ метрів від 4516 до 11316 Н. Максимальна розбіжність аналітичних розрахунків в порівнянні з чисельними даними складає 8%. Крім того, встановлено значення коефіцієнта дисипації канатно-демпферної системи, при якому відбувається перехід в зону аперіодичного руху системи.

Отримані результати можуть бути використані для розробки інженерних методик розрахунку динамічних навантажень механізмів баштового крана. Вони також будуть корисними для проектування демпферів коливань елементів баштових кранів.

Список літератури

1. Григоров О. В., Свіргун В. П., Аніщенко Г. О., Стрижак В. В., Окунь А. О. Оптимальне керування підйомно-транспортними машинами (Optimale Steuerung für Hebe-und Fördermaschinen): навчальний посібник. Харків. НТУ «ХПІ». 2013. 174 с. (нім. мовою).
2. Герасимьяк Р. П., Лещёв В. А. Анализ и синтез крановых электромеханических схем. Одесса. Издательство «СМИЛ» 2008. 192 с.
3. Shengchun Wang, Rongsheng Shen, Tonghong Jin, Shijun Song. Dynamic behavior analysis and its application in tower crane structure damage identification. Advanced Materials Research. Trans tech publications, Switzerland. (2012). Vol. 368-373. 2478-2482.
4. Florentin Rauscher, Oliver Sawodny. An elastic jib model for the slewing control of tower cranes. Elsevier. Science Direct. IFAC PapersOnLine. (2017). Vol. 50-1. 9796–9801.
5. Подоляк О. С. Підвищення техніко-експлуатаційних показників стрілових самохідних кранів застосуванням гідравлічних гасителів коливань. Автореф. дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. 05.05.05. Харків. 2010. 18 с.

6. *Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Шумілов Г. В.* Оптимізація режиму зміни вильоту і підйому вантажу баштового крана: монографія. Київ. НУБіП України. Вид-во ЦП „КОМПРИНТ”. 2013. 174 с.
7. *Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Стехно О. В.* Математичне моделювання динаміки руху механізму зміни вильоту вантажу баштового крана. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 359–369.
8. Башенный кран КБ-674. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%91-674>.
9. Башенный кран Liebherr 200 EC-H 10. URL: <http://ru.8sbzfqbnedk.ru-p1ai/liebherr/39-liebherr-200-ec-h10>.
10. Башенный кран Potain MTD 128. URL: <https://www.manitowoccranes.com/ru-RU/cranes/potain/top-slewing/mdt-city/MDT-128>.
11. Башенный кран LINDEN COMANSA серии LC 500. URL <http://ru.8sbzfqbnedk.ru-p1ai/linden-comansa/16-lc-500>.

References

1. *Hryhorov, O. V., Svirhun, V. P., Anishchenko, H. O., Stryzhak, V. V., Okun, A. O.* (2013). Optimal control of lifting machines. Tutorial. Kharkiv. NTU «KhPI». 174.
2. *Herasymiak, R. P., Leshchyy, V. A.* (2008). Analysis and synthesis of crane electromechanical systems. Tutorial. Odessa. Publisher «SMYL». 192.
3. *Shengchun Wang, Rongsheng Shen, Tonghong Jin, Shijun Song.* (2012). Dynamic behavior analysis and its application in tower crane structure damage identification. Advanced Materials Research. Trans tech publications, Switzerland. Vol. 368-373. 2478-2482.
4. *Florentin Rauscher, Oliver Sawodny.* (2017). An elastic jib model for the slewing control of tower cranes. Elsevier. Science Direct. IFAC PapersOnLine. Vol. 50-1. 9796–9801.
5. *Podoliak, O. S.* (2010). Improvement of technical-operational indicators of mast cranes by mean of hydraulic dampers. Kharkiv. 18.
6. *Loveikin, V. S., Romasevych, Yu. O., Shumilov, H. V.* (2013). Tower crane regimes of lifting and derricking optimization. Monograph. Kyiv. NULES of Ukraine. Publisher TsP «KOMPRINT». 174.
7. *Loveikin, V. S., Romasevych, Yu. O., Stekhno, O. V.* (2017). Mathematical modeling of dynamic of tower crane derricking mechanism. Tutorial. National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 258. 359–369.
8. Tower crane KB-674. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%91-674>.
9. Tower crane Liebherr 200 EC-H 10. URL: <http://ru.8sbzfqbnedk.ru-p1ai/liebherr/39-liebherr-200-ec-h10>.
10. Tower crane Potain MTD 128. URL: <https://www.manitowoccranes.com/ru-RU/cranes/potain/top-slewing/mdt-city/MDT-128>.
11. Tower crane LINDEN COMANSA type LC 500. URL <http://ru.8sbzfqbnedk.ru-p1ai/linden-comansa/16-lc-500>.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА ГРУЗА БАШЕННОГО КРАНА

В. С. Ловейкин, Ю. А. Ромасевич, О. В. Стехно

Аннотация. В статье приведены исследования, посвященные расчетам динамических нагрузок в тяговом канате механизма

изменения вылета груза башенного крана. Для исследования динамических нагрузок разработана динамическая модель движения отдельных приведенных масс системы. На основе динамической модели с помощью принципа д'Аламбера составлена многоэтапная математическая модель движения механизма изменения вылета груза. Установлено, что величина усилия в тяговом канате включает три составляющие: статическую, динамическую от маятниковых колебаний груза и динамическую от упругих колебаний грузовой тележки относительно канатного барабана.

В ходе дальнейших исследований предложено рассматривать динамические нагрузки отдельно друг от друга. Это связано с тем, что частоты соответствующих маятниковых колебаний груза и грузовой тележки относительно канатного барабана значительно различаются между собой. Определены максимальное усилие в тяговом канате от маятниковых колебаний груза и от колебаний грузовой тележки относительно канатного барабана. В результате анализа полученных результатов определена величина коэффициента диссипации канатно-демпферной системы, при которой колебания тележки относительно канатного барабана являются апериодическими.

Определение максимальных усилий в тяговом канате проведено на примере четырех башенных кранов марок: КБ-674, 200 EC-H 10 Liebherr, MTD 128 Potain и 5 LC 5010 5t LINDEN COMANSA. Для установления адекватности полученных аналитических результатов проведено их сравнение с данными численного интегрирования уравнений движения механизма изменения вылета груза башенного крана КБ-674.

Ключевые слова: башенный кран, механизм изменения вылета, груз, тяговый канат, парциальные частоты, колебания, динамические нагрузки, коэффициент диссипации

ANALYSIS OF DYNAMICS OF LUFFING CARGO CRANE TOWER

V. S. Loveikin, Yu. O. Romasevych, O. V. Stekhno

Abstract. In the article the researches of calculations of dynamic loads in a haul cable of a derricking mechanism of a tower crane are stated. In order to study the dynamic loads, a dynamic model of the motion of reduced masses of the system has been developed. On the basis of the dynamic model with the help of the d'Alambert's principle, a multi-stage mathematical model of the movement derricking mechanism has been designed. It has been established that the value of the force in the haul cable force includes three components: static, dynamic which is caused by the pendulum oscillations of a payload and dynamic which is caused by the elastic vibrations of the trolley relative to the rope drum.

In the course of further research it is proposed to consider dynamic loads separately from each other. This is due to the fact that the frequency of the corresponding pendulum oscillation of the payload and the trolley relative to the rope drum varies considerably. The maximum forces in the haul cable from the pendulum oscillations of the payload and the fluctuations of the trolley relative to the rope drum have been calculated. As a result of the obtained results analysis, the value of the dissipation factor of the cable-damping system has been determined. It value provides aperiodic oscillations of the trolley relative to rope drum.

Determination of maximum forces in the haul cable has been carried out on example of four tower cranes: KB-674, 200 EC-H 10 Liebherr, MTD 128 Potain, 5 LC5010 5t LINDEN COMANSA. In order to establish the adequacy of the obtained analytical results they have been compared with data of numerical integration of the movement equations of the derricking mechanism of tower crane KB-674.

Key words: *tower crane, derricking mechanism, payload, haul cable, partial frequencies, oscillations, dynamic loads, dissipation factor*

УДК 631.331

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ПРИСМОКТУВАННЯ НАСІНИНИ ДО КОМІРЧИНИ ВИСІВНОГО ЕЛЕМЕНТА З НАХИЛЕНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ, ЩО РУХАЄТЬСЯ ВГОРУ

М. С. Шведик, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-7991-5603

Ю. Л. Гунько, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-1441-9625

Луцький національний технічний університет
В. В. Теслюк, доктор сільськогосподарських наук
ORCID 0000-0002-9233-6518

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**
e-mail: Shvedykms.@gmail.com

Анотація. *Стаття приурочена дослідженню пневматичного апарата централізованого висіву дискового типу з нахиленою віссю обертання, у якого комірчки для висіву насіння розміщені концентрично на нижній основі диска. При цьому значення сили*

© М. С. Шведик, Ю. Л. Гунько, В. В. Теслюк, 2018

присмоктування насінини до комірчини в крайніх точках, що лежать на горизонтальному діаметрі диска під час його руху по колу в площині нахилений під кутом до горизонту з нижнього положення у верхнє і навпаки, має різне значення.

У статті наведено схему сил, що діють на насінину в момент її руху з нижнього положення у верхнє і складено умову рівноваги цих сил. З схеми видно, що під час обертання висівного елемента різко зростає навантаження на задню штовхаючу стінку комірчини під дією якого насінина притискується до стінки комірчини, в той час як передній може перебувати без навантаження. В такому випадку виникає не стійке положення і передній кінець насінини відірветься від комірчини. Як наслідок під тиском інших насінин вона може повністю відірватись і виштовхнутись з комірчини. Щоб цього не сталося у пневматичних висівних апаратах насіння утримується в комірчинах за рахунок присмоктувальної сили.

Щоб визначити значення сили присмоктування насінини до комірчини, що рухається з нижнього положення у верхнє, у статті розглянуто схему сил, що діють на насінину саме в цей момент і складено умову рівноваги цих сил. На основі цієї схеми отримано аналітичну залежність сили присмоктування насінини до комірки висівного елемента з нахилою віссю обертання, як від конструктивно-технологічних параметрів (γ , α , R , ω , h) висівного елемента, так і фізико-механічних властивостей (m , r , l , f , ε , ρ) самого насіння. Отримана залежність дає можливість визначити значення сили присмоктування насіння до комірок призначених для обслуговування правосторонньої групи сошників сівалки.

Ключові слова: висівний елемент, нахилена вісь, комірка, насінина, зерновий шар, тиск, бічний тиск, сила, лобовий опір, тертя, присмоктування

Постановка проблеми. Одним з шляхів підвищення врожайності зернових колосових культур є впровадження точного висіву насіння [1]. Для його реалізації запропоновано різні конструкції пневматичних апаратів з централізованим висівом. Принцип роботи таких апаратів ґрунтується на присмоктуванні насіння до комірок висівного елемента, всередині якого створюється розрідження [2]. Як правило насіння присмоктується в зоні забору і виноситься в зону висіву в якій присмоктувальні канали перекриваються, вакуум в комірках зникає і насіння випадає в насіннепроводи, і далі транспортується до сошників. Перевагою таких апаратів є те, що установка по середині сівалки одного або двох апаратів може забезпечити подачу насіння до групи сошників, сумарна ширина

захвату яких перевищує ширину захвату самого апарата в кілька разів.

Серед таких апаратів заслуговує уваги пневматичний апарат з нахилою віссю обертання висівного елемента [3], що дає можливість здійснювати одночасний висів насіння в три групи сошників розміщених з лівої і правої сторони сівалки та по її центру. Таке конструктивне рішення забезпечує зручний і легкий доступ до насіннепроводів розміщених в зоні розвантаження комірок висівного елемента під час його обслуговування. Однак в літературних джерелах не наводяться результати з їх досліджень, зокрема з визначення як глибини розрідження всередині висівного елемента, так і сили присмоктування насінини до комірчини висівного елемента, за значенням якої і визначається необхідна глибина розрідження в будь якому висівному апараті. Оскільки умови для переміщення насінини в зерновому шарі з нижнього положення у верхнє відрізняються від умов її переміщення по колу, то очевидно, що і сили присмоктування насінини до комірчини під час її руху вгору, тобто під кутом до горизонту, також будуть значно відрізнятись. Тому теоретичні засади для визначення сили присмоктування будуть іншими і їх необхідно визначити саме для тих умов, коли насінина переміщується з нижнього положення у верхнє.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз літературних джерел приурочених питанням теорії пневматичних висівних апаратів [2, 4] показує, що вони є достатньо вивчені. Однак всі теоретичні положення, що стосуються присмоктуванню насінини до комірчини, ґрунтуються на переміщенні насінини по колу розміщеному у вертикальній або у горизонтальній площинах і не можуть бути в повній мірі застосовані до визначення сили присмоктування насінини до комірчини, яка рухається по колу розміщеному в площині нахилений під кутом у до горизонту.

Метою досліджень є проведення аналізу сил, що діють на насінину під час її переміщення під кутом до горизонту з нижнього положення у верхнє і на основі рівноваги сил визначити силу присмоктування до комірчини висівного елемента з нахилою віссю обертання.

Результати досліджень. Для того щоб визначити значення сили присмоктування насінини до комірчини, що рухається по колу в площині нахилений під кутом до горизонту з нижнього положення у верхнє, необхідно розглянути схему сил, що діють на насінину саме в цей момент і скласти умову рівноваги цих сил, з якої можна буде отримати відповідну аналітичну залежність. На рис. 1 наведено фрагмент висівного елемента з нахилою під кутом у віссю

обертання на якому в розрізі зображено комірчину з розміщеною в ній насіниною під час руху вгору.

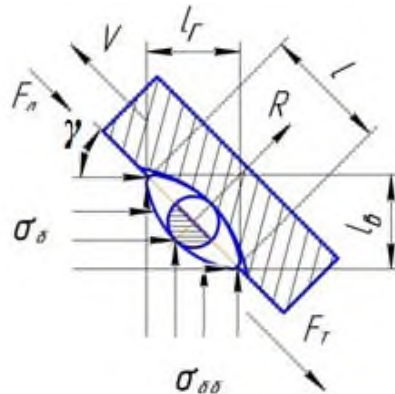


Рис. 1. Фрагмент комірчини висівного елемента з нахиленою віссю обертання і розміщеною в ній насіниною, яка розміщена на нижній основі (торці) під час руху вгору.

За результатами наших досліджень [5] значення цих сил визначаються за формулами:

$$T = \frac{1}{2} \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \sin \gamma, \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{2} \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon^2 \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \cos \gamma, \quad (2)$$

$$R = \sqrt{T + Q} = \frac{1}{2} \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \sqrt{\sin^2 \gamma + \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \gamma} \quad (3)$$

де: $\pi = 3,14$; r – половина ширина насінини; l – довжина насінини; ξ' – коефіцієнт бічного розпирання; n' – коефіцієнт, що враховує вертикальні сили тертя насіння об стінки бункера (коефіцієнт зависання); для неглибокого бункера $n' = 1$; K_d – поправний коефіцієнт, що враховує динамічність навантаження; ρ – насипна щільність насіння; g – прискорення вільного падіння; h – глибина розміщення точки прикладання тиску під шаром насіння.

Для того, щоб вияснити дію всіх сил на насінину, виділимо фрагмент диска з комірчиною і розміщеною в ній насіниною. При цьому вважаємо, що центр комірчини і насінини співпадають і лежать на прямій, яка проходить вздовж нижньої поверхні диска. Проведемо через спільний центр насінини і комірчини систему координат XYZ , рис. 2 і покажемо напрям дії вищезазначених сил. При цьому з метою спрощення побудови схеми вважаємо, що вісь X направлена перпендикулярно до площини малюнка. Під час обертання висівного елемента різко зростає навантаження на задню штовхаючу стінку комірчини під дією якого виникає рівна за величиною але протилежно направлена нормальна сила N .

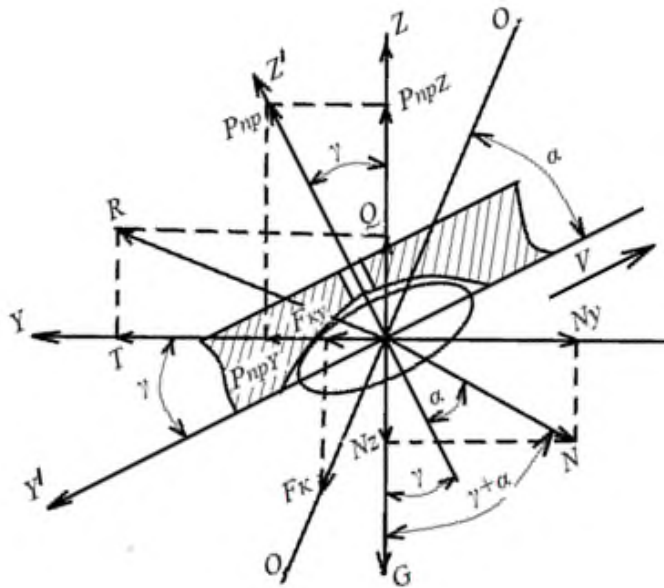


Рис. 2. Схема сил, що діють на насінину розміщену в комірчині висівного елемента з нахилоною віссю обертання під час руху вгору.

Ця сила для напівсферичної комірчини за даними [6] направлена під кутом α до перпендикуляра опущеного до хорди, що стягує кінцеві точки комірчини. Оскільки задній кінець насінини постійно притискується до стінки комірчини, в той час як передній може перебувати без навантаження, то в такому випадку виникає не стійке положення і передній кінець насінини відірветься від комірчини. Як наслідок під тиском інших насінин вона може повністю відірватись і виштовхнутись з комірчини. При цьому сила ваги G , яка діє вниз вздовж осі Z , також намагається її відірвати від комірчини. Це є однією з причин, які призводять до висіву з пропуском, тобто за час повороту висівного елемента і проходження ним зони заповнення, комірчина виявиться без насінини. Щоб цього не сталося у пневматичних висівних апаратах насіння утримується в комірчинах за рахунок присмоктувальної сили. Цю силу можна визначити з умови рівноваги сил, що діють на насінину. Для цього розкладемо силу присмоктування, яку позначимо символом $P_{\text{пР}}$, на дві складові – горизонтальну $P_{\text{пР}Y}$ і вертикальну $P_{\text{пР}Z}$ та визначимо їх значення. Напрямок дії присмоктувальної сили (рис.2) завжди співпадає з напрямком присмокту вального каналу комірчини, а оскільки присмоктувальний канал комірчини виконано перпендикулярно до основи висівного елемента нахилоного під кутом γ , то на основі взаємоперпендикулярності сторін трикутників видно, що:

$$P_{\text{пР}Z} = P_{\text{пР}} \cdot \cos \gamma, \quad (4)$$

$$P_{\text{пР}Y} = P_{\text{пР}} \cdot \sin \gamma. \quad (5)$$

Аналогічним чином розкладемо нормальну силу N також на дві складові – горизонтальну N_Y і вертикальну N_Z і визначимо їх значення:

$$N_Y = N \cdot \sin(\gamma + \alpha), \quad (6)$$

$$N_Z = N \cdot \cos(\gamma + \alpha). \quad (7)$$

Рівнодійна R сил T і Q під час переміщення насінини заднім кінцем по стінці комірчини викликає силу тертя F_K , яка діє по прямій $O-O$ відхиленій від осі Y на кут α :

$$F_K = f \cdot R, \quad (8)$$

де: f – кут тертя насінини об стінку комірчини.

З рис. 2 видно, що проекцію F_{KY} сили F_K на вісь Y можна визначити за формулою:

$$F_{KY} = F_K \cdot \cos(\gamma + \alpha), \quad (9)$$

яка з врахуванням виразів (8) і (3) набуде вигляду:

$$F_{KY} = \frac{1}{2} f \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot \sqrt{\sin^2 \gamma + \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \gamma}. \quad (10)$$

Вздовж осі X діє відцентрова сила $P_{ВЦ}$, яка намагається виштовхнути насінину з комірчини, їй протидіє сила лобового опору, яка визначається за формулою [5]:

$$P_L = P_B = \frac{1}{2} \pi \cdot r^2 \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_d \cdot \rho \cdot g \cdot h. \quad (11)$$

Таким чином всі сили, які діють на насінину по осях координатної системи XYZ визначені, то умову рівноваги сил можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} \sum P(x) &= 0; & -P_{ВЦ} + P_B &= 0; & \sum P(y) &= 0; & T + F_{KY} - N_Y + P_{ПР Y} &= 0; \\ \sum P(z) &= 0; & P_{ПР Z} + Q - N_Z - G &= 0. \end{aligned}$$

З урахуванням останніх рівнянь та виразів (4), (5), (6) і (7) умову рівноваги сил можна записати у вигляді системи трьох рівнянь:

$$\begin{cases} -P_{ВЦ} + P_B = 0; \\ P_{ПР} \cdot \sin \gamma + T + F_{KY} - N \cdot \sin(\gamma + \alpha) = 0; \\ P_{ПР} \cdot \cos \gamma + Q - N \cdot \cos(\gamma + \alpha) - G = 0. \end{cases}$$

Друге рівняння даної системи можна записати в такому вигляді:

$$N = \frac{P_{ПР} \cdot \sin \gamma + T + F_{KY}}{\sin(\gamma + \alpha)}, \quad (11)$$

і підставивши в третє рівняння замість N вираз (1) прийдемо до системи з двома рівняннями і одним невідомим:

$$\begin{cases} -P_{ВЦ} + P_B = 0; \\ P_{ПР} \cdot \cos \gamma + Q - G - \frac{P_{ПР} \cdot \sin \gamma + T + F_{KY}}{\sin(\gamma + \alpha)} \cdot \cos(\gamma + \alpha) = 0. \end{cases}$$

Прирівнюючи між собою дані рівняння після деяких спрощень і перетворень отримаємо рівняння:

$$P_{\text{пр}} \cdot [\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \text{ctg}(\gamma + \alpha)] + Q - G - (T + F_{\text{кх}}) \cdot \text{ctg}(\gamma + \alpha) = -P_{\text{вд}} + P_{\text{б}}.$$

з якого знайдемо, що

$$P_{\text{пр}} = \frac{1}{\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \text{ctg}(\gamma + \alpha)} \cdot [-P_{\text{вд}} + P_{\text{б}} - Q + G + (T + F_{\text{кх}}) \cdot \text{ctg}(\gamma + \alpha)]$$

або підставивши замість T , Q , $F_{\text{кх}}$ і $P_{\text{б}}$ вирази (1), (2), (10) і (11) та враховуючи те, що $P_{\text{вд}} = m\omega^2 R$, а $G = mg$, після деяких спрощень отримаємо залежність сили присмоктування насінини до комірки під час її переміщення з нижнього положення у верхнє від конструктивно-технологічних параметрів висівного апарата з нахиленою віссю обертання:

$$P_{\text{пр}} = \frac{1}{\cos \gamma - \sin \gamma \cdot \text{ctg}(\gamma + \alpha)} \cdot \left\{ \begin{aligned} &mg - m\omega^2 R + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \cdot K_{\text{д}} \cdot \rho \cdot g \cdot h \times \\ &\times \left[\frac{r}{l} - \varepsilon \cdot \cos \gamma + [\sin \gamma + f \cdot \cos(\gamma + \alpha)] \times \right. \\ &\left. \times \sqrt{\sin^2 \gamma + \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \gamma} \right] \cdot \text{ctg}(\gamma + \alpha) \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Аналіз отриманого виразу показує, що сила присмоктування насінини до комірки висівного елемента з нахиленою віссю обертання під час її переміщення з нижнього положення у верхнє залежить від конструктивних (γ , α , R) і технологічних (ω , h) параметрів висівного елемента та фізико-механічних (m , r , l , f , ε , ρ) властивостей насіння. Тому під час розробки пневматичних висівних апаратів централізованого висіву насіння з нахиленою віссю обертання висівного елемента величину сили присмоктування насіння до комірок призначених для обслуговування правосторонньої групи сошників сівалки необхідно визначати з врахуванням зазначених як конструктивно-технологічних параметрів висівного елемента, так і фізико-механічних властивостей самого насіння.

Висновки

На основі результатів досліджень отримано аналітичну (13) залежність сили присмоктування насінини до комірки висівного елемента з нахиленою віссю обертання під час її переміщення з нижнього положення у верхнє від конструктивно-технологічних параметрів (γ , α , R , ω , h) висівного елемента та фізико-механічних властивостей (m , r , l , f , ε , ρ) насіння і її можна застосовувати до пневматичних апаратів централізованого висіву для визначення необхідної сили присмоктування насіння до комірок висівного елемента, що призначені для обслуговування правосторонньої групи сошників сівалки.

Напрямом подальших досліджень може бути дослідження залежності сили присмоктування насінини до комірчини висівного елемента з нахилоною віссю обертання під час її переміщення з верхнього положення у нижнє, що дасть можливість визначити значення необхідної сили присмоктування насіння до комірок висівного елемента призначених для обслуговування лівосторонньої групи сошників сівалки.

Список літератури

1. *Погорілий Л. В. Шведик М. С.* Обґрунтування агротехнічних вимог щодо точного висіву зерна колосових культур і технічних засобів для його здійснення. Вісник сільськогосподарських науки. 1992. №7. С. 40–44.
2. *Басин В. С., Брей В. В., Погорель Л. В.* Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчет. Київ. Техніка. 1987. 151 с.
3. А. с. №1256706 (СССР). Пневматический высевальный аппарат. Иваница С. К., Беляев Е. А., Гусев В. М., Кузнецов Б. Ф. Б.И. №34. С. 198.
4. *Мартиненко С. А., Мащишена Л. Г., Погорель Л. В., Штыльфус Г. Я., Шумейко В. М.* Пневматические сеялки: конструирование и расчет. Київ. Техніка. 1992. 224 с.
5. *Шведик М. С.* Визначення сил спричинених тиском зернового шару на насінину розміщену в комірчині висівного елемента. Сільськогосподарські машини. Луцьк. Ред.-вид. відділ Луцького НТУ. 2017. С. 162–168.
6. *Погорель Л. В., Шведик Н. С.* Обоснование параметров пневматического высевального аппарата для точного посева зерновых культур. Техника в сельском хозяйстве. 1993. № 5-6. С. 16–18.

References

1. *Pogorely, L. V. Shvetik, M. S.* (1992). Substantiation of agronomic requirements of precision seeding of grain grains of cultures and technical means for its implementation. Bulletin of agricultural Sciences. No 7. 40–44.
2. *Bassin S. V., Brei V. V., Pogorely L. V.* (1987). Machines for precision planting row crops: design and analysis. Kiev. Technique. 151.
3. A.s. No 1256706 USSR. (1987). Pnevmaticheskie wisemouse camera. Ivanjica S. K., Belyaev E. A., Gusev V. M., Kuznetsov B. F. Would. No 34. 198.
4. *Martynenko, S. A., Madisen, L. G., Pogorely, L. V., Stalfos, J. G., Shumeiko, V. M.* (1992). Pneumatic drill: designing and calculation. Kiev. Technique. 224.
5. *Shvetik M. S.* (2017). Determination of forces caused by the pressure of the grain layer on the seed placed in the back of a seed element. Agricultural machines. Lutsk. Ed. Department of Lutsk NTU. 162–168.
6. *Pogorely, L. V., Shvetik M. S.* (1993). Substantiation of parameters of pneumatic sowing machine for exact seeding. Equipment in agriculture. 1993. No. 5-6. 16–18.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПРИСАСЫВАНИЯ СЕМЯН К ЯЧЕЙКЕ ВЫСЕВАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА С НАКЛОНЕННОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ, ПРИ ДВИЖЕНИИ ВВЕРХ

Н. С. Шведик, Ю. Л. Гунько, В. В. Теслюк

Аннотация. *Статья посвящена исследованию пневматического аппарата централизованного высева дискового типа с наклоненной осью вращения, у которого ячейки для высева*

семян размещены концентрически на нижнем основании диска. При этом значение силы присасывания семени к ячейке в крайних точках, лежащих на горизонтальном диаметре диска во время его движения по кругу в плоскости наклонной под углом к горизонту из нижнего положения в верхнее и наоборот, имеет разное значение.

В статье приведена схема сил, действующих на семя в момент ее движения из нижнего положения в верхнее и составлено условие равновесия этих сил. Из схемы видно, что при вращении высевающего элемента резко возрастает нагрузка на заднюю толкающую стенку ячейки под действием которого семя прижимается к стенке ячейки, в то время как передний может находиться без нагрузки. В таком случае возникает не устойчивое положение и передний конец семени оторвется от ячейки. В результате под давлением других семян оно может полностью оторваться и вытолкаться из ячейки. Чтобы этого не произошло в пневматических высевающих аппаратах семена удерживаются в ячейках за счет силы присасывания.

Чтобы определить значение силы присасывания семени в комнату, движущегося из нижнего положения в верхнее, в статье рассмотрены схему сил, действующих на семя именно в этот момент и составлен условие равновесия этих сил. На основе этой схемы получена аналитическая зависимость силы присасывания семян до ячейки высевающего элемента с наклоненной осью вращения, как от конструктивно-технологических параметров (γ , α , R , ω , h) высевающего элемента, так и физико-механических свойств (m , r , l , f , ε , ρ) самих семян. Полученная зависимость позволяет определить значение силы присасывания семян к ячейкам предназначенных для обслуживания правосторонней группы сошников сеялки.

Ключевые слова: высевающий элемент, наклоненная ось, ячейка, семя, зерновой слой, давление, боковое давление, сила, лобовое сопротивление, трение, присасывание

DETERMINATION OF APPROXIMATION OF HANDLING TO COMBINATION OF HIGH-PERFORMANCE ELEMENT WITH RISKED VISION

M. S. Shvedik, Yu. L. Gun'ko, V. V. Teslyuk

Abstract. The article is timed to the study of pneumatic unit of central-type seeding disk type with tilted axis of rotation, of which cells for seeding are placed concentrically on bottom of disk. At the same time, the value of force of suction of seed to cell in extreme points lying on horizontal diameter of disk during its circular motion in plane inclined at angle to horizon from lower position to upper and vice versa, has different meanings.

In article fragment of disk with collapsible and placed in it seed is resulted. In this case, the center of cell and seed coincide and lie on straight line which extends along the bottom surface of disk. Through the joint center of seed and cell, the XYZ coordinate system was performed and direction of forces was shown. In order to simplify the construction of circuit, the X axis is directed perpendicular to drawing plane.

From the scheme it is clear from diagram that during the rotation of seed element the pressure on rear pushing wall of cabinet is sharply increased, under the action of which there is equal to magnitude but opposite directed normal force N . This force for semispherical cage is directed at angle α to perpendicular lowered to chord that pulls the finite Clutter points. Since the rear end of seed is constantly pressed against the wall of cell, while the front can be unloaded, in this case there is not stable position and front end of seed will break away from cell. As result, under pressure from other seeds, it can completely tear off and push itself out of closet. In this case, the force weight G , acting down along the Z axis, also tries to tear it off the collar. This is one of reasons that leads to seeding the seed with pass. To prevent this from happening in pneumatic seeding machines, the seeds are kept in cells due to suction force.

To determine the value of force of suction of seed to cell, moving from lower position to upper, in article scheme of forces acting on seed at that moment is considered and condition of equilibrium of these forces is drawn up. On basis of this scheme, an analytical dependence of seed suction force on seed cell with tilted axis of rotation is obtained, as from structural and technological parameters (γ , α , R , ω , h) of seed element, and physical and mechanical properties (m , r , l , f , ε , ρ) of seed itself. The obtained dependence makes it possible to determine the values of suction force of seeds to cells intended for servicing right hand side of the drill bit.

Key words: *seed element, inclined axis, cell, seed, grain layer, pressure, lateral pressure, force, frontal resistance, friction, suction*

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПРОЕКТУ ТЕХНІЧНОГО ПЕРЕОСНАЩЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

О. М. Загурський, доктор економічних наук
ORCID 0000-0002-5407-8466
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: zagurskiy_oleg@ukr.net

Анотація. Роль інвестицій у технічному переоснащенні автотранспортних підприємств на сучасному етапі розвитку економіки України є досить важливою. Реалізація процесу інвестування можлива лише за наявності попередніх даних про діяльність того чи іншого суб'єкта господарювання та можливі ризики, що можуть виникнути у процесі його впровадження. Найбільша точність і достовірність інвестиційного аналізу досягається за використання комбінованих методів оцінки ризику, які враховують максимальну кількість значущих чинників, а також їх вплив на кінцевий результат і взаємозв'язок один з одним. Тому оцінка інвестиційної привабливості потенційного об'єкта інвестування це перший крок при прийнятті інвестиційного рішення.

В статті розглянуто загальні методичні підходи щодо аналізу інвестиційної привабливості та запропоновано модель оцінки проекту з технічного переоснащення підприємств автотранспортної галузі із застосуванням теорії нечітких множин. Запропонований метод в силу його адаптивності та гнучкості дозволяє максимально об'єктивно урахувати всі реалії економіки країни, є простим у застосуванні та ефективним у використанні та дозволяє однозначно інтерпретувати результати математичної та аналітичної обробки визначеної групи цільових показників.

Ключові слова: *інвестиційна привабливість, інвестиції, нечітка логіка, ризик, технічне переоснащення*

Постановка проблеми. Процес технічного переоснащення є одним з основних чинників істотного підвищення ефективності функціонування і розвитку автотранспортної галузі. Разом з тим технічне переоснащення вимагає часу і значних фінансових інвестицій, що не завжди піддаються точному економічному прогнозу.

© О. М. Загурський, 2018

Зі збільшенням розміру і ускладненням структури парку машин і іншої техніки в процесі функціонування автотранспортного підприємства зростає частка додаткових витрат, які не можуть бути точно прогнозовані на етапі проектування і техніко-економічного обґрунтування. Відповідно і прийняття рішень на різних стадіях реалізації інвестиційного проекту відбувається в умовах невизначеності та ризику, які характеризується відсутністю статистики, впливом зовнішніх факторів, недостовірністю інформації, довгими строками реалізації проектів. Саме тому новітні системи прийняття рішень, створені за допомогою різноманітних методів штучного інтелекту, потребують використання адекватного математичного апарату, який дає можливість врахувати неповноту та невизначеність вхідних даних. Останнім часом для ефективного прийняття рішень при невизначеності умов функціонування системи застосовують методи, що базуються на основі теорії нечітких множин.

Аналіз останніх досліджень. Теорія нечітких множин була запропонована математиком Лотфі А. Заде. Пізніше вона отримала подальший розвиток у наукових дослідженнях і практичній реалізації майже у всіх областях природничих і гуманітарних наук. Серед сучасних досліджень в галузі оцінки і управління ризиками, що використовують не чітко множинний підхід виділяються роботи П. Блаватського [2], Х. Бротонса и А. Терцено [3], Д. Гулика і Х. Норде [5], П. Хоргби [6], Т. Хуанга [7] та ряду інших авторів.

Проте, не зважаючи на значну кількість напрацювань не обхідно визначити, що завдання оцінки і управління ризиками при технічному переозброєнні на сьогоднішній день повністю не вирішені, і тому дослідження, на основі якого можна було б дати не тільки якісну, а й кількісну оцінку відповідним ризикам, є надзвичайно актуальним.

Мета досліджень є розробка загально методичних підходів щодо аналізу інвестиційних проектів та побудова моделі оцінки технічного переоснащення підприємств автотранспортної галузі із застосуванням теорії нечітких множин.

Матеріали та методика досліджень. Виникнення ризиків при реалізації проектів технічного переоснащення автотранспортних підприємств в основному пов'язано з волатильним характером протікання процесів, що впливають на остаточні техніко-економічні параметри проекту. На сам перед потрібно відзначаємо групи факторів (технічні, технологічні, інноваційні, кліматичні та фінансові), що безпосередньо впливають на остаточний результат інвестиційного проекту. Усі вони у міру складності та сучасних умов розвитку (інновації, глобалізація, інфляція) характеризуються непередбачуваністю та ризиком.

У методах оцінювання рівня ризику інвестиційного проекту, від рівня оптимізму особи, що приймає рішення, доволі часто залежить загальний результат оцінки а, отже, подальші дії з реалізації проекту. У переважній більшості випадків оцінка цього рівня проводиться експертним методом. При цьому передбачається, що експерт (група експертів) достатньо обізнаний, має достатній рівень знань і досвіду, щоб на основі безлічі чинників і загальної невизначеності досить достовірно визначити рівень інвестиційної привабливості того проекту переоснащення підприємства. Проте, на віть за високої кваліфікації експерта, в силу постійної мінливості умов та тривалої реалізації проекту, точна загальна оцінка рівня привабливості проекту може бути досить ускладнена. У такій ситуації можливим рішенням є застосування теорії нечіткої логіки та нечітких множин.

Думка застосувати нечіткі множини у інвестиційному аналізі зародилася як спосіб боротьби з невизначеністю не тільки статистичною, а й лінгвістичною, тобто з невизначеністю висловлювань на природній мові. Нечітко множинний підхід виявляється більш гнучким і дозволяє інвестору або експерту самотійно скласти модель, яка буде чітко відповідати усім необхідним для нього умовам і дасть конкретні відповіді на всі поставлені запитання.

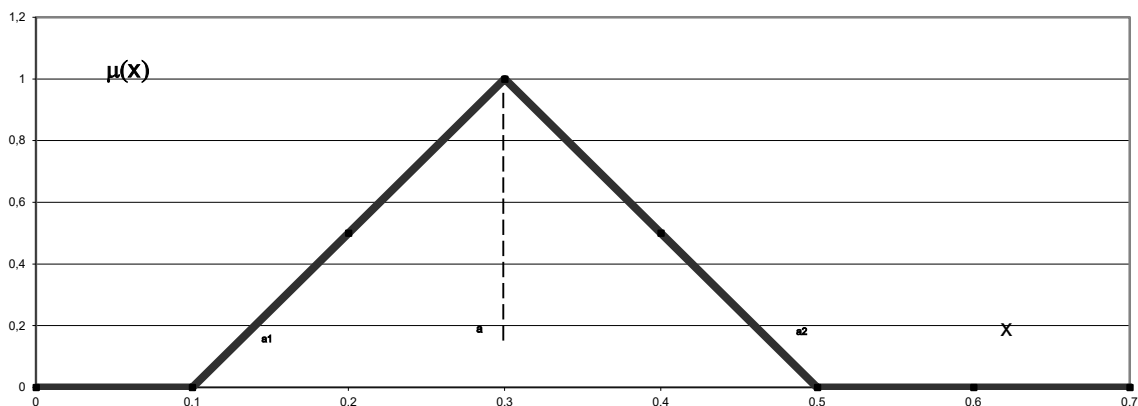


Рис. 1. Функція належності трикутного нечіткого числа.

Джерело: Недосекин А. О. Нечетко-множественный подход к актуарному моделированию [Электронный ресурс]. Режим: <http://pensionreform.ru>, вільний.

Теорія нечітких множин представляє собою узагальнення і переосмислення найважливіших напрямів класичної математики. Це спроба поєднати як формалізовані так і неформалізовані методи аналізу. Нечіткі множини ідеально описують суб'єктну активність особи, що приймає рішення в умовах ризику та невизначеності. Крім того, нечіткі числа (різновид нечітких множин) ідеально підходять для планування факторів в часі, коли їхня майбутня оцінка розмита і не має достатніх підстав вірогідності. Перевага методу полягає у тому

що, всі сценарії по великій кількості окремих факторів можуть бути зведені в один сценарій у формі трикутного числа, де виділяються три точки: мінімально можливе, найбільш очікуване і максимально можливе значення фактора.

При цьому вага окремих сценаріїв формалізуються як трикутна функція належності рівня фактора нечіткій множині «приблизна рівність середньому». При описі об'єктів і явищ за допомогою нечітких множин використовується поняття нечіткої і лінгвістичної змінних.

Нечітка змінна характеризується тріадою $\langle a, X, A \rangle$, де: a – найменування змінної, X – універсальна множина (область визначення a), A – нечітка множина на X , що описує обмеження (тобто $m A(x)$) на значення нечіткої змінної a .

Побудова моделі оцінки за допомогою нечіткої логіки включає в себе наступні кроки:

1. Вибираються незалежні змінні, фактори-наслідку, які впливають на значення залежної змінної.
2. Описуються нечіткі множини значень для незалежних і залежних змінних. При цьому замість чисельних значень використовуються лінгвістичні терміни.
3. Описуються правила виведення. Кожне правило записується у вигляді «якщо» (незалежна змінна дорівнює значенню), «то» (залежна змінна дорівнює значенню). При цьому у якості «значень» застосовуються лінгвістичні терми, описані в п. 2.
4. На основі незалежних змінних і правил виводу генеруються нечіткі множини залежної змінної. Для реалізації цього кроку зазвичай застосовуються програмні засоби.
5. Результат потім використовується для обґрунтованого прийняття рішень.

Згідно наведеному вище алгоритму відбуваються етапи моделювання.

Етап 1 (Множини). В рамках моделі оцінки ризику технічного переоснащення автотранспортного підприємства пропонуються наступні безлічі значень для незалежних змінних і правила їх оцінки:

1. Показники надійності та якості машини. До показників надійності і якості технічної системи, що визначає характер, вартість та інші параметри процесу технічного переозброєння, в першу чергу відносяться: технічний ресурс, термін служби, гамма-процентний ресурс, безвідмовність, довговічність та ін. Безліч лінгвістичних термінів визначається значеннями «високий», «середній», «низький», розподілених в діапазоні $[0,01; 1]$, де 1 відповідає тому, що техніка повністю відповідає світовому рівню за основними параметрами, які характеризують її експлуатаційні властивості. Опис значень і функцій належності для різних типів технічних систем може відрізнятися, в

тому числі і бути несиметричним щодо середини діапазону [0,01; 1]. Виходячи з цього, можна орієнтуватися на наступну шкалу: <0,5 – низький; 0,5–0,8 – середній, >0,8 – високий рівень.

2. Режим роботи техніки. Безліч лінгвістичних термінів цієї змінної складається з наступних значень: «легкий», «середній», «важкий». Ці значення характеризують режим, в якому планується робота технічної системи. Чим важче режим експлуатації, тим частіше будуть відбуватися раптові відмови, а отже, рівень оптимізму буде нижче. Числові значення цього чинника змінюються в діапазоні [0,01; 1], де <0,3 – легкий режим роботи, 0,3–0,7 – середній, 0,7–1 – важкий режим роботи. Значення 1,0 відповідає максимально допустимим піковим навантаженням на машину (самий важкий режим роботи з можливих). Режими експлуатації визначають за такими показниками: коефіцієнт використання номінального навантаження; коефіцієнт тривалості роботи системи під навантаженням протягом зміни; коефіцієнт використання в році; число включень системи в годину; коефіцієнт коливань навантаження; коефіцієнт використання потужності приводу; тривалість включення (для машин циклічної дії).

3. Рівень кваліфікації персоналу. Безліч термінів для цієї змінної складається з наступних значень: «низький», «середній», «високий». Рівень описує досвід, знання і компетенції персоналу, який буде працювати на об'єкті. Більш високий рівень персоналу збільшує рівень оптимізму. Оцінка рівня кваліфікації персоналу будується в діапазоні [0,01; 1], де 0,01 – вкрай некваліфікований персонал, а 1 – висококваліфікований. Для оцінки рівня кваліфікації приймемо єдиний набір ознак, що відносяться до всіх категорій працівників, що включає рівень фахової освіти і стаж роботи за фахом. За рівнем освіти всіх працівників згідно постанови КМУ від 20 січня 1998 року “Про освітньо-кваліфікаційні рівні”, можна розділити на: <0,5 – низький (кваліфікований робітник); 0,5–0,8 – середній (молодший спеціаліст, бакалавр) >0,8 – високий (спеціаліст, магістр) Коефіцієнт стажу роботи можна розрахувати шляхом ділення максимального значення коефіцієнта, припустимо 1 на кількість періодів – за середнім терміном трудової активності населення в Україні 5 (при градації років – 5 років). Отже, коефіцієнт буде дорівнювати:

1. Коефіцієнт стажу роботи.

Загальний трудовий стаж (в роках)	Величина коефіцієнта
25 і більше	1
20	0,80
15	0,60
10	0,40
5 і менше	0,20

4. Рівень новизни технології. Безліч лінгвістичних термінів містить значення «застаріла», «сучасна», «інноваційна», розподілених в діапазоні $[0,01; 1]$, де 1 – найбільш інноваційна технологія. Оцінка цього параметра здійснюється виключно на основі думок експертів.

5. Прийнята технологія роботи. Існує технологія, яка забезпечує певний «ідеальний варіант» з точки зору результатів виконання робіт. Така технологія спирається на певний комплекс машин і механізмів, керованих персоналом високої кваліфікації. Однак при проведенні робіт далеко не завжди є можливість забезпечити такі умови. В силу цього технологія робіт повинна бути пристосована до наявних в реальності обставин. Очевидно, що в такому випадку максимально можливий результат не буде досягнутий. І все ж результат повинен бути таким, щоб відповідав мінімальним вимогам. Чим більше відхилення від «ідеального» варіанту, тим, очевидно, буде нижче рівень оптимізму експерта. Цей критерій пропонується оцінювати в діапазоні $[0,01; 1]$, де значення 0,01 відповідає мінімально допустимому результату, а 1 – ідеальному варіанту.

6. Прийнятий метод ремонту. Безліч термінів містить значення «оптимальний», «допустимий», «неефективний». Числове значення знаходиться в діапазоні $[0,01; 1]$. «Оптимальний» – передбачає відновлення ресурсу об'єкта до 90-100% від початкового значення, закладеного на стадії проектування і виготовлення. «Допустимий» – передбачає відновлення ресурсу об'єкта до 50-90% від початкового значення, закладеного на стадії проектування і виготовлення. «Неефективний» – передбачає відновлення ресурсу об'єкта на величину менше 50% від початкового значення.

7. Відстань від ремонтних баз. Безліч лінгвістичних термінів містить значення «далеко», «середньо», «близько». При цьому числові значення виражаються кілометрами.

8. Темп технічного прогресу. Відображає темп технічного прогресу в даній галузі. Характеризується термінами «стабільний стан», «низький», «середній», «високий». Числові значення знаходяться в діапазоні $[0; 1]$, де 0 – стабільний стан (відсутність нових розробок), а 1 – максимально можливий темп прогресу.

9. Тенденція. Цей фактор відображає основні тенденції в економіці країни і світу, що визначають майбутні курси валюти та рівень інфляції національної грошової одиниці. Безліч лінгвістичних термінів містить значення «негативна», «стабільна», «позитивна», розподілених в діапазоні $[0,01; 1]$, де 1 – найбільш позитивна тенденція. Чим позитивніша тенденція, тим, очевидно, вище рівень оптимізму (привабливості). Тенденція визначається експертом на основі статистичних даних.

Етап 2 (Значимість). Для кожного показника X_i зіставляється рівень його значущості для аналізу r_i . Щоб оцінити цей рівень,

потрібно розташувати всі показники по порядку убутання значимості так, щоб виконувалася нерівність:

$$r_1 \geq r_2 \geq \dots r_N. \quad (1)$$

Ранжування відбувається за допомогою правила Фішберна [4]:

$$r_i = \frac{2(N-i+1)}{(N-1)N}. \quad (2)$$

Етап 3 (Класифікація значень показників). Функція приналежності значення відхилення фактора-наслідку задається нечіткою множиною:

$$\mu_{[0;1]}(X_s^r) = \{X_{s_1}^r / V_1, X_{s_2}^r / V_2, \dots, X_{s_n}^r / V_n\}. \quad (3)$$

де: $X_{s_1}^r, \dots, X_{s_n}^r$ – значення фактора після збільшення; $V_1, \dots, V_n$ – суб'єктивні оцінки можливості відповідних збільшень фактора-наслідку при заданому прирості фактора-причини.

Далі проводиться класифікація поточних значень показників X , як критеріїв розбиття повної множини її значень на підмножини виду B .

Етап 4 (Класифікація рівня показників). Робиться оцінка поточного рівня показників та проводиться класифікація їх значень, де $\lambda_{ij} = 1$, якщо $b_{i(j-1)} < x_i < b_{ij}$, і $\lambda_{ij} = 0$ у протилежному випадку (коли значення не потрапляє в обраний діапазон класифікації), а отримані результати зводяться в таблицю.

3. Класифікації рівня показників.

Найменування показника	Результат класифікації на підмножини		
	B_{i1}	B_{i2}	B_{i3}
X_1	λ_{11}	λ_{12}	λ_{13}
...	...	...	...
X_N	λ_{N1}	λ_{N2}	λ_{N3}
$B_{\alpha\alpha} (g)$	0,1	0,3	0,5

Джерело: складено автором на основі нечітко-множинного підходу.

Етап 5 (Оцінка ступеня ефективності проекту). Виконавши формальні арифметичні дії по оцінці рівня ефективності (оптимізму) інвестиційного проекту g :

$$g = \sum_{j=1}^5 g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij}. \quad (4)$$

Класифікуються отримані значення ступеня їх рівнів на базі даних таблиці.

4. Класифікація поточного значення g показника рівня ефективності інвестиційного проекту G .

Інтервал значень G	Найменування підмножини
$0,7 < g < 1$	G_3 - високий рівень
$0,3 < g < 0,7$	G_2 - середній рівень
$0 < g < 0,3$	G_1 - низький

Джерело: складено автором на основі нечітко-множинного підходу.

Тим самим висновок про рівень інвестиційної привабливості проекту технічного переоснащення підприємства набуває лінгвістичної форми «високий рівень привабливості», «середній рівень привабливості» або «низький рівень привабливості».

Правила виведення для моделі оцінки привабливості (оптимізму) інвестиційного проекту описуються експертами виходячи з їх особистого досвіду та наданих переваг. При цьому, як і в випадку з описом множин, для різних проектів технічного переоснащення правила можуть відрізнятися, іноді істотно. Це обумовлюється тим фактом, що для різних проектів важливість тих чи інших факторів може бути теж різною.

Висновки

Аналіз економічних ризиків, що виникають при організації та реалізації проектів технічного переоснащення автотранспортних підприємств засвідчує, що найбільша точність і достовірність досягається за використання комбінованих методів оцінки ризику, які враховують максимальну кількість значущих чинників, а також їх вплив на кінцевий результат і взаємозв'язок один з одним.

Вище зазначене зумовлює інтерес до застосування нечітких множин в оцінці інвестиційної привабливості проекту переоснащення автотранспортного підприємства. Запропонований метод по-перше в силу його адаптивності та гнучкості дозволяє максимально об'єктивно урахувати всі реалії економіки країни, а по-друге, є простим у застосуванні та ефективним у використанні, про що красномовно свідчить світова практика. Крім того, метод є зрозумілим та варіативним, тобто інтегровану оцінку інвестиційного проекту технічного переоснащення підприємства можна легко перевести у лінгвістичний вигляд з максимальною прискіпливістю або навпаки лояльністю до оцінки конкретного явища або наслідків тієї чи іншої події.

Список літератури

1. Недосекин А. О. Нечетко-множественный подход к актуарному моделированию. Режим доступа : <http://pensionreform.ru>.
2. Blavatsky P. R. Probabilistic Risk Aversion with an Arbitrary Outcome Set. *Economics Letters*. 2011. № 1. P. 34–37.
3. Brotons J., Terceno A. Return Risk Map in a Fuzzy Environment. *Fuzzy Economic Review*. 2011. № 2. P. 33–57.
4. Fishburn P. Utility Theory. *Management Science*. 1968. Vol. 14. No 5. P. 335–378.
5. Gulick G., Norde H. W. Fuzzy cores and fuzzy balancedness In: *Mathematical Methods of Operations Research*. Tilburg University, Netherlands. 2013. № 77, (2). P. 131–146.
6. Horgby P. An Introduction to Fuzzy Inference in Economics. *Homo Oeconomicus*. 1999. № 15. P. 543–559.
7. Huang Tao, Ruiqing Zhao, Wansheng Tang. Risk Model with Fuzzy Random Individual Claim Amount. *European Journal of Operational Research*. 2009. № 3. P. 879–890.

8. Zadeh L. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. Fuzzy sets and systems. 1997. Vol. 90. No 2. P. 111–127.

References

1. Nedosekin, A.O. (2018). Fuzzy-plural approach to actuarial modeling [Online]. Vol. . 8, available at: <http://pensionreform.ru>.
2. Blavatsky, P. R. (2011). Probabilistic Risk Aversion with an Arbitrary Outcome Set. Economics Letters. 112. № 1. 34–37.
3. Brotons, Jose M., Antonio Terceno. (2011). Return Risk Map in a Fuzzy Environment. Fuzzy Economic Review. 16. № 2. 33–57.
4. Fishburn, P. (1968). Utility Theory Management Science. Theory Series. Vol. 14. № 5. 335–378.
5. Gulick, G., Norde, H. W. (2013). Fuzzy cores and fuzzy balancedness In: Mathematical Methods of Operations Research. PhD thesis, Tilburg University, Netherlands. № 77. 2. 131–146.
6. Horgby, Per-Johan. (1999). An Introduction to Fuzzy Inference in Economics. Homo Oeconomicus. 15. 543–559.
7. Huang, Tao, Ruiqing Zhao, Wansheng Tang. (2009). Risk Model with Fuzzy Random Individual Claim Amount. European Journal of Operational Research. 192. № 3. 879–890.
8. Zadeh, L. (1997). Toward theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. Fuzzy sets and systems. Vol. 90, № 2. 111–127.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЕКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕОСНАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ О. Н. Загурский

Аннотация. Роль инвестиций в техническом переоснащении автотранспортных предприятий на современном этапе развития экономики Украины является достаточно важной. Реализация процесса инвестирования возможна только при наличии предварительных данных о деятельности того или иного предприятия и возможных рисках, возникающих при его проведении. Наибольшая точность и достоверность инвестиционного анализа достигается при использовании комбинированных методов оценки риска, учитывающих максимальное количество значимых факторов, а также их влияние на конечный результат и взаимосвязь друг с другом. Поэтому оценка инвестиционной привлекательности потенциального объекта инвестирования это первый шаг при принятии инвестиционного решения.

В статье рассмотрено общие методические подходы к анализу инвестиционной привлекательности и предложена модель оценки проекта по техническому переоснащению предприятий автотранспортной отрасли с применением теории нечетких множеств. Предложенный метод в силу его

адаптивности и гибкости позволяет максимально объективно учесть все реалии экономики страны, является простым в применении и эффективным в использовании. Он позволяет однозначно интерпретировать результаты математической и аналитической обработки определенной группы целевых показателей.

Ключевые слова: *инвестиционная привлекательность, инвестиции, нечеткая логика, риск, техническое переоснащение*

METHODS OF EVALUATION OF PROJECT OF TECHNICAL UPGRADING ON BASIS OF THEORY OF INFANT MULTIPLESS

O. M. Zagurskiy

Abstract. *The role of investment in technical re-equipment of motor transport enterprises at the current stage of development of Ukraine's economy is very important. The implementation of the investment process is possible only with the prior activity data of a business entity and the possible risks that may arise in the process of its implementation. The greatest precision and accuracy of the investment analysis is achieved by using the combined methods of risk assessment that take into account the maximum number of significant factors as well as their influence on the end result and the relationship with each other. Therefore, evaluation of investment attractiveness of a potential investment object is the first step in making an investment decisions.*

The article deals with the General methodological approaches to the analysis of investment attractiveness and proposes the model of evaluation of the project on technical re-equipment of enterprises of the automotive industry using the theory of fuzzy sets. The proposed method due to its adaptability and flexibility allows to objectively take into account all the realities of the economy, it is easy to apply and effective in its usage and allows to unambiguously to interpret the results of mathematical and analytical treatment of a certain group of targets.

Key words: *investment attractiveness, investment project, fuzzy logic, risk, technical re-equipment*

**ОБГРУНТУВАННЯ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ПОСТА КЕРУВАННЯ
ЗБИРАЛЬНОГО АГРЕГАТУ НА БАЗІ МОБІЛЬНОГО
ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ**

Г. В. Шкарівський, кандидат технічних наук

ORCID 0000-0003-2311-5372

Р. Г. Шкарівський

ORCID 0000-0002-3516-9864

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: kafedra-avto@ukr.net**

Анотація. Експлуатація мобільних енергетичних засобів і агрегатів на їх базі вимагає значних психологічних та фізичних навантажень на оператора і впливає на рівень втомлюваності останнього та на показники ефективності виконання технологічних операцій. Використання мобільних енергетичних засобів на реверсі у складі збирального агрегату з націпним технологічним модулем передбачає наявність зони посиленого візуального контролю, яка окреслюється горизонтальною площиною, що проходить через точку відліку (очі оператора) та площиною розташування променя, який виходить з точки відліку і проходить через точку перетину променя зору з опорною поверхнею, і розміри якої можуть обмежуватись обрисами агрегату, що потрапляють в цю зону. Дослідження, проведені з визначення розмірів таких зон і їх представлення у вигляді коефіцієнта оглядовості дозволили встановити, що вітчизняні енергозасоби конструктивно-компонувальної схеми близької до інтегральної мають значення оціночного показника на рівні 0,38...0,40, вітчизняні енергозасоби класичного компоновання – на рівні 0,56...0,66, а кращі закордонні машини класичного компоновання мають аналогічний показник на рівні 0,80...0,94, в той час як аналогічні показники для самохідних збиральних машин знаходяться в межах 0,86...0,89. Подальші дослідження, проведені з використанням макетного зразка переставного поста керування дозволили встановити, що оглядовість робочих органів збиральних машин, за умови роботи енергозасобу на реверсі, істотно залежать від розташування точки відліку, що обумовлює обладнання енергозасобу штатним реверсивним постом керування, розміщеним у зоні між заднім мостом і збиральною

© Г. В. Шкарівський, Р. Г. Шкарівський, 2018

машиною, або ж переставним реверсивним постом керування з можливістю його установки в зоні між заднім мостом і збиральною машиною.

Ключові слова: *мобільний енергетичний засіб, збиральний машинно-тракторний агрегат, робочий орган, пост керування, оглядовість, оцінка*

Постановка проблеми. Виробництво продукції рослинництва в сучасних умовах базується на використанні широкого спектру засобів механізації технологічних процесів, основою яких є машинно-тракторні агрегати (МТА) різного призначення і конструкції. Сьогодні на полях працюють як найпростіші одно операційні та більш складні комбіновані багатоопераційні агрегати створені на базі мобільних енергетичних засобів (МЕЗ), так і складні самохідні спеціалізовані комплекси. Останнє є вагомим чинником у формуванні собівартості кінцевої продукції, яка істотно залежить від рівня зайнятості МЕЗ у технологічних процесах та ефективності їх використання. З цих причин сьогодні існує тенденція розширення сфери використання МЕЗ за рахунок витіснення самохідних спеціалізованих машин агрегатами на їх базі, що веде до створення нових енергозасобів різних конструкцій і конструктивно-компонувальних схем [1]. Подібні підходи не завжди мали позитивний вплив на собівартість кінцевої продукції сільського господарства з причин незадовільних умов агрегування енергозасобів зі збиральними машинами через незадовільну оглядовість робочих органів останніх. За таких умов, і у відповідності до положень державної цільової програми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі, має місце гостра необхідність оцінки оглядовості робочих органів збирального агрегату на базі МЕЗ ще на стадії проектування енергозасобу і яка дасть змогу сконцентрувати кошти на оптимальних технічних рішеннях.

Аналіз останніх досліджень. Мобільний енергетичний засіб – багатофункціональна машина, в процесі використання якої діяльність людини здійснюється за двома напрямками, а саме: забезпечення експлуатації власне енергетичного засобу; забезпечення виконання технологічної операції, або технологічного процесу. Відповідно до цього в роботі [2] розрізняється технічна і технологічна експлуатація МЕЗ. Піднята в даній роботі проблема відноситься до технологічної експлуатації МЕЗ, яка на сучасному етапі ще не достатньо вивчена, що обумовлює необхідність використання нових підходів у дослідженні енергозасобів і агрегатів на їх базі, включаючи і оглядовість робочих органів.

Сьогодні відомі роботи, які констатують вимоги до зон оглядовості енергозасобів, виходячи з фізіологічних особливостей

людини та з урахуванням втомлюваності оператора [3]. Однак тут відсутні методики проведення оцінювання показників оглядовості в реальних умовах експлуатації машин.

В роботі [4] приведена методика оцінювання оглядовості на стадії проектування сільськогосподарських тракторів і машин. Однак, запропонована методика достатньо затратна.

У роботі [5] запропоновано проводити оцінювання оглядовості робочих органів збиральних машин з допомогою коефіцієнта оглядовості, який має вигляд:

$$K = 1 - \frac{S_{\text{НЗ}}}{S_{\text{Б}}}, \quad (1)$$

де: K – коефіцієнт оглядовості; $S_{\text{Б}}$ – площа бажаної зони огляду оператора обмежена горизонтальною площиною, яка проходить через точку відліку (очі оператора) і похилою площиною, в якій розміщується промінь нижньої межі оптимальної зони оглядовості [3], мм²; $S_{\text{НЗ}}$ – площа невидимої зони оператора (обриси (тіні) вузлів і агрегатів енергозасобу), яка є складовою бажаної зони $S_{\text{Б}}$, мм².

Використання запропонованої залежності не дає можливості оцінити оглядовість робочих органів збиральної машини, які потребують візуального контролю, а лише констатують розмір вільної для оглядовості зони, де гіпотетично можуть розташовуватись такі робочі органи без урахування умов агрегування.

Таким чином, з приведених робіт важко встановити де повинні розташовуватися як очі оператора, так і пост керування енергозасобу для того, щоб забезпечити задовільну оглядовість робочих органів збиральних машин, або якими параметрами повинні володіти складові агрегату з метою забезпечення задовільної оглядовості робочих органів, які потребують візуального контролю.

Мета досліджень. Визначити місце розташування поста керування МЕЗ (очей оператора) для забезпечення задовільної оглядовості робочих органів збиральних машин.

Результати досліджень. Експлуатація мобільних енергетичних засобів і агрегатів на їх базі вимагає значних психологічних та фізичних навантажень на оператора, що впливає на рівень втомлюваності останнього, а, звідси, і на показники ефективності виконання технологічних операцій через зниження продуктивності праці та створення аварійних ситуацій за умов значного втомлення.

Особливо це характерно для збиральних агрегатів, які створені на базі МЕЗ через проблеми з агрегуванням останніх (рис. 1).

Вивчення і оптимізація умов роботи оператора лежить в площині питань, якими займається наука ергономіка. Стосовно проблем, висунутих в даній роботі, це питання оглядовості робочих зон оператора. В роботі [3] вказано, що мінімального втомлення під

час візуального контролю за роботою об'єктів спостереження оператор буде зазнавати за умови, якщо зона оглядовості буде окреслена горизонтальною площиною, яка проходить через точку відліку (очі оператора) і площиною, яка також проходить через точку відліку і опущена вниз від горизонтальної площини на 30° . Промінь, який виходить з точки відліку перетинає опорну поверхню в точці А, яку будемо називати точкою візування. Точка А найближче розташована до агрегату і її задовільно спостерігає оператор з допустимим фізіологічним навантаженням.



Рис. 1. Збиральний агрегат на базі трактора інтегральної конструктивно-компонувальної схеми з реверсивним постом керування типу ХТЗ-16131.

Стосовно МЕЗ, який працює в складі збирального агрегату, зона оглядовості робочих органів машини буде визначатись з наступних міркувань (рис. 2). Використання МЕЗ у складі збирального агрегату з начіпним технологічним модулем передбачається на реверсі. В такому випадку зона розташування робочих органів технологічного модуля, які потребують візуального контролю окреслюється горизонталлю, яка проходить через точку відліку K і променем, який виходить з точки відліку K і проходить через точку візування A (точку перетину променя зору з опорною поверхнею). Згаданий вище промінь KA може проходити також через точки, або лінії, які характеризують обриси енергозасобу.

Для схеми зображеної на рис. 2 характерні наступні співвідношення:

$$\frac{H}{l_a} = \tan \beta, \quad (2)$$

звідки

$$l_a = \frac{H}{\tan \beta}, \quad (3)$$

де H – висота розташування точки відліку K (очей оператора), м;
 l_a – виліт точки візування, м; β – кут нахилу променя зору, який показує нижню межу зони оглядовості оператора, град.

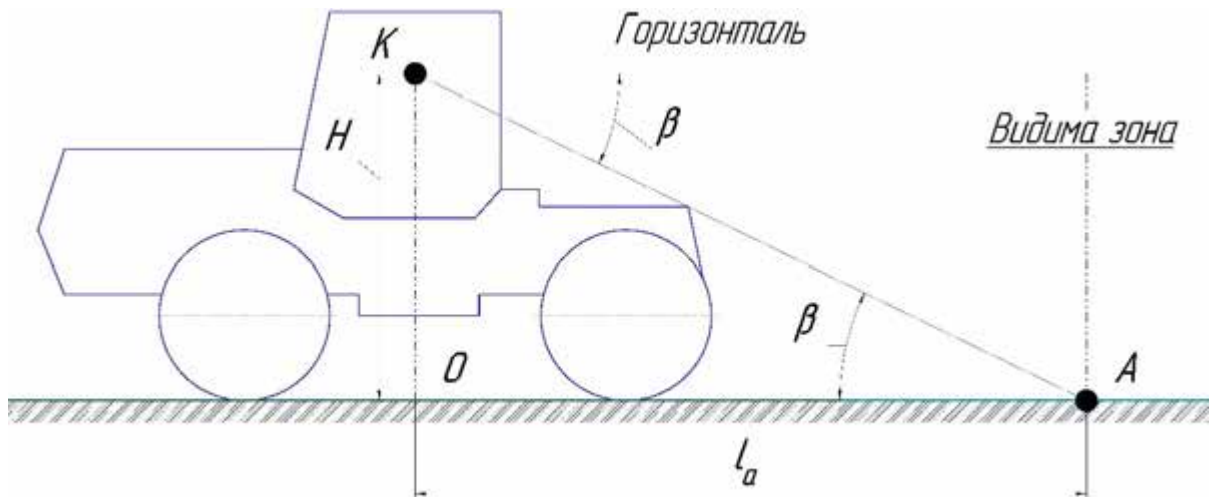


Рис. 2. Розрахункова схема для визначення вильоту точки візування під час використання енергозасобу на реверсі



Рис. 3. Оглядовість робочих органів жатки кормозбирального комбайна на базі ХТЗ-16131.

Аналіз залежностей (2) і (3) вказує на те, що кут β нахилу променя KA , який характеризує нижню межу зони оглядовості оператора і виліт точки візування l_a прямо пропорційні висоті H

розташування точки відліку K . Зважаючи на те, що кут нахилу нижньої межі зони оглядовості β , для забезпечення мінімальної втомлюваності оператора не повинен перевищувати 30° [3], можна стверджувати, що забезпечити задовільну оглядовість робочих органів з дотриманням вимог ергономіки досить складно. Це пояснюється тим, що висота розташування точки відліку сучасних МЕЗ істотно перевищує 2 метри, в той час, як кожен метр висоти забезпечує мінімальний розмір вильоту точки візування на рівні 1,73 м (розрахунок проведено для кута $\beta=30^\circ$), що, в кінцевому випадку, для реального агрегату забезпечить виліт точки візування не менше 3,5 м. Така відстань істотно перевищує аналогічні показники для спеціалізованих самохідних машин, тим самим істотно погіршуючи, а іноді і унеможлиблюючи оглядовість робочих органів, в чому і полягає одна із проблем в агрегуванні МЕЗ з начіпними збиральними машинами (рис. 3).

Крім того, з аналізу рис. 1 і рис. 3 можна прогнозувати, що для кормозбирального агрегату на базі трактора ХТЗ-16131 кут β буде набувати значень менших за 30° , що істотно збільшує виліт точки візування і погіршує оглядовість робочих органів комбайна. Також слід враховувати, що для енергозасобів різних конструкцій і конструктивно-компонувальних схем характеристики оглядовості будуть різними, що показують дані експериментальних досліджень коефіцієнта оглядовості з поста керування енергозасобів різних марок і компоновок, проведені за залежністю (1) і викладені в табл. 1 [5]. Дослідження проведені з урахуванням характерних ліній і точок відповідно до схеми представленої на рис. 2, а об'єктами експериментальних досліджень були енергозасоби фірм «Fendt», «Massey Ferguson» (MF), «Valtra Valmet», МТЗ, ПМЗ, а також зернозбиральний комбайн «MF-7246» та бурякозбиральний самохідний комплекс «Holmer Terra Dos T3». З метою порівняння отриманих результатів досліджень з бажаними для забезпечення ефективного виконання технологічної операції в якості контрольних визначались показники оглядовості самохідних спеціалізованих машин. Так показники оглядовості, отримані для спеціалізованих збиральних машин досягнуті на рівні 0,86 та 0,89 для зернозбирального комбайна Massey Ferguson та бурякозбирального комбайна Holmer Terra Dos T3 відповідно. Такі високі показники для самохідних спеціалізованих машин обумовлені кутом нахилу нижньої межі зони оглядовості оператора β , значення якого істотно вищі, ніж ті що передбачені у роботі [3] на рівні 30° для забезпечення мінімального втомлення оператора. Це пояснюється специфікою роботи збиральних машин, де велика увага приділяється саме візуальному контролю за роботою вузлів і агрегатів машини. В такому

випадку і оцінку оглядовості з поста керування МЕЗ доцільно вести дотримуючись тих же правил, не обмежуючись кутом $\beta = 30^\circ$. Останнє веде до передчасного втомлення оператора через порушення вимог ергономіки і може бути компенсовано шляхом скорочення часу зміни, або використання ще одного оператора, що дуже часто застосовується на практиці.

1. Експериментальні значення коефіцієнта оглядовості енергозасобів і самохідних машин.

Марка енергозасобу, самохідної машини	Значення коефіцієнта оглядовості K	
	штатний рух вперед	реверсний рух
1. MF-7246 (зернозбиральний комбайн)	0,86	-
2. Holmer Terra Dos T3 (бурякозбиральний комбайн)	0,89	-
3. ХТЗ-17221	0,39	0,40
4. ХТЗ-17022	0,45	0,38
5. МТЗ-1522В	0,40	0,66
6. MF	0,48	0,80
7. Fendt-926 Vario	0,49	0,94
8. Valtra Valmet-8750	0,49	0,61
9. ПМЗ-8285	0,60	0,56

Таким чином, результати, приведені в табл. 1 показують, що вітчизняні енергозасоби конструктивно-компонувальної схеми близької до інтегральної (за розташуванням поста керування, розміром коліс тощо) найменш придатні до використання на реверсі у складі збиральних агрегатів (значення $K=0,38$ та $0,40$ для ХТЗ-17022 та ХТЗ-17221 відповідно) порівняно з енергозасобами класичної конструктивно-компонувальної схеми закордонного виробництва (значення $K=0,80$ та $0,94$ для машин класичної конструктивно-компонувальної схеми виробництва Massey Ferguson (MF) та Fendt відповідно). Енергозасоби виробництва ПМЗ та МТЗ, за умови роботи на реверсі, характеризуються значеннями коефіцієнта оглядовості, на рівні $0,56$ та $0,66$ відповідно, що істотно нижче аналогічних показників для машин закордонного виробництва такої ж компонентувальної схеми.

Крім того, незадовільна оглядовість робочих органів також підсилюється і конструктивними елементами самої збиральної машини (задня вертикальна стінка жатки, мотовило тощо) – рис. 3, що потребує окремого дослідження. У зв'язку з викладеним, нами проведені теоретичні і експериментальні дослідження, які дозволили отримати залежності для оцінювання показників, що впливають на оглядовість робочих органів збирального агрегату на базі МЕЗ.

Умова задовільного огляду точки візування А (рис. 4), за наявності задньої стінки жатки збиральної машини агрегатованої на задньому начіпному пристрої трактора типу ХТЗ-16131, для роботи збирального агрегату на реверсі, буде визначатися з наступних міркувань.

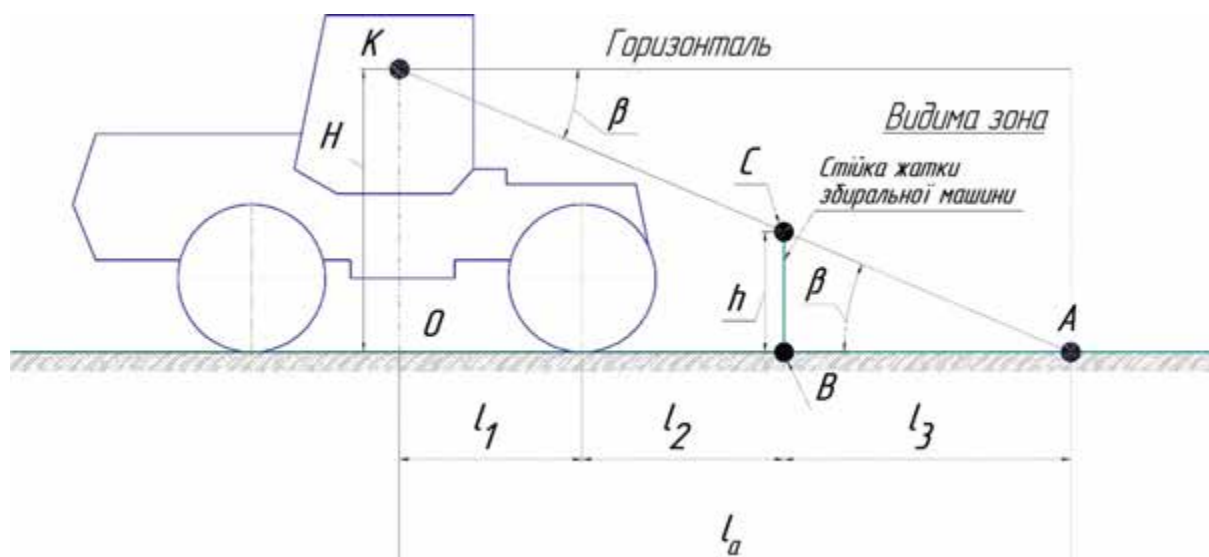


Рис. 4. Розрахункова схема для дослідження висоти і розташування вертикальної стінки жатки на оглядовість робочих органів.

Точка А буде видимою за умови, коли проекція вертикальної стінки жатки у поздовжньо-вертикальній площині буде перетинати промінь зору, який відтворює нижню межу зони оглядовості. Названий промінь нахилений до горизонту під кутом β , який, для забезпечення мінімального втомлення оператора, може складати 30° . З метою досягнення мінімального втомлення оператора проекція вертикальної стінки жатки повинна розташовуватись на деякій відстані l_2 від осі заднього моста енергозасобу (див. рис. 4) таким чином, щоб точка С не перевищувала променя КА.

Для визначення необхідної висоти задньої стінки жатки збиральної машини скористаємося подібністю трикутників АКО та АСВ. За таких умов можемо записати:

$$\frac{[KO]}{[OA]} = \frac{[CB]}{[BA]}, \quad (3)$$

звідки

$$[CB] = \frac{[KO] \times [BA]}{[OA]}. \quad (4)$$

Після заміни позначень сторін у залежності (4) характерними відстанями отримаємо:

$$h = \frac{H \times l_3}{l_a}, \quad (5)$$

або

$$h = \frac{H \times l_3}{l_1 + l_2 + l_3}, \quad (6)$$

де h – висота задньої стінки жатки збиральної машини, м; H – висота розміщення точки відліку K (очей оператора) над опорною поверхнею, м; l_a – виліт точки візування (відстань від вертикальної проекції точки відліку K на горизонтальну площину до точки візування); l_1 – відстань від вертикальної проекції точки відліку K (точки розташування очей оператора) на горизонтальну площину до вертикальної проекції осі заднього моста на ту ж площину; l_2 – відстань від проекції осі заднього моста на горизонтальну площину до вертикальної проекції задньої стінки жатки на ту ж площину; l_3 – відстань від вертикальної проекції задньої стінки жатки на горизонтальну площину до точки візування A .

Відрізок l_3 визначає розмір невидимої зони жатки (або інших елементів збиральної машини, які потребують візуального контролю) і для оцінювання показників оглядовості з поста керування енергозасобу він має істотне значення. Зменшення розміру невидимої зони жатки, тобто зменшення розміру відстані l_3 вказує на покращення показників оглядовості і навпаки, збільшення відстані l_3 – погіршення показників оглядовості. В такому випадку доцільно вирішити залежність (6) відносно l_3 і встановити фактори, які на неї впливають.

Після групування подібних членів залежності (6) отримаємо:

$$h \cdot (l_1 + l_2) = l_3 \cdot (H - h),$$

звідки

$$l_3 = h \left(\frac{l_1 + l_2}{H - h} \right). \quad (7)$$

Використовуючи рис. 4 можемо записати:

$$\frac{l_1 + l_2}{H - h} = \cot \beta = \frac{1}{\tan \beta}. \quad (8)$$

Після підстановки отриманої залежності (8) у залежність (7) отримаємо:

$$l_3 = \frac{h}{\tan \beta}. \quad (9)$$

Враховуючи викладене вище, можемо стверджувати, що найкращих показників оглядовості можна досягти за умови повної відсутності невидимої зони жатки, тобто якщо $l_3 = 0$. Досягти цього можна за умови рівності нулю чисельника виразу (9), тобто повністю прибрати (зробити прозорою) задню стінку жатки, що мало вірогідно, на даному етапі, для конструкцій реальних збиральних машин. В такому випадку досягти бажаних показників оглядовості, які обумовлюються значенням $l_3 = 0$ можливо шляхом максимального збільшення знаменника виразу (9), тобто коли $\tan \beta = \infty$, що реалізується за умови $\beta = 90^\circ$ і досягається розташуванням точки відліку K безпосередньо над задньою стінкою жатки.

Таким чином, отримане теоретичним шляхом бажане, для забезпечення задовільної оглядовості робочих органів збиральних машин, значення кута β відрізняються від допустимого, згідно вимог ергономіки і рівного 30° . Однак, як показує практика конструювання самохідних збиральних машин пост керування останніх розташовують саме безпосередньо в зоні задньої стінки жатки, або інших робочих органів, які потребують посиленого візуального контролю. Останнє істотно впливає на конструктивно-компонувальну схему самохідної збиральної машини. За таких умов, доцільно провести експериментальні дослідження з визначення місця можливого розташування поста керування енергозасобу за умови його використання на реверсі у складі збирального агрегату.

Об'єктом досліджень був трактор Т-150К, обладнаний макетним зразком переставного поста керування. Змін ними чинниками були: «висота H розміщення точки відліку K (очей оператора)»; «винос точки відліку від осі заднього моста m ($m = l_1$ – див. рис. 4)» та «поздовжня координата розміщення робочої машини відносно осі заднього моста X ($X = l_2 + l_3$ – див. рис. 4)». Значення основних рівнів чинників і інтервалів їх варіювання були прийняті таким: $H = (2,80 \pm 0,40)$ м; $m = (0 \pm 0,70)$ м; $X = (1,50 \pm 0,50)$ м. Якщо пост керування, а тому й очі оператора розміщуються між робочою машиною і заднім мостом, то значення m беруть зі знаком «+», якщо ж у міжбазовому просторі – то зі знаком «-».

В якості робочої машини використовувався імітатор жатки з висотою задньої стінки 1 м. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що оглядовість робочих органів збиральних машин істотно залежить від досліджуваних чинників. Відстань l_3 від задньої стінки жатки до точки перетину нижньої межі реальної зони оглядовості з опорною поверхнею (точки візування A – див. рис. 4) яка характеризує розмір невидимої зони жатки (технологічна характеристика оглядовості) з імовірністю довіри 99% описується залежністю:

$$l_3 = 1,69 - 0,56 \cdot H - 0,27 \cdot m + 0,46 \cdot X, \quad (10)$$

де: H – висота розміщення точки відліку K (очей оператора), м; m – винос точки відліку від осі заднього моста, м; X – поздовжня координата розміщення робочої машини відносно осі заднього моста, м.

Отримана залежність дозволяє встановити кількісні характеристики оглядовості, яка краща за умови: наближення жатки в горизонтальній площині до заднього моста; розміщення поста керування в зоні між заднім мостом і збиральною машиною (жаткою збиральної машини); вищого розміщення поста керування. Якщо ж жатка віддаляється від осі заднього моста, пост керування

знаходиться в міжбазовому просторі і низько, то показники оглядовості погіршуються. Експериментальна залежність кута β нахилу до горизонту нижньої межі реальної зони оглядовості (ергономічна характеристика) від досліджуваних чинників H , m та X з імовірністю довіри 95 % має вигляд:

$$\beta = 32,5 + 14,2 \cdot H + 17,6 \cdot m - 14,8 \cdot X. \quad (11)$$

Залежність (11) показує, що значення кута β прямо пропорційні висоті розміщення точки відліку і виносу її відносно осі заднього моста, а обернено пропорційні – поздовжній координаті розміщення робочої машини.

Отримані залежності (10) і (11) дозволяють визначити оптимальне розміщення поста керування, або ж розміщення збиральної машини при агрегуванні з енергозасобом з точки зору забезпечення заданих показників оглядовості і ергономіки, а також попередньо оцінити перспективність такого агрегування, знаючи конкретні характеристик МЕЗ і робочої машини.

Обґрунтовуючи оптимальне розміщення поста керування, слід враховувати і вимоги інших, не менш важливих технологічних операцій, зокрема таких, як: міжрядний обробіток, оранка та інших, якість виконання яких також істотно залежить від чинників, що вивчаються при дослідженнях оглядовості.

Враховуючи результати досліджень, викладені в праці [6], можна стверджувати, що точність руху агрегату обернено пропорційна вильоту точки візування відносно осі переднього моста. Для трактора типу Т-150К з штатним розміщенням поста керування виліт точки візування, за умов дотримання вимог ергономіки, складає близько 10 м. На практиці ж його значення для орних і просапних агрегатів на базі трактора такого типу знаходиться в межах 3,5...4,0 м. Це відповідає нахилу нормальної лінії погляду близько 35° , що перевищує нормативне значення на 20° [3]. При розміщенні ж поста керування над вісю заднього моста ($m = 0$) згаданий кут зменшиться до 22° , тобто перевищення буде лише на 7° , що значно покращить показник ергономіки. Точність руху агрегату при цьому також підвищиться, оскільки виліт точки візування не перевищуватиме 2,5 м. Актуальність результатів проведених досліджень повністю підтверджується і під час розробки та вдосконалення енергозасобів провідних закордонних фірм. Так, зокрема, відомий виробник МЕЗ фірма Fendt розробила і випускає енергозасіб типу Fendt Xylon симетричної компоновки, який має досить високі заявлені показники оглядовості вперед і назад (в технічній літературі його іноді позиціонують як енергозасіб «вільного огляду») за рахунок розташування поста керування в міжбазовому просторі та збільшення площі застеклення кабіни рис. 5,а. Однак відомі і експериментальні зразки таких машин з зміщеним розташуванням поста керування (рис.

5,б), що може бути пояснено лише пошуками шляхів покращення показників оглядовості.



Рис. 5. Технічні рішення фірми Fendt для покращення показників оглядовості.

Висновок. В результаті проведених досліджень встановлено, що для забезпечення необхідної оглядовості робочих органів, агрегованих машин і інших важливих візирів, при мінімальних порушеннях вимог ергономіки, енергозасоби, конструкція яких передбачає використання у складі збиральних агрегатів на реверсі доцільно обладнувати штатним реверсивним постом керування, розміщеним у зоні між заднім мостом і збиральною машиною, або ж переставним реверсивним постом керування з можливістю його установки в зоні між заднім мостом і збиральною машиною, розроблення якого може скласти напрями подальших наукових досліджень з даного питання.

Список літератури

1. *Погорілий Л. В.* Сучасні проблеми землеробської механіки і машинознавства при створенні сільськогосподарської техніки нового покоління. Техніка АПК. 2004. №1-2. С. 6–7.
2. *Кутьков Г. М.* О технологических свойствах мобильных энергетических средств. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2006. Вип. 40. С. 140–148.
3. *Аруин А. С., Зацюрский В. М.* Эргономическая биомеханика. Москва. Машиностроение. 1988. 256 с.
4. *Шотилов А. В., Кашуба С. А.* Методика оценки параметров обзорности с.-х. тракторов и машин на стадии их проектирования. Тракторная энергетика в растениеводстве. Харьков. 1999. С. 159–162.
5. *Шкарівський Г. В.* До визначення розміщення поста керування енергозасобу орно-збирального типу. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. 2002. Вип. 86. С. 260–263.
6. *Шкарівський Г. В., Пожидаєв С. П.* Порівняльні дослідження точності руху просапних агрегатів з різними конструктивно-компонувальними схемами і параметрами. Механізація та електрифікація сільського господарства. Київ. 1993. Вип. 77. С. 91–96.

References

1. Pogorely, L. V. (2004). Modern problems of agricultural mechanics and engineering in the creation of agricultural equipment of new generation. Technique APK. No 1-2. 6–7.
2. Kutkov, G. M. (2006). Technological properties of mobile energy means. Works of Tavria State Agrotechnical Academy. Melitopol. Vol. 40. 140–148.
3. Aruin, A. S., Zaciorskij, V. M. (1988). Biomechanics Ergonomic. Moscow. Engineering. 256.
4. Shotikov, A. V., Kashuba, S. A. (1999). Methods of parameter estimates of visibility of agricultural tractors and machinery in design stage. Tractor power in crop production. Kharkov. 159–162.
5. Shkarivskiy, G. V. (2002). To definition of host control energonasos Horno-Assembly type. Mechanization and Electrification of Agriculture. Glevaha. Vol. 86. 260–263.
6. Shkarivskiy, G. V., Pozhidaev, S. P. (1993). Comparative study of accuracy of movement of row unit with various constructive-komponovanie schemes and parameters. Mechanization and Electrification of Agriculture. Kiev. Vol. 77. 91–96.

ОБОСНОВАНИЕ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОСТА УПРАВЛЕНИЯ УБОРОЧНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ МОБИЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА

Г. В. Шкаровский, Р. Г. Шкаровский

Аннотация. Эксплуатация мобильных энергетических средств и агрегатов на их базе требует значительных психологических и физических нагрузок на оператора и влияет на уровень утомляемости последнего и на показатели эффективности выполнения технологических операций. Использование МЭС на реверсе в составе уборочного агрегата с навесным технологическим модулем предусматривает наличие зоны усиленного визуального контроля, которая определяется горизонтальной плоскостью, проходящей через точку отсчета (глаза оператора) и плоскостью расположения луча, который выходит из точки отсчета и проходит через точку пересечения луча зрения с опорной поверхностью, и размеры которой могут ограничиваться очертаниями агрегата, которые попадают в эту зону. Исследования, проведенные по определению размеров таких зон и их представление в виде коэффициента обзорности позволили установить, что отечественные энергосредства конструктивно-компоновочной схемы близкой к интегральной имеют значение оценочного показателя на уровне 0,38...0,40, отечественные энергосредства классической компоновки - на уровне 0,56...0,66, а лучшие зарубежные машины классической компоновки имеют аналогичный показатель на уровне 0,80...0,94, в то время как аналогичные показатели для самоходных уборочных машин находятся в пределах 0,86...0,89. Дальнейшие исследования, проведенные с использованием макетного образца переставного

поста управления позволили установить, что обзорность рабочих органов уборочных машин, при работе энергосредства на реверсе, существенно зависят от расположения точки отсчета, что обуславливает необходимость оборудования энергосредства штатным реверсивным постом управления, расположенным в зоне между задним мостом и уборочной машиной, или же переставным реверсивным постом управления с возможностью его установки в зоне между задним мостом и уборочной машиной.

Ключевые слова: *мобильное энергетическое средство, уборочный машинно-тракторный агрегат, рабочий орган, пост управления, обзорность, оценка*

RATIONALE FOR LOCATION CONTROL OF HARVEST UNIT ON BASIS OF MOBILE POWER TOOLS

G. V. Shkarivskiy, R. G. Shkarivskiy

Abstract. *The operation of mobile power tool and aggregates on their basis requires significant psychological and physical loads on operator and affects the level of fatigue of latter and performance indicators of technological operations. The use of MPT on reverse in structure of harvesting unit with hinged technological module provides for presence of zone of enhanced visual control, which is determined by horizontal plane passing through the reference point (operator's eye) and plane of beam location that leaves reference point and passes through the point of intersection of line of sight with reference surface, and dimensions of which may be limited by outlines of unit that fall into this zone. The studies carried out to determine the size of such zones and their representation in form of visibility factor made it possible to establish that domestic energy facilities of constructive-layout scheme close to integral have estimated value of 0.38...0.40, level 0,56...0,66, and best foreign machines of classical configuration have same indicator at level of 0,80...0,94, while similar indicators for self-propelled harvesters are in limit 0.86...0.89. Further studies carried out using prototype control room made it possible to establish that visibility of working organs of harvesting machines, with operation of energy facility on reverse, depends substantially on location of reference point, which necessitates the equipment of energy facility with regular reversing control station located in zone between the rear axle and harvesting machine, or movable reversible control station with possibility of its installation in area between the rear axle and the harvesting machine.*

Key words: *mobile power tool, sweeper-tractor unit, actuator, control room, visibility, evaluation*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖІВ
БЕЗДОРІЖЖЯМИ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ.
ІННОВАЦІЙНИЙ АСПЕКТ**

***С. Д. Коваленко, кандидат військових наук, доцент
Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

***В. В. Машталір, кандидат історичних наук
Генеральний штаб Збройних Сил України***

І. П. Радіонов, А. М. Радченко,

***А. П. Андрієвський, кандидат військових наук, старший
науковий співробітник***

***Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

e-mail: kvp_nubip@ukr.net

Анотація. У роботі викладено результати аналізу простоювання транспортних засобів на маршрутах за досвідом проведення бойових дій, наприклад, у районах проведення антитерористичної операції (АТО).

Простоювання спричинено необхідністю витрачання часу для ретельного закріплення вантажу на кузовах транспортних засобів, що неприпустимо під час ведення високодинамічних бойових дій. Вантажі повинні у найкоротший час доставлені до споживачів (військових частин або цивільного населення).

Під час простоювання водії (екіпажі) машин вимушені витратити час на надійне закріплення вантажів в кузовах транспортних засобів з метою недопущення їх псування або втрачання під час руху дорогам, які пошкоджені внаслідок бойових дій або бездоріжжю.

У матеріалах статті надані обґрунтовані науково-практичні рекомендації щодо підвищення ефективності транспортування матеріально-технічних засобів в умовах ведення бойових дій по зруйнованих дорогах або бездоріжжю за рахунок застосування інноваційного запатентованого технічного рішення, зокрема, за рахунок застосування запатентованої накидки-фіксатора вантажу, яка забезпечує надійну фіксацію МтЗ (вантажів) та захист для їх перевезення на вантажній платформі транспортного засобу та причепі по дорогам з пошкодженою поверхнею або бездоріжжю. Зокрема, у статті викладено алгоритм та необхідність застосування накидки-фіксатора вантажу.

© С. Д. Коваленко, В. В. Машталір, І. П. Радіонов, А. М. Радченко,
А. П. Андрієвський, 2018

Ключові слова: *транспортні засоби, транспортні завдання, військові перевезення, матеріально-технічні засоби, бездоріжжя, бойові завдання, військові формування та спеціальні служби України, особовий склад, бойові дії, призначений район, вказаний рубіж*

Постановка проблеми. Значний обсяг перевезень особового складу, озброєння, матеріально-технічних засобів тощо під час ведення бойових дій, зокрема, наприклад, безпосередньо у районах проведення антитерористичної операції (АТО) на сході України, як показано на рис. 1, здійснює автомобільна техніка (АТ).

Однак, під час ведення бойових дій, зокрема у районах проведення АТО в Донецькій та Луганській областях пошкоджено понад 60% автомобільних доріг від загальної їх кількості. На рис. 2 і рис. 3 показано пошкодження автомобільних доріг та мостів з асфальтовим та асфальто-бетонним покриттями, які виникли в результаті ведення бойових дій.

Загалом за час бойових дій, як показано на рис. 2, зруйновано близько 50% автомобільних мостів від їх загальної кількості, з них: поблизу населених пунктів (н.п) Новодружівка, Карлівка, Галіцинка, поблизу н.п. Благодатне, Докучаївськ, Трьохізбенка, Станічно-Луганське, Старої Краснянки, Подгорівка, Зугрес, Закітне, Горлівка, Харцизьк, в Артемівському районі на трасі Харків-Ростов, поблизу н.п. Родакове, міст через річку Борова між н.п. Сєвєродонецьк та н.п. Рубіжне (Луганська обл.), міст на трасі Єнакієве-Шахтарськ-Авдіївка тощо).

Значна кількість ґрунтових доріг непридатна для здійснення перевезень. На рис. 4 показано руйнування поверхонь ґрунтових доріг унаслідок впливу агресивних зовнішній техногенних (вибухів, впливу гусеничної техніки) та природних чинників.



Рис. 1. Завантажування матеріально-технічних засобів (продовольства, медикаментів засобів обігріву) населенню Донецької та Луганської областей та підрозділам (частинам), які беруть участь у бойових діях у районах проведення АТО.



Рис. 2. Пошкоджені автомобільні дороги з асфальтовим асфальто-бетонним покриттями.



Рис. 3. Пошкоджені автомобільні мости.

Завдяки злагодженим діям підрозділів та частин Збройних Сил України Національної гвардії України й Державної спеціальної служби транспорту України та застосування особовим складом цих служб, металевих конструкцій замість пошкоджених автомобільних мостів, тимчасових переправ умови функціонування перевізників значно покращилися. На рис. 5. показано моменти наведення тимчасових автомобільних мостів (переправ) із металевих конструкцій.



Рис. 4. Пошкоджені автомобільні та ґрунтові дороги.

Однак, проблеми руху колісних транспортних засобів взагалі та військових перевезень зокрема у районах ведення бойових дій лише частково розв'язані. Виниклі внаслідок обстрілів та через вплив агресивних зовнішніх техногенних та природних чинників вибоїни на

поверхнях доріг, деформації ґрунтових доріг і, навіть, місця стикувань між суцільними ділянками доріг і тимчасово наведеними металевими мостами спричиняють сильні розхитування та коливання транспортних засобів. Охопити ремонт весь обсяг пошкоджень доріг не представляється можливим.



Рис. 5. Момент наведення тимчасових автомобільних мостів (переправ) із металевих конструкцій.

Потребують розв'язання проблеми доставки вантажів до пунктів призначення неушкодженими під час транспортування.

Через розхитування та коливання транспортного засобу вантаж сприймає удари в кузовах транспортних засобів. Мають місце випадки пошкодження (забруднення, псування) вантажів. У окремих випадках вантаж випадав із кузова та втрачався під час перевезень.

Іншою проблемою є значні витрати часу, необхідного для здійснення кріпильних робіт у разі перевезення матеріально-технічних засобів (МтЗ) із одного до іншого району ведення бойових дій.

Водії (екіпажі) вимушені кожного разу перезакріплювати вантажі у кузовах транспортних засобів для подальшого руху по пошкоджених або ґрунтових дорогах. Це спричиняє втрачання часу, що неприпустимо в умовах ведення швидкоплинних бойових дій. Водночас, під час бойових дій необхідно своєчасно підвезти боєприпаси, медикаменти, продовольство, засоби захисту та обігріву тощо для успішного ведення ними бойових дій.

Тому, розроблення практичних рекомендацій щодо надійного закріплення вантажів (фіксації вантажів) у найкоротший час з метою уникнення псування, втрачання вантажів, скорочення часу простоювання та своєчасного виконання транспортних завдань є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень. Такі публікації, як [1–5], із широкого їх кола містять рекомендації щодо порядку перевезення.

Однак, аспекти, пов'язані з розробленням практичних інноваційних рекомендацій, спрямованих на розв'язання проблем

щодо перевезення особового складу та матеріально-технічних засобів по зруйнованих дорогах або бездоріжжю за рахунок застосування нетрадиційних технічних рішень залишаються недостатньо розкритими і не втрачають своєї актуальності.

Мета досліджень. Викладення практичних рекомендацій щодо застосування нетрадиційних технічних рішень з метою безвратного та безпечного перевезення вантажів на транспортних засобах по зруйнованих дорогах або бездоріжжю, а також надання обґрунтованих рекомендацій щодо своєчасного підвезення матеріально-технічних засобів до діючих підрозділів, які беруть участь у бойових діях.

Результати досліджень. Важливою складовою матеріально-технічного забезпечення частин і підрозділів, які беруть участь у бойових діях, зокрема у районах проведення АТО, є безвратне та своєчасне підвезення (перевезення) особового складу та МтЗ (палива, боєприпасів, харчів, засобів захисту, обігріву тощо).

Однак, під час руху транспортних засобів по зруйнованих дорогах або бездоріжжю, вантаж сприймає удари в кузовах транспортних засобів. Мають місце випадки пошкодження (забруднення, псування) вантажів. У окремих випадках вантаж випадав із кузова та втрачався під час перевезення.

У разі часткового вивантаження та прив'язувати вантажів до кузова транспортного засобу для подальшого руху по пошкоджених або ґрунтових дорогах водій (екіпаж) кожного разу здійснював перезакріплення МтЗ, що спричиняло додаткові витрати часу.

Відомо, що загальна тривалість транспортування вантажів $T_{\text{трзав}}$ складається з часу окремих транспортних заходів:

$$T_{\text{трзав}} = \sum_i^{n_{\text{заг}}} t_i, \quad (1)$$

де: i – умовний номер транспортного заходу, який здійснюється у разі перевезення вантажів; $n_{\text{заг}}$ – кількість транспортних заходів під час перевезення; t_i – час, необхідний для здійснення кожного конкретного заходу, хв. або год.;
або, виходячи із (1),

$$T_{\text{трзав}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5. \quad (2)$$

На рис. 6 показано типовий графік здійснення транспортних заходів під час військових перевезень.

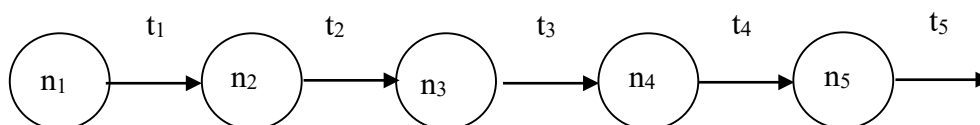


Рис. 6. Графік витрачання часу для здійснення транспортних заходів під час військових перевезень.

Умовні позначення: n – транспортний захід; t – час здійснення транспортного заходу; $n_1 (t_1)$ – захід та час його здійснення для підготовки кузова для завантаження вантажу у вантажний автомобіль, наприклад, КрАЗ-6322 (знаття тенту кузову, розтентування) 5–10 хв; $n_2 (t_2)$ – захід та час його здійснення, необхідний для навантаження МтЗ у кузов (20–40 хв); $n_3 (t_3)$ – захід та час його здійснення для закріплення вантажу в кузові транспортного засобу, наприклад, КрАЗ-6322 (15–20 хв); $n_4 (t_4)$ – захід та час його здійснення зупинки у разі відкріплення МтЗ (вантаж) від платформи кузову транспортного засобу, наприклад, КрАЗ-6322 (час, необхідний для перезакріплення вантажу) (20–40 хв) за умови руху по бездоріжжю; $n_5 (t_5)$ – захід та час його здійснення для закріплення МтЗ (вантаж) в кузові транспортного засобу, наприклад, КрАЗ-6322 для продовження руху в інший район бойових дій (15–20 хв).

В разі лише одної зупинки транспортного засобу n_4 у разі відкріплення вантажу загальна тривалість транспортування $T_{\text{трзаг}}$ може значно збільшитися, що в складній тактичній обстановці може спричинити несвоєчасне підвезення МтЗ (пального у бочках, боєприпасів тощо) до діючих підрозділів у призначений район (вказаний рубіж) під час виконання ними бойових завдань.

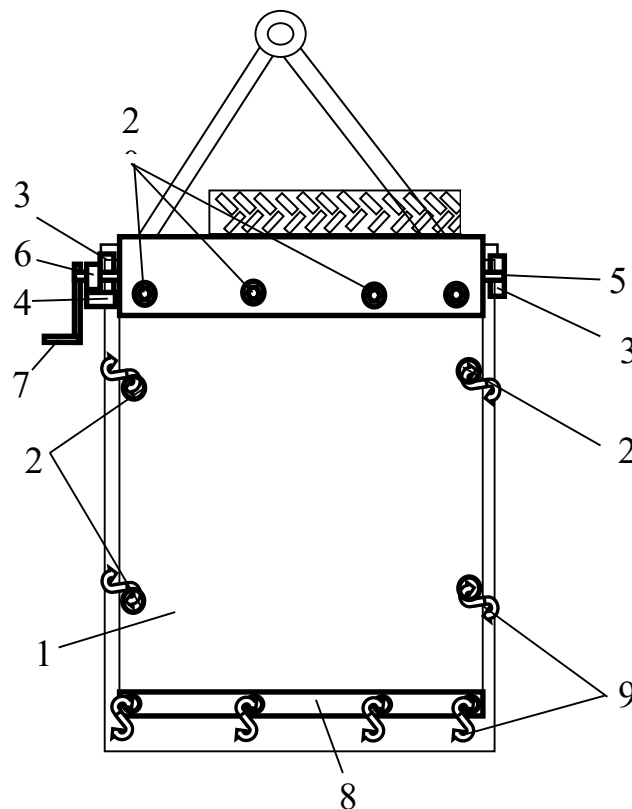


Рис. 7. Накидка-фіксатор вантажу, встановлена на причепі (варіант).

З метою недопущення випадків псування та втрачання МтЗ, скорочення процедури (n_3) та часу (t_3) закріплення та уникнення процедури (n_4) та часу (t_4) перезакріплення МтЗ і, відповідно, скорочення часу простоювання пропонується застосовувати новий спосіб закріплення МтЗ (вантажів) з метою підвищення ефективності транспортування вантажів в умовах ведення бойових дій. Цей спосіб пропонується як один із множини можливих напрямів підвищення ефективності транспортування вантажів в умовах ведення бойових дій. Пропоноване закріплення (фіксація) МтЗ (вантажів) здійснюється за рахунок застосування запатентованої накидки-фіксатору вантажу [6], яка забезпечує надійну фіксацію МтЗ (вантажів) для їх перевезення на вантажній платформі транспортного засобу по дорогам з пошкодженою поверхнею. Накладка-фіксатор вантажу містить (рис. 7 і рис. 8) тент 1, отвори 2, шарніри 3, клин 4 з пружним елементом, вал 5 з храповиком 6, ключ 7, пружну планку 8, скоби 9, засоби кріплення 10.

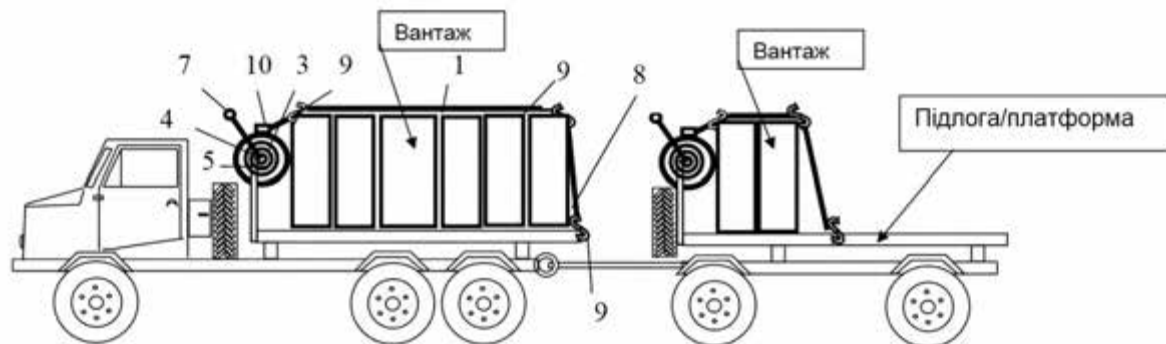


Рис. 8. Накладка-фіксатор та закріплений нею вантаж на кузові-платформі транспортного засобу, наприклад, КрАЗ-6322 (варіант).

Накладка-фіксатор вантажу, може бути розташована, наприклад, переважно на передньому борті платформи вантажного транспортного засобу (причепі) (рис. 8 і рис. 9).

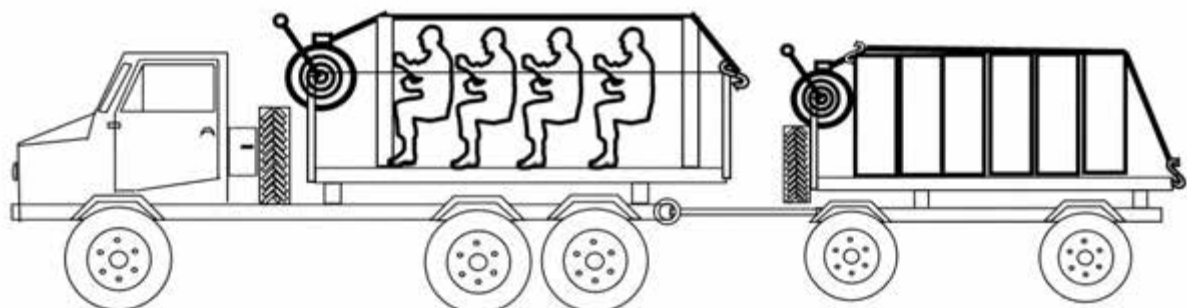


Рис. 9. Накладка-фіксатор використана для транспортування та захисту від потоку повітря, пилу, сонячних променів або опадів військовослужбовців, їхньої амуніції на причепі позаду на кузові-платформі транспортного засобу, наприклад, КрАЗ-632, (варіант).

На чотирьох сторонах тенту 1 накидки-фіксатора вантажу виконано отвори 2. Одною стороною тент 1 нерухомо закріплено на валу 5 з храповиком 6 засобами кріплення 10.

В пружній планці 8 виконано отвори 2 з умовою співпадіння отворів 2, виконаних в тенті 1, та пружну планку 8 нерухомого закріплено та на неї шарнірно зачеплені скоби 9 з протилежного боку відносно валу 5 з храповиком 6. Встановлені на борт шарніри 3, один з яких виконано з клином 4 з пружним елементом, забезпечують закріплення накидки-фіксатора до борта транспортного засобу та обертання валу 5 навколо його повздовжньої осі. Клин 4 з пружним елементом входить в зачеплення з храповиком 6, виконаним на валу 5.

На вал 5 з храповиком 6 установлюють ключ 6 з можливістю його демонтажу, прикладають зусилля до ключа 6 та на вал 5 намотують тент 1. Під час намотування тенту 1 у пази встановленого на вал 5 храповика 6 входить клин 4 з пружним елементом та фіксує вал 5 у будь якому моменті його обертання. Демонтаж ключа 6 здійснюють з метою запобігання його втрати після змотування тенту 1 (переведення накидки-фіксатора в транспортне положення).



Умовні позначення

- А** – тривалість (T_i) перевезення МтЗ (вантажу) під час транспортування без використання накидки-фіксатора МтЗ (вантажу);
- Б** – тривалість (T_i) перевезення МтЗ (вантажу) під час транспортування без використання накидки-фіксатора МтЗ (вантажу);
- транспортний засіб з екіпажем;
- момент (n_4) часу (t_4) зупинки транспортного засобу для перезакріплення МтЗ (вантажу) за умови руху по бездоріжжю (20-40 хв);
- момент часу (t_i) початку продовження руху транспортного засобу;
- момент прибуття екіпажу транспортного засобу у призначений район бойових дій (вказаний рубіж) для виконання інших транспортних завдань.

Рис. 10. Тривалість перевезення під час транспортування МтЗ (вантажу) у призначений район бойових дій (вказаний рубіж) з застосуванням накидки-фіксатора та без неї.

Накидка-фіксатор вантажу застосовується наступним чином.

Після завантаження платформи вантажного транспортного засобу (рис. 2) прикладається тягове зусилля до пружної планки 8, розмотують тент 1, накривають вантаж, в отвори 2 шарнірно встановлюють скоби 9, зачіплюються скоби 9 до підлоги відкритої платформи, прикладається зусилля до ключа 7, обертається вал 5 важелем 7 та намотується тент 1 на вал 5. Вантаж фіксується на платформі вантажного транспортного засобу за рахунок натягування тенту 1 та щільного притискання ним вантажу до підлоги відкритої платформи.

На рис. 2 показано варіант повного завантаження транспортного засобу-тягача та часткового завантаження причепа.

Як видно із рис. 10, порівняно з транспортним варіантом А використовуючи запатентовану накидку-фіксатор [6] транспортний варіант В передбачає витрачання значно меншої кількості часу, необхідного для перевезення МтЗ (вантажів)

Витрати часу, необхідного транспортування із застосуванням накидки-фіксатора, ураховуючи (2), можна описати так:

$$T_{\text{трзаг}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \gg T_{\text{трзагНФ}} = t_1 + t_2 + t_3/2 + t_5/2, \quad (3)$$

або

$$T_{\text{трзаг}} \gg T_{\text{трзагНФ}}. \quad (4)$$

При цьому (3), час t_3 для закріплення вантажу в кузові транспортного засобу (7-10 хв), а також час t_5 (для закріплення МтЗ (вантажів) в кузові транспортного засобу для продовження руху в інший район бойових дій) за рахунок конструкційних особливостей накидки-фіксатора скорочується вдвічі.

Крім того, практика застосування накидки-фіксатора дозволила уникнути простоювання та втрачання транспортного часу зупинки t_4 (час, необхідний для перезакріплення вантажу) (20-40 хв) за умови руху по бездоріжжю.

Таким чином, як видно на рис. 10, у процесі емпіричних досліджень підвищено ефективність транспортування МтЗ (вантажів) по зруйнованих шляхах або бездоріжжю в умовах ведення бойових дій за рахунок застосування інноваційних запатентованого технічного засобу (як один із варіантів).

Загальна тривалість транспортування МтЗ (вантажів) $T_{\text{трзаг}}$ при цьому значно скоротилася і записується наступним чином:

$$T_{\text{трзаг}} = \sum_i^{n_{\text{трзаг}}} t_i \gg T_{\text{трзагНФ}} = \sum_{iН}^{n_{\text{трзагН}}} t_{iН}. \quad (5)$$

Отже (5), автотransпортний підрозділ ефективніше виконає транспортне завдання в інтересах підтримання бойової готовності підрозділів, що беруть участь у бойових діях.

Висновки

Унаслідок застосування накидки-фіксатора (рис. 9) стає можливим скоротити час закріплення вантажу, захистити вантаж (людей) від негативного впливу сонячних променів, бруду, пилу, опадів та низькорозташованого гілля рослин під час здійснення перевезень на відкритій платформі транспортного засобу, а також надійно закріпити вантаж за рахунок притискання вантажу накидкою-фіксатором до платформи транспортного засобу (рис. 8 і рис. 9), унеможливити вільне випадання вантажу з підлоги/платформи, пошкодження транспортних засобів і травмування учасників дорожнього руху, забруднення автомобільної дороги, що сприяє підвищенню безпеки руху.

Напрямом подальших досліджень може бути розроблення та обґрунтування алгоритмів застосування запатентованого обладнання обслуговуючим персоналом у військових формуваннях та спеціальних службах України.

Список літератури

1. *Воинские автомобильные перевозки: учебное пособие.* Москва. Воениздат. 1974. 200 с.
2. *Босняк М. Г.* Вантажні автомобільні перевезення: навчальний посібник. Київ. Видавничий Дім «Слово». 2010. 408 с.
3. *Вільковський Є. К., Кельман І. І., Бакуліч О. О.* Вантажознавство (вантажі, правила перевезень, рухомий склад): підручник. Львів. Інтелект-Захід. 2007. 476 с.
4. *Ходош М. С.* Грузовые автомобильные перевозки. Москва. Транспорт. 1980. 267 с.
5. *Правила перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні.* Київ. Мінтранс України. 1998. 20 с.
6. *Спосіб* накриття та закріплення/фіксації вантажу для транспортування на відкритій платформі транспортного засобу. Патент України на корисну модель МПК В60Р 7/04, В60Р 7/08, В60Р 7/00. Котляр С. С., Радзівідло Я. Й., Нечосов В. В., Баранов О. П., Андрієвський А. П., Шаша І. К., Сікоринський В. В., Чайковський Д. П., Мусієнко І. П. № 70030. Заявл. 08.11.2011. Опублік. 25.05.2012. Бюл. № 10.

References

1. *Military motor transport: tutorial.* (1974). Moscow. Military publishing. 200.
2. *Bosnyak, M. H.* (2010). Cargo automobile traffics: training manual. Kyiv. Publishing House "Slovo". 408.
3. *Vilkovskii, Ye. K., Kelman, I. I., Baculo, A. A.* (2007). Load handling (cargo, conditions of carriage, rolling stock): textbook. Lviv. Intelligence-West. 476.
4. *Khodosh M. S.* (1980). Freight transport. Moscow. Transport. 267.
5. *Regulations for carriage of goods by road in Ukraine.* (1998). Kiev. Ministry of Transport of Ukraine. 20.
6. *Kotlyar, S. S., Radzividlo, Ya. Y., Nechosov, V. V., Baranov, O. P., Andriyevskyy, A. P., Shasha, I. K., Sikorynskyy, V. V., Chaykovskyy, D. P., Musiyenko, I. P.* Way of covering and fastening/securing of cargo for transportation on open platform of vehicle. Patent of Ukraine for useful model, IPC B60P 7/04, B60P 7/08, 7/00 B60P. No. 70030. Appl. 08.11.2011. Publish. 25.05.2012. Bull. No 10.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГРУЗОВ ПО БЕЗДОРОЖЬЮ В УСЛОВИЯХ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ. ИННОВАЦИОННЫЙ АСПЕКТ

**С. Д. Коваленко, В. И. Машталир, И. П. Радионов,
А. Н. Радченко, А. П. Андриевский**

Аннотация. В работе изложены результаты анализа простоя транспортных средств на маршрутах по опыту проведения боевых действий, например, в районах проведения антитеррористической операции (АТО).

Простаивания вызвано необходимостью затрат времени для тщательного закрепления груза на кузовах транспортных средств, что недопустимо при ведении высокودинамичных боевых действий. Грузы должны в кратчайший срок доставлены потребителям (воинским частям или гражданскому населению).

Во время простоя водители (экипажи) машин вынуждены тратить время на надежное закрепление грузов в кузовах транспортных средств с целью недопущения их порчи или потери в процессе движения по дорогам, которые повреждены в результате боевых действий, или бездорожью.

В материалах статьи предоставлены обоснованные научно-практические рекомендации по повышению эффективности транспортировки материально-технических средств в условиях ведения боевых действий по разрушенным дорогам или бездорожью за счет применения инновационного запатентованного технического решения, в частности, за счет применения запатентованной накладки-фиксатора груза, которая обеспечивает надежную фиксацию (грузов) и защиту для их перевозки на грузовой платформе транспортного средства и прицепе по дорогам с поврежденной поверхностью или бездорожью. В частности, в статье изложены алгоритм и необходимость применения накладки-фиксатора груза.

Ключевые слова: **транспортные средства, транспортные задачи, войсковые перевозки, материально-технические средства, бездорожье, боевые задачи, военные формирования и специальные службы Украины, личный состав, боевые действия, назначенный район, указанный рубеж**

IMPROVING EFFICIENCY OF TRANSPORTATION OF CARGOES IN CONDITIONS BY OFF-ROAD. INNOVATIVE ASPECT

**S. D. Kovalenko, V. V. Mashtalir, I. P. Radionov, A. M. Radchenko,
A. P. Andriyevsky**

Abstract. The paper presents the results of the analysis of stagnation of vehicles on routes on the basis of experience of carrying out hostilities, for example, in areas of anti-terrorist operation (ATO).

The promise is caused by the necessity of spending time for the thorough fastening of cargo on the bodies of vehicles, which is unacceptable in the conduct of high-dynamic combat operations. Cargo should be delivered to the consumers (military units or civilian population) as soon as possible.

During idle, drivers (carriages) are forced to spend time securing their cargoes in the bodies of vehicles in order to prevent them from being damaged or lost when driving on roads that are damaged as a result of hostilities or impassability.

The article provides substantiated scientific and practical recommendations for improving the efficiency of transportation of material and technical means in the conditions of conducting military operations on destroyed roads or off-roads due to the use of an innovative patented technical solution, in particular, due to the use of a patented catch-cap of cargo, which provides reliable fixation MtZ (cargoes) and protection for their transportation on the platform of the vehicle and trailer on roads with damaged surface or be dorizhzhayu. In particular, the article outlines the algorithm and the necessity of using the catch-cap of the cargo.

Key words: *vehicles, transport tasks, military transportation, material and technical means, off-road, combat missions, military formations and special services of Ukraine, personnel, combat operations, designated area, specified milestone*

УДК 664.48

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ФІЗАЛІСУ

М. М. Муштрук, кандидат технічних наук

ORCID 0000-0002-3646-1226

Національний університет біоресурсів і

природокористування України

e-mail: mixej.1984@ukr.net

Анотація. *Представлені результати дослідження процесу конвективного сушіння фізалісу при постійній температурі на лабораторній сушильній установці, яка дозволяє підтримувати постійну температуру в робочій зоні сушки.*

Розроблено раціональний режим процесу конвективного сушіння фізалісу та оптимальні параметри процесу регідратації відновної здатності для використання сушеної продукції

© М. М. Муштрук, 2018

в приготуванні перших і других страв з максимальним збереженням вітамінів і поживних речовин.

Доведено, що температури сушіння позитивно впливає на економію енергоресурсів і собівартість готового продукту, проте зовнішній вигляд сушених фізалісу краще зберігається при низьких температурах сушки.

Встановлено раціональні температури сушки плодів фізалісу, які забезпечать відновлювальну здатність висушених плодів (для кружечків) температура сушки 70 °С, (для часточок) 90 °С.

В статті показано, що з підвищенням температури сушіння фізалісу (кружечками) клітини зменшуються в об'ємі за рахунок вивільнення з клітинної оболонки вологи, тобто чим вище температура, тим більша кількість вологи у вигляді пари виходить за межі клітин і останні звертаються в невеликий клубок.

Результати досліджень апроксимувати в відповідні рівняння регресії, за допомогою яких можна встановити вологовміст сировини в залежності від температури і тривалості процесу для обох періодів сушіння.

Ключові слова: *плоди фізалісу, конвективна сушка, відновна здатність, температура, період сушіння, вологовміст*

Вступ. Сушіння – не тільки складний процес тепло- і масообміну, але також і складний технологічний процес. Висушений харчовий продукт повинен мати високі показники якості, як органолептичні, так і фізико-хімічні. Оптимальний режим сушіння повинен здійснюватися при мінімальних витратах тепла і енергії і полягати в максимальному збереженні хіміко-технологічних показників якості сировини, що використовується для сушки. Дослідження останніх років спрямовані на вдосконалення способів сушіння, що забезпечують максимальне збереження харчових і смакових властивостей продукту, а також високу ефективність процесу [1].

Для сучасних способів сушки характерна інтенсифікація процесів тепло- і масообміну, яка досягається різними шляхами:

- збільшення поверхні контакту між висушують продуктом і сушильним агентом;
- зниження відносної вологості сушильного агента;
- застосування комбінованого підведення тепла;
- підвищення швидкості переміщення висушується і сушильного агента;
- поєднання зневоднення з різними технологічними процесами (наприклад, заморожування) [2].

Постановка проблеми. На українському ринку представлені велика кількість сухофруктів та овочів в вигляді пластинок, кубиків, порошків і сушених овочів таких, як морква, часник, зелень, прянощі. Серед способів отримання сушених продуктів найбільш поширений конвективний, який досить простий і не вимагає складного обладнання. Інновації в області сушіння стосуються переважно вдосконалення сушильного обладнання та уточнення існуючих режимів для окремих видів сировини. Однак відомостей про сушіння фізалісу дуже мало, так, як його хімічний склад різноманітний і залежить від умов вирощування. Тому наші дослідження спрямовані на розробку оптимального режиму процесу конвективного сушіння фізалісу і здійснення її відновної здатності для використання сушеної продукції в приготуванні перших і других страв з максимальним збереженням вітамінів і поживних речовин [3, 7–10].

Автори роботи [4] стверджують, що теплова обробка овочів збільшує поживну цінність, в результаті чого підвищується засвоєння поживних речовин і антиоксидантна активність організму. Отримані дані вносять істотні зміни в уявлення про переробку плодів і овочів, як про продукти, які мають знижену харчову цінність. Вони допоможуть населенню збільшити вживання плодів і овочів і зменшити ризик виникнення хронічних захворювань.

Результати досліджень. Поміті плоди фізалісу нарізали кружальцями завтовшки 4 мм і четвортинками і проводили сушіння на лабораторній сушильній установці (рис. 1), яка дозволяє підтримувати постійну температуру в робочій зоні сушки.

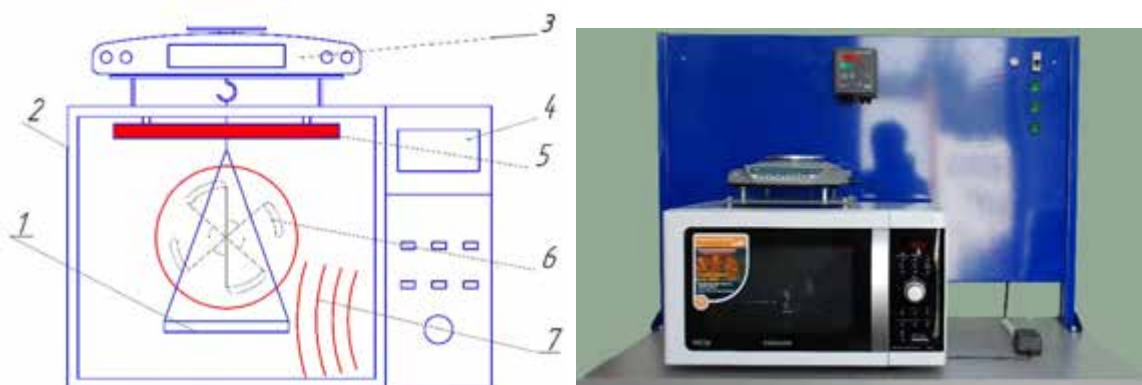


Рис. 1. Схема лабораторної установки: 1 – чаша з висушеним матеріалом, 2 – камера, 3 – електронні ваги, 4 – індикатор температури, 5 – ІЧ нагрівач, 6 – конвективний нагрів, 7 – СВЧ нагрів.

Процес сушки здійснювали при температурах 70, 80, 90 °С для кружечків і 90, 100, 110 °С для шматочків. Такий інтервал температур був обраний тому, що нижче 70 °С сушити сировину недоцільно через значну тривалість процесу і великі енерговитрати для плодів фізалісу,

які нарізані кружечками. А для плодів фізалісу, нарізаних шматочками, температура вище 110 °С, призводять до різкої зміни забарвлення.

За отриманими даними були побудовані графіки залежності вмісту води томатів від тривалості сушіння (рис. 2, рис. 3).

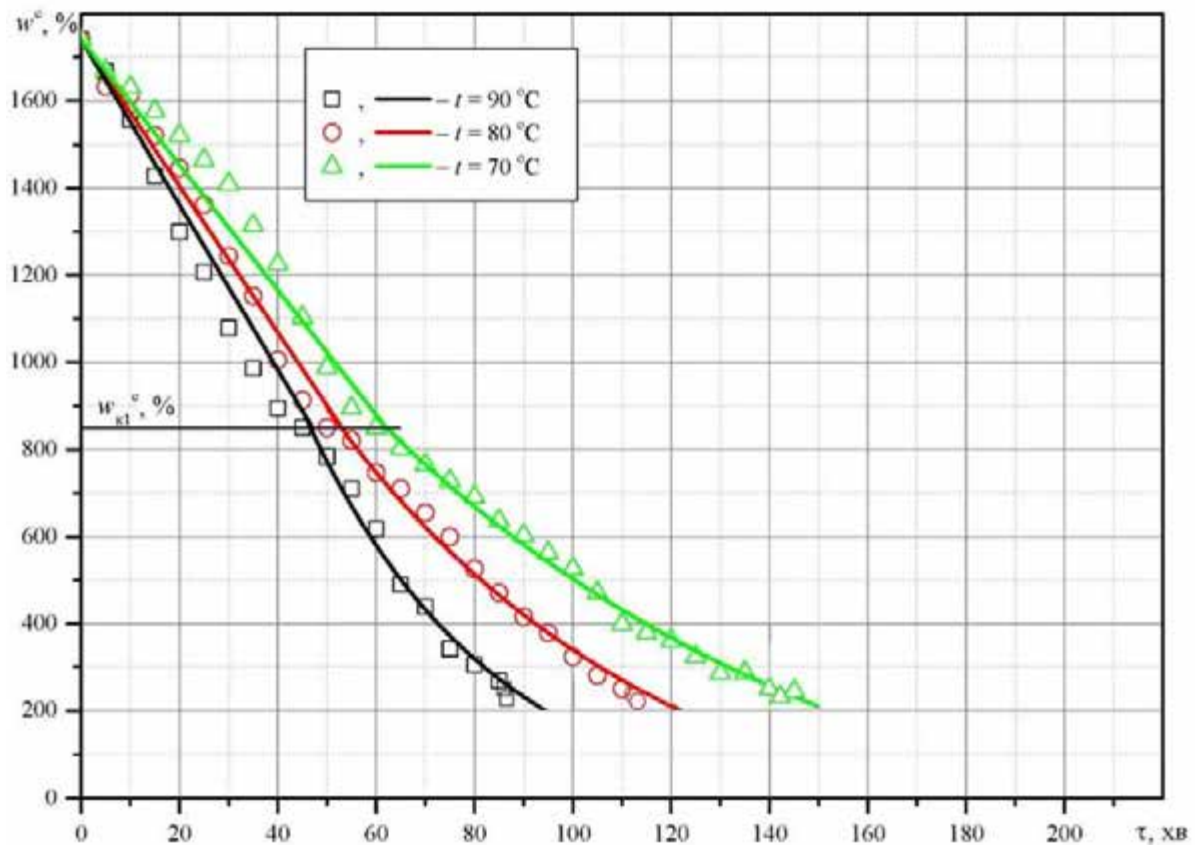


Рис. 2. Залежності вмісту води від тривалості сушіння фізалісу (кружечками) при $t = 70, 80, 90\text{ }^{\circ}\text{C}$

З рис. 2 видно, що перший період сушіння при температурі 95 °С протікає протягом 48 хв.

Другий період сушіння закінчується на 95 хв. з кінцевим вологовмістом 262%, що відповідає вологості 14%.

При висушуванні фізалісу при низьких температурах збільшується тривалість сушіння, яка становить 123 і 150 хв. Відповідно для температур 80 і 70 °С.

З рис. 3 видно, що обидва періоди сушки за тривалістю є довшим, що пов'язано з великими частками фізалісу і на видалення води потрібно затратити більше часу.

Залежність вмісту води від тривалості сушіння можна виразити наступними рівняннями для плодів фізалісу, нарізаних кружечками:

– для першого періоду (від $w^c = 1741\text{ \%}$ до $w^c_{к1} = 850\text{ \%}$)
при $t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ $w^c = 1741 - 19,8 \cdot \tau,$

при $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = 1741 - 19,62 \cdot \tau,$
при $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = 1741 - 14,45 \cdot \tau,$
– для другого періоду ($w_{k1}^c = 250\%$ до w_{k2}^c)	
при $t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = -57,16 + 3106,58 \cdot e^{-0,026 \cdot \tau}$
при $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = -160,54 + 2227,57 \cdot e^{-0,015 \cdot \tau}$
при $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = -57,16 + 2037,94 \cdot e^{-0,1 \cdot \tau}$

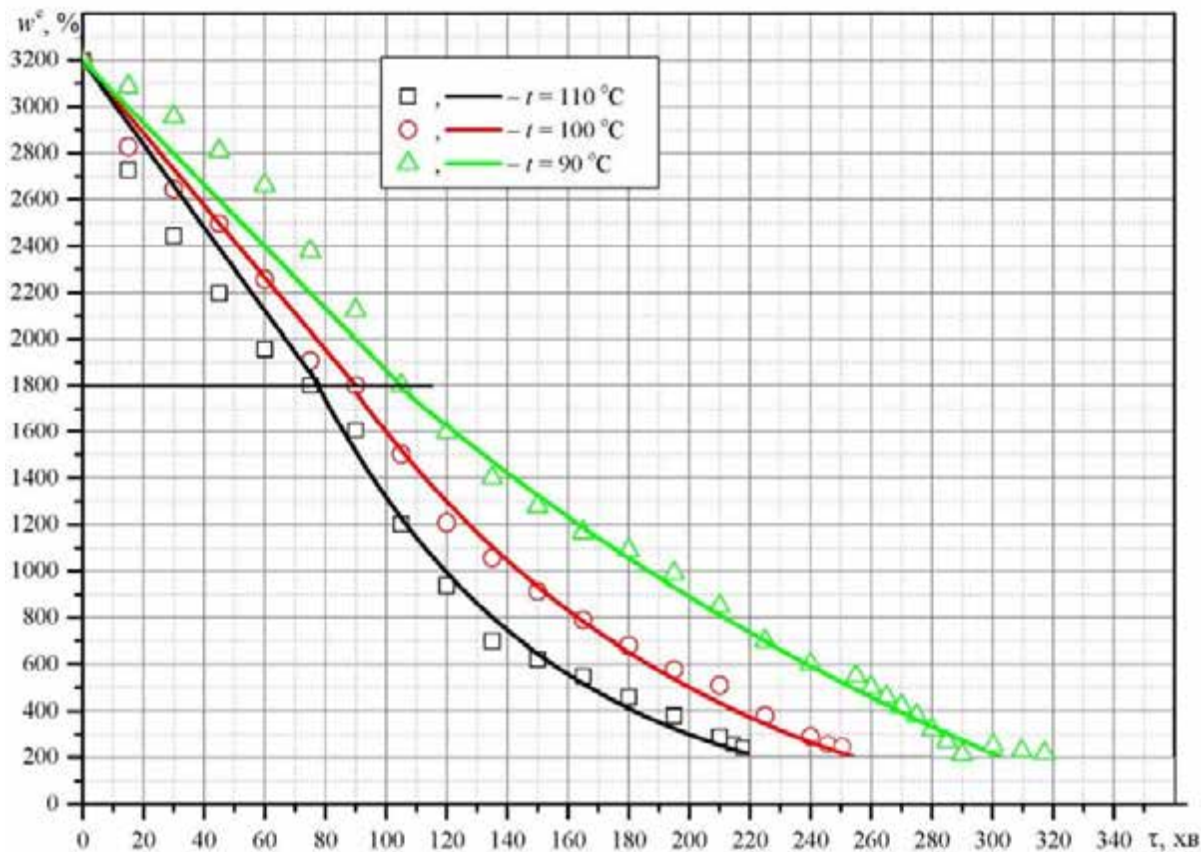


Рис. 3. Залежності вмісту води від тривалості сушіння фізалісу (дольками) при $t = 90, 100, 110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Залежність вмісту води від тривалості сушіння для плодів фізалісу, нарізаних (шматочками) виражається такими рівняннями:

– для першого періоду (від $w^c = 3196\%$ до $w_{k1}^c = 1800\%$)	
при $t = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = 3196 - 17,9 \cdot \tau,$
при $t = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = 3196 - 15,51 \cdot \tau,$
при $t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = 3196 - 13,3 \cdot \tau,$
– для другого періоду ($w_{k1}^c = 1800\%$ до $w_{k2}^c = 14\%$)	
при $t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = -67,85 + 5228,84 \cdot e^{-0,013 \cdot \tau}$
при $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = -305,84 + 4505,03 \cdot e^{-0,009 \cdot \tau}$
при $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$	$w^c = -57,16 + 4911,46 \cdot e^{-0,008 \cdot \tau}$

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що краще здійснювати сушку фізалісу кружечками, де загальна тривалість

сушіння менше в два рази, що пов'язано з розмірами шматочків, що висушується.

Зразки висушених плодів фізалісу кружечками зображені на фотографіях (рис. 4, а, б, в), з яких видно, що краще свій первісний колір зберігають висушені плоди при температурі 75 °С.

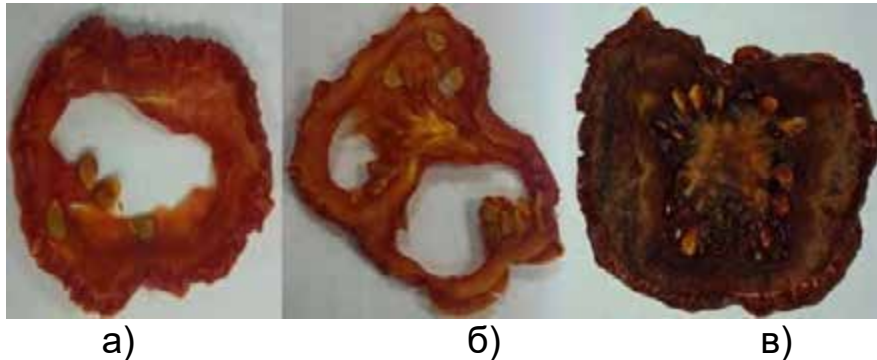


Рис. 4. Зразки висушених фізалісу кружечками при температурах: а) 70 °С; б) 80 °С; в) 90 °С.

При висушуванні фізалісу при температурі 85 °С колір кілька стає тьмяним, а при 95 °С спостерігається вже деякий обвуглювання, що різко погіршує зовнішній вигляд і колір висушених фізалісу.

Зразки висушених плодів фізалісу шматочками зображено на фотографіях (рис. 5, а, б, в), з яких видно, що краще свій первісний колір зберігає фізаліс висушений при 95 °С. З підвищенням температури сушіння зовнішній вигляд і колір висушених фізалісу погіршується.



Рис. 5. Зразки висушених плодів фізалісу шматочками при температурах: а) 90 °С; б) 100 °С; в) 110 °С.

Звичайно сушені продукти вживаються в регідрованому (зволоженому) стані. Тривалість і ступінь регідрування продуктів, висушених традиційними методами, в багатьох аспектах виявляються незадовільними. Кращі регідраційні властивості притаманні продуктам, обробленим методом сублімаційного сушіння

[5, 10–12]. Ці продукти при регідратації на 95 % відновлюють первинну вологість і початкові фізичні властивості, причому процес їх відновлення проходить дуже швидко. Отримані дані по відновлювальній здатності для обох форм висушених фізалісу наведені на рис. 6 і рис. 7.

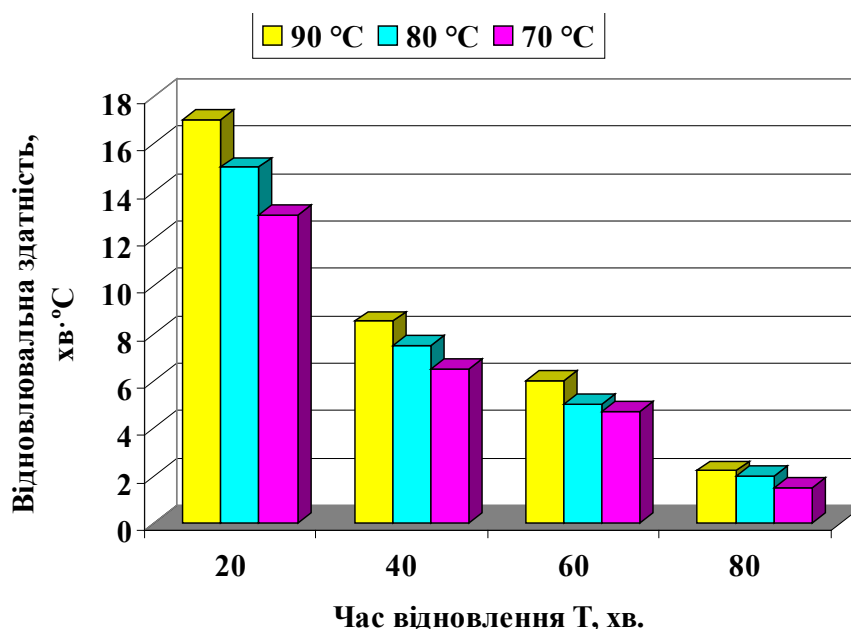


Рис. 6. Вплив температури на відновну здатність фізалісу (кружечками).

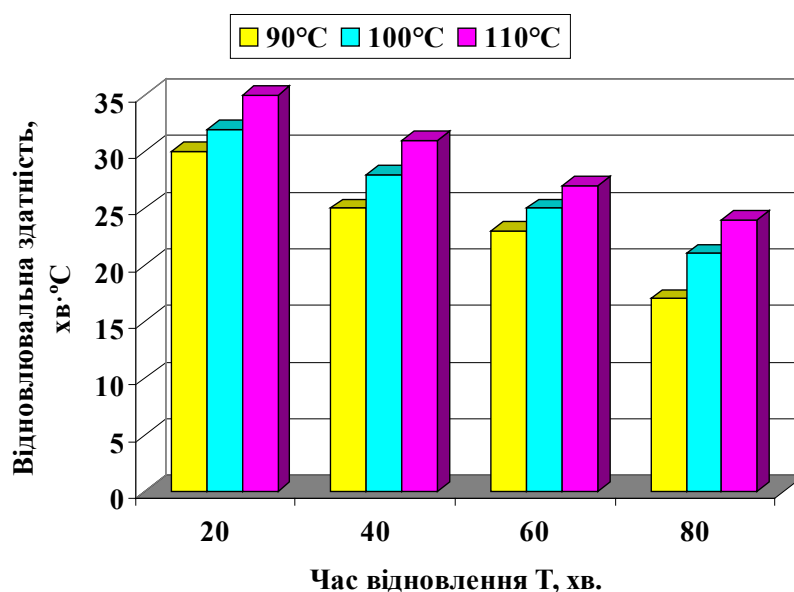


Рис. 7. Вплив температури на відновну здатність фізалісу (шматочками).

Як видно з рис. 6 – рис. 7 краще набухає фізаліс, висушених при температурі сушіння 70 °C, і відновлені при температурі води

80 °С для кружечків, а для часточок краще набухання з наступними параметрами: температура сушки 90 °С, відновлення при температурі води 80 °С.

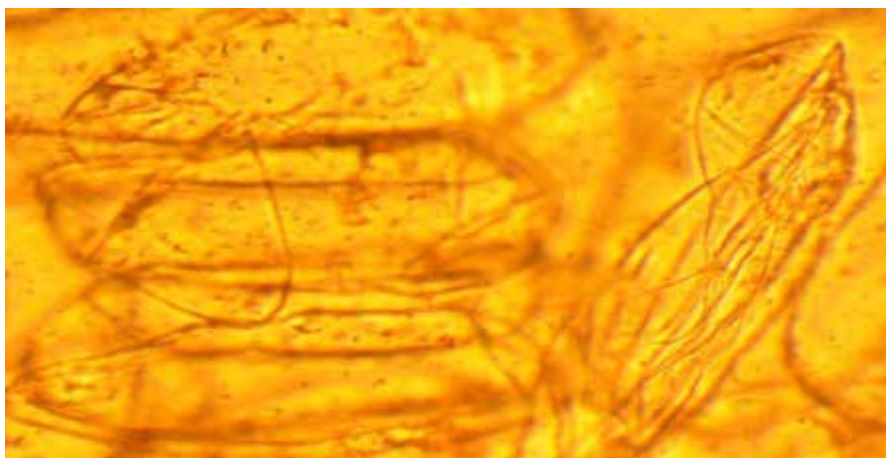


Рис. 8. Мікрофотографія свіжого фізалісу.

Візуалізацію ефектів впливу сушіння на тканини фізалісу спостерігали за допомогою мікроскопії [6, 13, 14]. Мікрофотографування (збільшення в 1000 разів) проводилося для всіх зразків, що підлягають висушуванню.

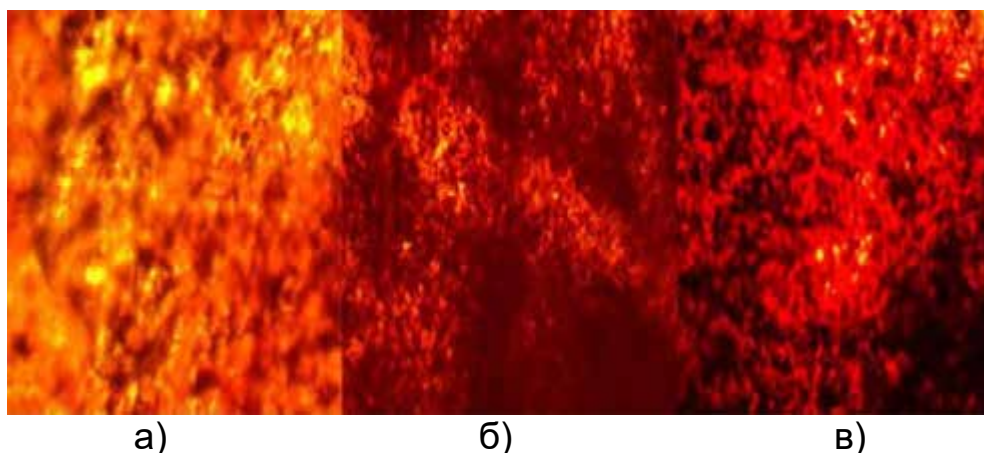


Рис. 9. Мікрофотографія висушеного фізалісу (кружечками) при температурах: а) 70 °С; б) 80 °С; в) 90 °С.

Як видно з мікрофотографій (рис. 9) з підвищенням температури сушіння фізалісу (кружечками) клітини зменшуються в об'ємі за рахунок вивільнення з клітинної оболонки вологи, тобто чим вище температура, тим більша кількість вологи у вигляді пари виходить за межі клітин і останні звертаються в невеликий клубок. А для свіжих фізалісу чітко видно окремі клітини (рис. 8).

За висушених фізалісу шматочками, то аналогічно як і для кружечків, можна спостерігати зміну будови клітин в бік зменшення їх

площі з підвищенням температури від 90 до 110 °С. Яких-небудь істотних змін в мікрофотографіях різної форми висушених фізалісу не видно, однак зрозуміло, що видалення вологи відбувається пропорційно з підвищенням температури (рис. 10). Отримана висушена продукція за змістом вологи відповідає стандарту і складає 14%.

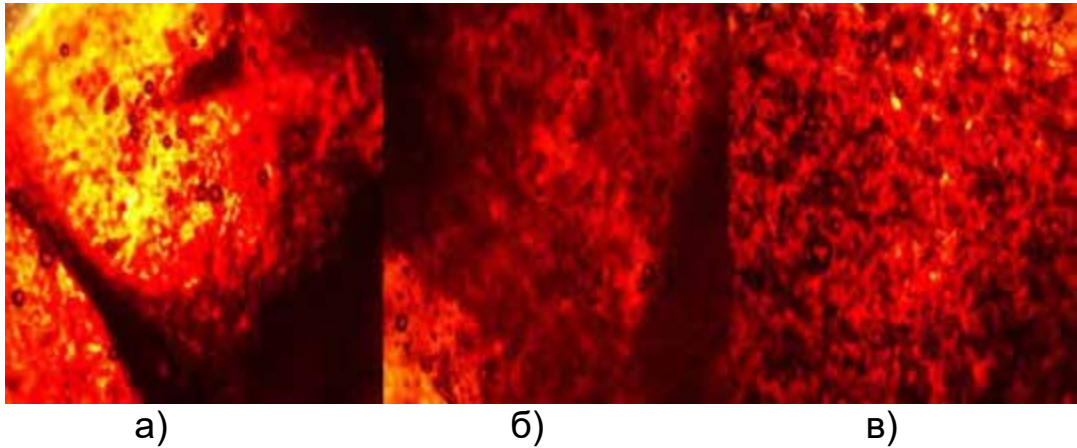


Рис. 10. Мікрофотографія висушеного фізалісу (шматочками) при температурах: а) 90 °С; б) 100 °С; в) 110 °С.

Висновки

Підвищення температури сушіння позитивно впливає на економію енергоресурсів і собівартість готового продукту, проте зовнішній вигляд сушених фізалісу краще зберігається при низьких температурах сушки.

Встановлено раціональні температури сушки фізалісу і води, які забезпечать відновна здатність висушених фізалісу (для кружечків) температура сушки 70 °С і температура води 80 °С, (для часточок) 90 °С при температурі води 80 °С.

Представлені залежності вмісту вологи від тривалості процесу сушіння при різних температурах і доведена можливість їх використання для визначення очікуваного значення вмісту вологи.

Список літератури

1. *Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України: статистичний збірник.* Київ. Державна служба статистики України. 2012. 54 с.
2. *Скрипніков Ю. Г.* Технологія переробки плодів і ягід. Київ. Агропромиздат, 1988. 286 с.
3. *Шутюк В. В., Турчин В. Ю., Василів В. П.* Вплив способів і технологій сушіння на споживчі якості сушених харчових продуктів. Природничі науки та інформаційні технології: XVI наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя, 5-6 грудня 2012 року. Том I. С. 47.
4. *Devanto B., Vi. X, Adom K.K, Liu P.* Thermal processing tomatoes. INT J FOOD SCI NUTR. P. 2002. Vol. 50. № 10. P. 3010–3014.
5. *Поморцева Т. И.* Технология хранения и переработки плодовоовощной продукции. Москва. ИРПО. 2001. 136 с.

6. Кудряшова А. А. Микробиологические основы сохранения плодов и овощей. Москва. Агропромиздат. 1986. 189 с.
7. Тарасенко Т. А. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2015. № 17. № 4. С. 148–158.
8. Снежкін Ю. Ф. Застосування акумулювання теплової енергії в системах сонячного сушіння. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2011. № 39 (2). С. 208–211.
9. Співак О. Ю., Музичук В. І., Іщенко К. О. Установка для дослідження сушіння сировини. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2012. № 2. С. 88–90.
10. Гальчак В., Коробка С. Дослідження параметрів та режимів роботи повітряно-гравійного акумулятора в конвективній геліосушарці. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: агроінженерні дослідження. 2014. № 18. С. 326–336.
11. Панасюк С. Г., Лусик О. В. Дослідження впливу температури та методів попередньої обробки сировини на процес сушіння. Сільськогосподарські машини. 2014. № 27. С. 85–89.
12. Дмитро О. Б. Аналітичне обґрунтування та моделювання технологій сушеної харчової продукції з органічної овочевої та плодово-ягідної сировини. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: механіко-технологічні системи та комплекси. 2017. Т. 33. С. 99–107.
13. Петрова Ж. О., Снежкін Ю. Ф., Самойленко К. М. Дослідження теплоти випаровування вологи з бетаніновмісної рослинної сировини в процесі зневоднення методом синхронного теплового аналізу. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2015. № 47 (2). С. 33–38.
14. Куценко С. А., Рубан О. А., Ковалевська І. В. Обґрунтування оптимального режиму сушіння маси для інкапсулювання. Український медичний альманах. 2014. № 17. № 1. С. 33–35.

References

1. *Balances and consumption of basic food products by the population of Ukraine: statistical collection.* (2012). Kyiv. State Statistics Service of Ukraine. 54.
2. Skrypnikov, Yu. G. (1988). *Technology of fruit and berry processing.* Moscow. Agropromizdat. 286.
3. Shutyyuk, V. V., Turchin, V. Yu., Vasiliev, V. P. (2012). Influence of methods and technologies of drying on consumer qualities of dried foodstuffs. *Natural sciences and information technologies: XVI scientific conference TNTU named after Ivan Puluj.* December 5-6. Tom I. 47.
4. Devanto, B., Vi X, Adom, K.K, Liu, P. (2002). Thermal processing tomatoes. *INT J FOOD SCI NUTR.* Vol. 50. No 10. 3010–3014.
5. Pomortseva, T. I. (2001). *Technology of storage and processing of fruit and vegetable production.* Moscow. IRPO. 136.
6. Kudryashova, A. A. (1986). *Microbiological bases of preservation of fruits and vegetables.* Moscow. Agropromizdat. 189.
7. Tarasenko, T. A. (2015). Theoretical study of methods of drying fruits and vegetables. *Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S. Z. Gzhytsky.* № 17. № 4. 148–158.
8. Snezhkin, Yu. F. (2011). Application of the accumulation of thermal energy in solar drying systems. *Scientific papers Odesa National Academy of Food Technologies.* № 39 (2). 208–211.

9. *Singer, O. Yu., Muzychuk, V. I., Ishchenko, K. O.* (2012). Installation for studying the kinetics of drying of raw materials. Modern technologies, materials and constructions in construction. № 2. 88–90.
10. *Galchak, V., Korotka, S.* (2014). Investigation of parameters and operating modes of air-gravel battery in convective helium dryer. Visnyk of Lviv National Agrarian University. Series: agro-engineering research. No 18. 326–336.
11. *Panasyuk, S. G., Lisik, O. V.* (2014). Investigation of the influence of temperature and methods of preliminary processing of raw materials on the drying process. Agricultural machines. № 27. 85–89.
12. *Dmitry, O. B.* (2017). Analytical substantiation and modeling of technologies of dried food products from organic vegetable and fruit and berry raw materials. Bulletin of National Technical University "KhPI". Series: mechanic-technological systems and complexes. Vol. 33. 99–107.
13. *Petrova, J. A., Snezhkin, Yu. F., Samoylenko, K. M.* (2017). Investigation of heat of evaporation of moisture from betanin-containing plant raw materials in process of dehydration by method of synchronous thermal analysis. Scientific papers Odesa National Academy of Food Technologies. № 47 (2). 33–38.
14. *Kutsenko, S. A., Ruban, O. A., Kovalevskaya, I. V.* (2014). Justification of the optimal dry massing regime for encapsulation. Ukrainian Medical Almanac. № 17. № 1. 33–35.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ФИЗАЛИСА

М. М. Муштрук

Аннотация. *Представлены результаты исследования процесса конвективной сушки физалиса при постоянной температуре на лабораторной сушильной установке, которая позволяет поддерживать постоянную температуру в рабочей зоне сушки.*

Разработан рациональный режим процесса конвективной сушки физалиса и оптимальные параметры процесса регидратирования восстановительной способности для использования сушеной продукции в приготовлении первых и вторых блюд с максимальным сохранением витаминов и питательных веществ.

Доказано, что температуры сушки положительно влияет на экономию энергоресурсов и себестоимость готового продукта, однако внешний вид сушеных физалиса лучше сохраняется при низких температурах сушки.

Установлены рациональные температуры сушки плодов физалиса, которые обеспечат восстановительную способность высушенных плодов (для кружочков) температура сушки 70 °С, (для частиц) 90 °С.

В статье показано, что с повышением температуры сушки физалиса (кружочками) клетки уменьшаются в объеме за счет высвобождения из клеточной оболочки влаги, то есть чем выше

температура, тем большее количество влаги в виде пара выходит за пределы клеток и последние обращаются в небольшой клубок.

Результаты исследований аппроксимированы в соответствующие уравнения регрессии, с помощью которых можно установить влагосодержание сырья в зависимости от температуры и продолжительности процесса для обоих периодов сушки.

Ключевые слова: *плоды физалис, конвективная сушка, восстановительная способность, температура, период сушки, влагосодержание*

EXPERIMENTAL STUDY OF PROCESS OF CONVECTIVE DRYING PHYZALIS

M. M. Mushtruk

Abstract. *The results of study of the process of convection drying of physalis at constant temperature on laboratory drying unit are presented, which allows maintaining constant temperature in the working zone of drying.*

A rational mode of the convection drying process for physalis and optimal parameters of the rehydration process for reducing the use of dried products in the preparation of first and second courses with the maximum preservation of vitamins and nutrients have been developed.

It is proved that the drying temperature positively affects the energy saving and the cost price of the finished product, however the appearance of the dried physalis is better preserved at low drying temperatures.

Established rational drying temperatures of physalis fruits, which will ensure the reducing ability of dried fruits (for circles) drying temperature 70 °C, (for particles) 90 °C.

In the article it is shown that with increasing temperature of drying physalis (circles) cells decrease in volume due to the release of moisture from the cell membrane, that is, the higher the temperature, the more moisture in the form of steam goes beyond the cells and the latter turn into a small tangle.

The results of the studies can be approximated into the corresponding regression equations by means of which the moisture content of the raw material can be determined depending on the temperature and the duration of the process for both drying periods.

Key words: *physalis, convective drying, reducing ability, temperature, drying period, moisture content*

ОРГАНІЗАЦІЯ І КЕРІВНИЦТВО ПІЗНАВАЛЬНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ

***І. О. Колосок, кандидат педагогічних наук
ORCID iD-0000-0001-5864-9855
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: kolosoc@online.ua***

Анотація. У сучасному сільськогосподарському виробництві, зокрема у рослинництві, потоковий і приймальний контроль якості виконуваних робіт проводять фахівці-агрономи. У зв'язку з цим саме на них покладається основна відповідальність за строки, ефективність та якість виконання цього завдання. Такий характер професійної діяльності вимагає від агронома ґрунтовної теоретичної і практичної підготовки в умовах вищого навчального закладу з механізації сільськогосподарського виробництва, оскільки всі сучасні технологічні операції виконуються з використанням сільськогосподарської техніки. Забезпечити ефективне використання сільськогосподарської техніки, що є першочерговим завданням для агронома, можливо за умов міцного та свідомого володіння знаннями з будови, робочого процесу, технологічних регулювань сільськогосподарських машин, умінням здійснювати їхню технологічну наладку, перевіряти якість виконання польових робіт, проектувати та організовувати виконання технологічних процесів. Саме цій меті підпорядкована практична підготовка у аграрному виші, яка забезпечує формування у майбутніх агрономів необхідних знань та професійних умінь і навичок з механізації сільськогосподарського виробництва.

Без глибокого аналізу теоретичних основ практичної підготовки і результатів досліджень психологів неможливо розробити, організувати та здійснити ефективну практичну підготовку студентів, що прокладає місток від знань до умінь їхнього практичного застосування, тобто формує професійні якості майбутніх фахівців-аграрників. Все це обумовлює необхідність удосконалення, зокрема, існуючих форм і методів навчання, розробку спеціальної методики практичної підготовки.

Саме розв'язуючи три основні завдання, які академік С. У. Гончаренко визначив так – чому навчати? як навчати? як учитись?; сучасна методика практичної підготовки повинна

© І. О. Колосок, 2018

ефективно вплинути на процес засвоєння та вдосконалення знань, формування професійних умінь і навичок майбутніх господарів землі.

Ключові слова: *лабораторні заняття, методика, навчальна практика, пізнавальна діяльність, практична підготовка, форма організації праці*

Постановка проблеми. Під час розгляду структури процесу навчання у аграрному виші встановлено, що навчання слід вважати тристороннім процесом, який складається з тісно пов'язаних між собою основних структурних елементів: викладання, учіння та об'єкт пізнання. Викладання розглядається нами як діяльність викладача, що спрямована на викладення змісту дисципліни та керування пізнавальною і практичною діяльністю студентів. Учіння – як пізнавальна і практична діяльність студентів, що спрямована на засвоєння знань, умінь і навичок у процесі сприймання об'єкта пізнання. Об'єкт пізнання для майбутніх агрономів – це складна сучасна сільськогосподарська техніка. Таким чином, навчання ми розглядаємо як організацію і керівництво викладачем пізнавальною діяльністю студентів, що спрямовується педагогом на об'єкт пізнання.

Організація і керівництво викладачем пізнавальною діяльністю студентів у процесі практичної підготовки здійснюється через застосування науково обґрунтованих форм організації праці студентів. Адже, рівень розуміння навчального матеріалу та якість засвоєння знань на лабораторних заняттях, ступінь сформованості необхідних умінь і навичок під час проведення навчальної практики обумовлені змістом практичної діяльності студентів, яку визначає, впроваджує та реалізує педагог. Саме на це вказує О.П.Кондратюк, коли зазначає, що управління процесом навчання полягає у виборі і запровадженні в практику оптимальної системи методів і форм навчальної роботи, в розробці системи контролю і керівництва процесом навчання [8].

Аналіз останніх досліджень. Вирішенню проблеми підвищення якості професійної підготовки висококваліфікованих фахівців присвячені наукові розробки таких відомих вчених як С. І. Архангельського, С. Я. Батишева, А. І. Дьоміна, Б. П. Єсіпова, С. І. Зінов'єва, О. П. Кондратюка, Г. С. Костюка, Є. О. Мілеряна, С. Л. Рубінштейна, Н. Ф. Тализіної, Д. О. Тхоржевського, С. А. Шапоринського та ін. Вирішенням актуальних питань практичної підготовки студентів у вишах займалися І. Й. Блозва, А. А. Бугерко, Д. Г. Войтюк, В. С. Гапоненко, А. А. Гуменюк, А. І. Дьомін, О. А. Дьомін, Г. І. Живолуп, В. М. Красильников, П. В. Лауш, П. Г. Лузан, І. І. Паламар, В. І. Рябець, Д. А. Сметанін, П. Н. Ярошенко, Л. О. Ярошенко та ін.

Метою досліджень є аналіз та обґрунтування форм організації праці студентів агрономічних факультетів в процесі практичної

підготовки з механізації сільськогосподарського виробництва, які сприяють активізації пізнавальної діяльності.

Результати досліджень. Під формою організації пізнавальної діяльності студентів або формою організації праці ми розуміємо структурно визначений зміст діяльності студентів, який забезпечує ефективне оволодіння знаннями, уміннями і навичками та визначається викладачем, враховуючи форму організації навчальної роботи, дидактичну мету заняття, зміст навчального матеріалу, метод навчання, місце проведення заняття та можливості навчально-матеріальної бази навчального закладу. На сучасному етапі педагогічних досліджень навчального процесу у вищих навчальних закладах вчені приділяють недостатньо уваги аналізу, розробці та впровадженню в процес практичної підготовки інноваційних форм організації праці студентів. Проте науковці, які вивчають навчальний процес загальноосвітньої школи в достатньо повному обсязі розкрили для аналізу існуючі форми організації праці учнів у системі трудового та теоретичного навчання. Враховуючи цю обставину, ми вважаємо за необхідне спочатку проаналізувати форми організації праці учнів школи, як базові для наукового дослідження з метою застосування їх в умовах вищого навчального закладу.

У системі трудового навчання загальноосвітньої школи Б. Ф. Райський виділяє чотири організаційні форми трудового навчання. Перша – фронтальні заняття у складі класу (або з половиною класу), коли всі учні виконують однакові роботи. Це можуть бути теоретичні заняття, лабораторні роботи та фізичний труд школярів. Друга форма – організація праці учнів у складі бригади або ланки. Третя форма організації трудового навчання – включення учнів під час навчально-виробничої практики до складу виробничих бригад підприємства або учнівських сільськогосподарських бригад. Четверта форма характеризується тим, що для навчання під час навчально-виробничої практики учні індивідуально закріплюються (один-два) за кваліфікованими спеціалістами, але і за такою схемою загальне керівництво залишається за вчителем [10].

У системі трудового навчання середньої школи, залежно від складу учнів, К. А. Іванович та Д. А. Епштейн розрізняють три форми роботи на уроці трудового навчання: фронтальну, ланкову та індивідуальну [11]. За фронтальною формою організації занять кожен учень виконує однакову за характером та змістом роботу у складі класу або половини класу. Ланкову форму, на думку авторів, доцільно застосовувати під час проведення тематичних практикумів, які організуються після того, як учні протягом декількох уроків вивчать за темою навчальної програми основні теоретичні питання та оволодіють початковими практичними уміннями. Ланкова та

індивідуальна форми організації занять можуть бути застосовані і під час проведення таких типів уроків, як урок, на якому формуються переважно теоретичні знання; урок, на якому формуються переважно практичні уміння і навички; уроки-екскурсії. Виробнича практика учнів організується, як правило, за бригадною, ланковою і індивідуальною формами, підсумовують вчені.

Слід відзначити вагомий внесок Д. О. Тхоржевського у розробку системи організаційних форм трудового навчання. За класифікацією вченого, система організаційних форм складається з трьох основних елементів: організаційні форми навчальної роботи, організаційні форми праці учнів, форми організації навчання.

На думку Д. О. Тхоржевського, до форм організації праці (занять) учнів належать фронтальна (групова), ланкова (бригадна) та індивідуальна форми. За фронтальною (груповою) – всі учні одного класу (групи) виконують однакову роботу; за ланковою (бригадною) – учні поділяються на ланки (бригади), кожна з яких має своє завдання (причому учні однієї ланки можуть виконувати однакову або неоднакову роботу); при індивідуальній формі організації праці учні дістають індивідуальні завдання [12], [13]. На практиці, констатує вчений, можна зустріти сполучення ланкової (бригадної) та індивідуальної форми організації праці учнів.

У навчальному посібнику за редакцією М. О. Данілова та М. М. Скаткіна “Дидактика средней школы” зазначено, що на уроках використовують такі види організації роботи: колективні, індивідуальні, групові або специфічні (групи, ланки, бригади, пари, трійки і т. д.). Групові (або специфічні) є проміжними, що поєднують колективні та індивідуальні види організації роботи. Колективна робота розглядається вченими як мобілізація сил учнів на досягнення єдиної мети загальними для всього класу методами і темпами. За таким визначенням, колективна діяльність кваліфікується авторами двома вимогами: наявністю мети і рухом для досягнення її загальними для класу методами і темпами. Проте, зазначають вчені, виділяється інший аспект колективної діяльності учнів на уроці – це індивідуальні особливості кожного члена колективу, коли діяльність спрямовується різними умовами, що залежать від розуміння учнями пізнавальних задач, які перед ними стоять, та від можливостей і бажання їх розв’язати. Тому, у зв’язку з тим, що розуміння, можливості і бажання в учнів одного класу неоднакові, всі вони будуть здійснювати різні дії та отримують неоднакові результати, хоча їх об’єднує одна мета та шлях її досягнення, і виникла необхідність поєднання колективних видів роботи з груповими та індивідуальними [4].

А. І. Дьомін та В. З. Моцак виділяють п’ять форм практичної роботи учнів сільських шкіл в процесі виробничого навчання: групову, групово-індивідуальну, ланково-індивідуальну, ланкову,

індивідуальну [5]. Зміст групової форми полягає в такому. В день практичних комплексних робіт вчитель виводить групу учнів на ділянку учнівської бригади і інструктує їх, як треба культивувати площу перед посівом кукурудзи. Потім один учень сідає на трактор і працює у загоні, а решта цей час розмічає поворотні смуги, визначають якість культивації і потім по черзі працюють на тракторі. Ця форма проведення практичних комплексних робіт, на думку авторів, дає змогу фронтально ознайомити учнів з підготовкою агрегата і поля до тієї чи іншої роботи, з особливостями виконання самої роботи і контролюванням її якості. У цьому полягає ефективність групової форми роботи.

Групово-індивідуальна форма організації виконання комплексних робіт, зазначають автори, поширена у тих школах, де є навчально-дослідні господарства учнівської виробничої бригади. Вчені наводять приклад застосування цієї форми організації праці під час виконання учнями комплексної роботи на передпосівній культивації. Як зазначають автори, після групового заняття, яке тривало півтори години, учні набули відповідних практичних умінь готувати тракторний агрегат для культивації, поле для роботи, починати перший загін та ознайомились із способами перевірки якості роботи. І вже після групового заняття учні досить ефективно продовжували практичне навчання в індивідуальному порядку. Отже, групово-індивідуальна форма організації виконання комплексних робіт, на думку вчених, дає змогу ефективно використати навчальний час, охопити всіх учнів активною навчальною роботою і включити їх у продуктивну працю на виробництві.

Ланково-індивідуальна форма організації виконання комплексних робіт здебільшого застосовується там, де є навчально-дослідні господарства в учнівських виробничих бригадах, вказують автори. За такою формою група або клас учнів розподіляється на ланки, кожна з яких виконує своє навчальне і виробниче завдання. Учні окремих ланок у цей час можуть працювати індивідуально. Автори наводять приклад організації праці учнів за ланково-індивідуальною формою під час комплексної роботи з посіву кукурудзи. Учитель розділив групу учнів на дві ланки. У перший день практичних занять одна ланка була направлена у тракторну бригаду колгоспу, де учні працювали індивідуально на тракторних агрегатах, користуючись технологічними картками, а друга ланка працювала із вчителем на майданчику біля школи. За такою формою організації праці, вказують автори, учні мали можливість докладно ознайомитися з порядком регулювання сівалки, підготовкою тракторного агрегата і поля до роботи, навчилися перевіряти якість посіву і усувати найтипівіші порушення технології посіву кукурудзи, адже таких

практичних знань і умінь учням важко набути під час роботи на тракторних агрегатах колгоспу (радгоспу), бо там під час польових робіт немає змоги затримувати ці агрегати з навчальною метою.

За даними вчених, ланкова форма організації виконання комплексних робіт використовується здебільшого в школах, де є навчально-дослідне господарство учнівської виробничої бригади і шкільні трактори. Так, у школі кожен клас було розділено на ланки, за якими закріплені певні ділянки сільськогосподарських культур. Кожна ланка в дні трудового навчання готувала свої поля до посіву, брала участь у посіві закріплених за нею культур, закладаючи намічені досліди. Під час практичних комплексних робіт у полі учні ланки по черзі керували тракторним агрегатом, що виконував сільськогосподарські роботи на їхній ділянці.

Індивідуальна форма виконання комплексних робіт, за даними авторів, застосовується, головним чином, у тих школах, де немає навчально-дослідного господарства в учнівській виробничій бригаді. Особливість цієї форми полягає в тому, що учні на практичних заняттях виконують весь комплекс певних робіт індивідуально, працюючи по одному з трактористами-інструкторами на тракторних агрегатах базового господарства.

Аналізуючи наведені форми організації праці учнів школи в процесі теоретичного та трудового навчання, ми повинні зазначити, що вчені під час розгляду організаційного аспекту навчального процесу не дотримуються єдиного підходу щодо визначення основних структурних елементів, з яких складається система організаційних форм. Так, маючи на увазі форми організації праці учнів, що розкривають зміст їх діяльності, вчені називають цей елемент системи організаційних форм так: форма роботи з учнями; форма організації занять; види організації роботи учнів.

На нашу думку, найбільш вдала класифікація організаційних форм навчання, що наведена Д. О. Тхоржевським, є базовою для застосування і удосконалення в сучасних умовах.

Другий висновок, який ми можемо зробити такий. Серед форм організації праці фронтальної, бригадної (ланкової) і індивідуальної, саме індивідуальна форма розглядається вченими в процесі її застосування по-різному. Так, М. О. Данілов та М. М. Скаткін вважають, що застосування індивідуальної форми праці під час навчання обумовлюється індивідуальними особливостями кожного члена учнівського колективу (потреби, мотиви діяльності). А. І. Дьомін та В. З. Моцак вважають, що застосування індивідуальної форми праці обумовлено, в першу чергу, можливостями навчального закладу щодо організації практичної роботи та мети діяльності учнів.

Розглянемо ті форми організації праці, які застосовуються під час проведення практичної підготовки у технікумах та вищих навчальних закладах.

К. А. Іванович відзначає, що висока якість та успішне проведення лабораторно-практичних занять у сільськогосподарських технікумах залежать від методичної підготовки і ініціативи викладача, від обладнання лабораторій, кабінетів, майстерень та інших навчально-допоміжних установ; від виконання викладачем основних дидактичних вимог правильної організації проведення лабораторно-практичних занять. На думку вченого, правильною буде така організація лабораторної роботи, коли кожен студент самостійно, від початку до кінця виконує завдання (вправу, дослід, завдання, дослідження і т. п.) [7].

Якщо всі студенти одночасно виконують завдання, тоді така організація лабораторних занять називається фронтальною, вказує автор. Якщо кількість навчального обладнання недостатня, викладач організує роботу студентів на виконання ряду завдань, які пов'язані між собою та належать до певного розділу навчальної програми. У визначеному викладачем порядку студенти після виконання своїх завдань міняються в лабораторії робочими місцями. Для виконання складних завдань або вправ (вправи на складних машинах, складання машин і т.п.), або, якщо немає можливості забезпечити кожного індивідуальним завданням, викладач організує студентів у бригади.

Слід відзначити слушну думку вченого про таку організацію лабораторної роботи, коли кожен студент виконує індивідуальне завдання. Це дає можливість кожному студенту самостійно і свідомо опрацювати навчальне завдання, міцно засвоїти певні знання та виробити необхідні пізнавальні і практичні уміння та навички. Проте, на нашу думку, потребують уточнення форми організації праці студентів на практичних заняттях. Так, першою формою організації праці, коли всі одночасно виконують завдання, може бути фронтальна. У тому випадку, коли всі студенти виконують окремі завдання, які пов'язані між собою та належать до певного розділу навчальної програми, форма організації їхньої праці визначається нами як індивідуально-циклова. В тому випадку, коли студенти об'єднані в бригади та кожен має індивідуальне завдання для виконання у складі бригади, вона є бригадно-індивідуальною формою організації праці.

П. Н. Ярошенко та Л. О. Ярошенко виділяють два методи проведення лабораторно-практичних занять: фронтальний і комплексний (або лабораторний практикум) [14]. За фронтальним методом проведення занять вся навчальна група на 6–7 робочих місцях виконує одну й ту ж лабораторну роботу. При цьому методі лабораторно-практичні заняття проводяться зразу після вивчення певної теми на теоретичних заняттях. Незважаючи на переваги

фронтального методу, практичне застосування його пов'язано із значними труднощами. Перш за все, цей метод потребує значної кількості однотипних машин і пристроїв, а також великих приміщень, вказують вчені.

При комплексному методі лабораторно-практичні заняття проводяться після вивчення кількох тем або груп машин, які входять до певного розділу навчальної програми (наприклад, плуги, борони, культиватори тощо). Лабораторно-практичні роботи студенти виконують за певним графіком одночасно на кількох групах машин, що дозволяє збільшити кількість робочих місць. При цьому методі лабораторно-практичні заняття, як правило, відстають за часом від вивчення теоретичного матеріалу.

Методи проведення лабораторно-практичних занять, на які вказують П. Н. Ярошенко та Л. О. Ярошенко, на нашу думку, розкривають лише порядок виконання студентами технікуму лабораторно-практичних робіт. Хоча під час детального аналізу цих методів вчені частково розкривають і форми організації їхньої праці. Так, фронтальний метод проведення занять передбачає поділ групи на бригади для виконання практичних завдань за єдиною тематикою. А це означає, що форма організації праці буде фронтально-бригадною. При комплексному методі проведення лабораторно-практичних занять форма організації праці студентів буде бригадною, ланковою чи бригадно-індивідуальною.

С. І. Архангельський зазначає, що під час проведення лабораторних робіт, на заняттях використовуються такі методи: фронтальний, коли всі студенти виконують однотипні роботи; циклічний, коли в групі одночасно проводяться різні роботи визначеного циклу в усілякій послідовності; індивідуальний, коли кожний студент виконує визначений вид роботи за спеціальним розкладом [1]. Ми вважаємо, що наведені методи розкривають порядок організації виконання студентами лабораторних робіт у межах однієї дисципліни та не вказують на форми організації праці студентів.

Так, фронтальний метод передбачає виконання всіма студентами групи чи підгрупи практичних завдань за загальною для усіх темою лабораторної роботи, проте організація праці студентів за цим методом можлива і за індивідуальною, і за бригадною формами. Циклічний метод передбачає організацію виконання студентами однієї групи на одному занятті лабораторних робіт різної тематики, коли існує вірогідність невідповідності теми лабораторної роботи, яку виконують студенти, темі лекції. І в даному випадку можливі як бригадна, так і індивідуальна форми організації праці студентів у процесі виконання цих робіт або комбіновані форми.

На форми організації праці студентів вчений вказує окремо, коли зазначає, що лабораторні роботи потрібно організовувати з групою у 12–15 осіб, при цьому рекомендується, щоб на одному робочому місці працювало не більше 3–4 студентів і всі вони були одночасно зайняті виконанням завдання. Деякі завдання потребують індивідуального виконання. Таким чином, вчений наводить дві форми організації праці студентів під час виконання лабораторних робіт, а саме – індивідуальну та бригадну форми.

С. І. Зінов'єв під час розгляду організаційного аспекту лабораторних занять вказує, що форми організації цих занять залежать, в першу чергу, від кількості студентів, змісту і об'єму програмного матеріалу, кількості лабораторних робіт, а також від розміру лабораторних приміщень та наявності обладнання [6].

Вчений зазначає, що майже у кожному вищому навчальному закладі на тих чи інших кафедрах прийнята форма фронтальних занять, коли всі студенти одночасно виконують одну й ту ж роботу, до того ж лабораторні заняття точно йдуть за лекціями, які містять необхідний науково-теоретичний матеріал. Але для того, щоб здійснювати фронтальні заняття в лабораторії, кафедри повинні мати значну кількість однакових універсальних стендів з відповідною кількістю обладнання, що дублюється за кількістю студентів, які одночасно навчаються в лабораторії або за кількістю невеликих підгруп по 2–3 особи у кожній. За даними вченого, кафедри користуються також цикловою, індивідуальною або змішаними формами організації лабораторних занять.

Під цикловою формою розуміється така організація лабораторних занять, коли роботи поділяються на декілька циклів, які відповідають певним розділам лекційного курсу, коли студенти на кожному занятті виконують лабораторні роботи за графіком. За індивідуальною формою організації лабораторних занять кожний студент, як правило, виконує всі намічені програмою лабораторні роботи, коли одночасно студенти працюють над різними темами, черговість виконання яких, як і за цикловою системою, передбачена графіком. Змішана (або комбінована) система організації лабораторних занять дозволяє скористатися будь-якими або навіть усіма формами з урахуванням особливостей тематики лабораторних робіт, зазначає вчений.

Наведені вченим форми організації лабораторних занять дещо схожі з тими методами, які наводить С. І. Архангельський, але, на нашу думку, класифікація С. І. Зінов'єва найбільш точно і в повному обсязі характеризує їх організаційний аспект. Проте форми організації праці студентів під час виконання ними лабораторних робіт майже не розкриті. Так, під час аналізу фронтальної форми організації занять

вчений вказує на те, що кількість однакових універсальних стендів у лабораторії має відповідати кількості одночасно зайнятих виконанням цієї роботи студентів або кількості підгруп по 2–3 особи у кожній. А це означає, що форма організації праці студентів може бути фронтальна або бригадна. Аналіз вченим циклової форми не дає нам відповіді про форми організації праці студентів. Індивідуальна ж форма організації лабораторних занять передбачає виконання кожним студентом лабораторної роботи за індивідуальним графіком, тобто одночасно на занятті студенти працюють над різними темами. А це вже буде індивідуальна форма організації праці студентів.

Вчений зазначає, що кожний студент повинен мати своє робоче місце в лабораторії і обслуговувати його повністю, виконуючи при цьому комплекс високих культурно-технічних вимог, які характерні для сучасної лабораторії. Таким чином, вчений висловлює свою думку про те, що найбільш доцільною, в педагогічному плані, є індивідуальна форма організації праці студентів під час виконання ними лабораторних робіт.

А. Д. Бондар та Л. А. Ранська вказують на те, що у практиці роботи вищих навчальних закладів існують такі методи проведення лабораторних і практичних робіт – фронтальний, метод практикуму і метод проведення робіт циклами. Фронтальні роботи організуються в тих випадках, коли вищий навчальний заклад має достатньо обладнані лабораторії, необхідну кількість приладів, апаратури і установок для одночасного проведення однотипних робіт всіма студентами групи, зазначають автори. Проте цей метод при всіх позитивних моментах його проведення має і недоліки, головний із них полягає в тому, що він не забезпечує достатньої самостійності роботи студентів. При цьому методі, вказують автори, деяка частина студентів працює не зовсім активно [2].

Отже, фронтальний метод проведення лабораторних і практичних занять передбачає фронтальну форму організації праці студентів. Проте метод практикуму, коли студенти виконують різні роботи з усього курсу (або його розділу), і метод проведення робіт циклами, суть якого полягає в тому, що всі роботи розбиті на цикли і виконуються одночасно всіма студентами, не дають нам можливості встановити, які ж саме форми організації праці студентів застосовуються під час їхньої організації і проведення. Ці методи відрізняються один від одного тільки часом виконання студентами лабораторної або практичної роботи протягом вивчення певної дисципліни.

Про форми організації праці студентів на лабораторних і практичних заняттях вчені зазначають окремо, не розглядаючи їх у контексті з методами проведення цих занять. А. Д. Бондар та

Л. А. Ранська зазначають, що лабораторні і практичні роботи можуть виконуватись студентами індивідуально або колективно, тобто бригадою в дві-три особи. За даними вчених, найбільш поширеною є організація виконання робіт бригадою студентів, хоча бригадна форма має суттєвий недолік. Цей недолік вчені бачать у нерівнозначній участі студентів у виконанні поставлених завдань, коли один із студентів бригади бере більш активну участь у виконанні завдань, а решта спостерігає або бере пасивну участь.

Слід відзначити слушну думку авторів про доцільність застосування індивідуального методу виконання лабораторних і практичних робіт при фронтальній їх постановці. А це означає, що вчені пропонують застосовувати фронтально-індивідуальну форму організації праці студентів на лабораторних і практичних заняттях.

Аналіз наведених форм організації праці студентів та методи проведення лабораторних і практичних занять, що обумовлюють застосування відповідних форм організації праці, дає підстави зробити такий висновок. Ті види практичних занять, які наводять відомі вчені, а саме лабораторні і практичні роботи, організовуються для вивчення тих предметів, які не вимагають складного, часто змінного на кожному занятті обладнання (хімія, електротехніка, біологія тощо). Сільськогосподарська ж техніка, яка вивчається майбутніми агрономами, має характерну специфіку, що обумовлює відповідний вплив на організацію пізнавальної діяльності студентів.

Так, студенти агрономічних факультетів пізнають сучасну сільськогосподарську техніку через вивчення її конструкції і будови на лабораторних заняттях та під час виконання ними комплексу завдань з підготовки машинно-тракторних агрегатів до виконання польових робіт у період проведення навчальної практики. Лабораторні ж або практичні заняття, що організуються у вищому навчальному закладі для вивчення, наприклад, хімії чи біології, дають можливість майбутньому агроному оволодіти знаннями про об'єкт пізнання через встановлення властивостей цього об'єкта шляхом лабораторного експерименту, де значне місце займає ручна робота. Таким чином, процес оволодіння знаннями про складну сучасну сільськогосподарську техніку вимагає інших підходів щодо організації праці студентів, які б найбільш точно відповідали об'єкту, що вивчається.

П. В. Лауш наводить три форми організації праці студентів під час практичного навчання, хоча називає їх формами уроків практичного навчання [9]. Перша – це фронтальна форма, яка характеризується тим, вказує автор, що студенти групи одночасно виконують однотипні операції (вправи), виробничі роботи, використовуючи з цією метою однакову оснастку, інструмент, машини

і агрегати, методичну й технологічну документацію. Вона ефективна при навчанні студентів роботи на машинно-тракторних агрегатах у колективних сільськогосподарських підприємствах у період сезонних робіт (сівба зернових, міжрядний обробіток тощо), де одночасно працює 12–13 однотипних агрегатів (на одному агрегаті працюють 2 студенти при наявності 25–26 чоловік у групі), вказує вчений.

Друга форма – індивідуальна, яка найбільш раціонально і продуктивно використовує час, відведений на відпрацювання вправ. Ця форма, на думку автора, успішно застосовується під час індивідуального навчання студентів керуванню тракторами, комбайнами і автомобілями, а також роботі на машинно-тракторних агрегатах.

Третя форма – ланкова. За цією формою організації праці групи у 25–30 осіб поділяють на 6–8 ланок, кожна з яких направляється на спеціалізовані ділянки для виконання навчально-виробничих вправ протягом часу, відведеного програмою, після закінчення якого ланки переміщуються по ділянках, зазначає автор. На спеціалізованих робочих місцях ділянки студенти індивідуально виконують навчально-виробничі роботи, після завершення яких переходять на інші робочі місця.

До недоліків фронтальної форми, на думку П. В. Лауша, належать: потреба значних площ, великої кількості однотипних робочих місць, машин, агрегатів, оснастки та інструментів; низький коефіцієнт використання засобів виробництва (робочих місць) та потреба частої їх заміни (перед кожною новою темою). Індивідуальна форма організації праці студентів має такі недоліки: витрата значної кількості паливо-мастильних матеріалів; потреба досить значної кількості годин для відпрацювання одних і тих же вправ (тем), а значить, і великого штату майстрів, підсумовує вчений.

Форми організації праці студентів, які наводить П. В. Лауш, застосовуються для організації практичної підготовки молодших спеціалістів з механізації сільського господарства. Метою цієї підготовки є набуття студентами професійних умінь та навичок з обслуговування та керування машинно-тракторними агрегатами. А це означає, що об'єкти вивчення майже схожі з тими, якими повинні оволодіти майбутні агрономи, але потрібно враховувати таку суттєву особливість. Майбутні агрономи проходять підготовку за освітньо-кваліфікаційним рівнем “бакалавр”, де зміст необхідних для майбутньої професійної діяльності знань, умінь і навичок має іншу структуру та відповідний напрямок застосування. Тому і вивчення цих об'єктів повинно відбуватись в інших організаційних умовах, за інших форм організації праці студентів.

М. М. Волошин зазначає, що в межах різноманітних організаційних форм навчання викладач забезпечує активну пізнавальну діяльність студентів, використовуючи фронтальну,

групову та індивідуальну роботу [3]. Фронтальна форма організації навчальної діяльності, за даними автора, передбачає спільну, сумісну діяльність всієї групи, курсу: викладач для всіх викладає навчальний матеріал, ставить однакові завдання, а студенти вирішують одну проблему, засвоюють спільну тему. При використанні групової роботи навчальна група, курс, розподіляються на декілька колективів (бригад або ланок), які виконують однакові або різні завдання. Кількість студентів у групі залежить від дисципліни та поставлених завдань, але частіше середня чисельність – 3–5 студентів. Групова робота студентів може використовуватися для різноманітних цілей: розв'язку задач та вправ, виконання лабораторних та практичних робіт, для вивчення нового матеріалу. При індивідуальній роботі кожний студент одержує своє завдання, яке він виконує незалежно від інших. Тому індивідуальна форма організації пізнавальної діяльності передбачає високий рівень активності та самостійності студентів. Індивідуальні форми найбільш доцільні при виконанні різних вправ, задач, зазначає вчений.

Висновок. Враховуючи можливості навчально-матеріальної бази вищого навчального закладу, метод навчання, зміст навчального матеріалу, дидактичну мету заняття та місце його проведення, ми вважаємо доцільним під час проведення лабораторних занять застосовувати фронтально-індивідуальну форму організації праці студентів, а в процесі проведення навчальної практики бригадно-індивідуальну форму.

Список літератури

1. *Архангельский С. И.* Лекции по теории обучения в высшей школе. Москва. Высшая школа. 1974. 384 с.
2. *Бондар А. Д., Ранська Л. А.* Лабораторні і практичні роботи у вищій школі. Київ. Вища школа. 1977. 80 с.
3. *Волошин М. М.* Основи теорії та методики навчання технічних дисциплін у вищому закладі освіти аграрно-технічного профілю: монографія. За редакції Дьоміна А. І., Самокиша М. І. Кам'янець-Подільський. Абетка-Нова. 2002. 336 с.
4. *Дидактика средней школы. Некоторые проблемы соврем. дидактики: учебное пособие.* Под ред. М. А. Данилова и М. Н. Скаткина. Москва. Просвещение. 1975. 303 с.
5. *Дьомін А. І., Моцак В. З.* Навчально-практичні роботи в учнівській виробничій бригаді. Київ. Радянська школа. 1976. 103 с.
6. *Зиновьев С. И.* Учебный процесс в советской высшей школе. Москва. Высшая школа. 1975. 316 с.
7. *Иванович К. А.* Основы обучения и воспитания в сельскохозяйственных техникумах. Москва. 1958. 328 с.
8. *Кондратюк О. П.* Психолого-педагогічні основи управління навчальним процесом у вищій школі. Київ. Знання. 1975. 24 с.
9. *Лауш П. В., Кухаренко В. С., Орищенко С. Б.* Організація практичного навчання. За редакції П. В. Лауша. Київ. Урожай, 1996. 192 с.
10. *Райский Б. Ф.* Трудовое политехническое обучение. Основы дидактики. Под редакцией Б. П. Есипова. Москва. Просвещение. 1967. С. 394–430.

11. *Трудовое политехническое обучение в средней школе.* Под редакцией К. А. Ивановича и Д. А. Эпштейна. Москва. Педагогика. 1972. 240 с.
12. *Тхоржевський Д. О.* Дидактика трудового навчання. Київ. Радянська школа. 1972. 224 с.
13. *Тхоржевський Д. О.* Система трудового навчання. Київ. Радянська школа. 1975. 200 с.
14. *Ярошенко П. Н., Ярошенко Л. О.* Лабораторно-практичні заняття з сільськогосподарських машин: навчальний посібник. Київ. Урожай. 1968. 260 с.

References

1. *Arkhangelsk, P. S.* (1974). Lectures on theory of education in high school. Moscow. High school. 384.
2. *Cooper, A. D., Ranska, L. A.* (1977). Laboratory and practical work in high school. Kiev. High school. 80.
3. *Voloshin, M. M.* (2002). Fundamentals of theory and methods of teaching technical subjects at higher education institution of agrarian-technical profile: monograph. Edited by Demin A. I., Samokish N. I. Kamenetz-Podolsk. Abetka-Nova. 336.
4. *Didactics of high school. Some of problems lie. didactics: textbook.* (1975). Edited by M. A. Danilov and M. N. Skadina. Moscow. Education. 303.
5. *Demin, A. I., Motsak V. Z.* (1976). Training and practical work in student production team. Kiev. Soviet school. 103.
6. *Zinovyev S. S.* (1975). The educational process in Soviet higher school. Moscow. High school. 316.
7. *Ivanovich, K. A.* (1958). Foundations of teaching and education in agricultural colleges. Moscow. 328.
8. *Kondratyuk, E. P.* (1975). Psychological and pedagogical bases of educational process management in higher education. Kiev. Knowledge. 24.
9. *Laush, P. V., Kuharenko, V. S., Orishenko, S. B.* (1996). Organization of practical training. For the wording of Laush P. V. Kiev. Harvest, 192.
10. *Rayskih, B. F.* (1967). Labor Polytechnic training. The basics of didactics. Edited by B. P. Yesipova. Moscow. Education. 394–430.
11. *Labor polytechnic training in high school.* (1972). Edited Ivanovich K. A. and Epshtein D. A. Moscow. Pedagogy. 240.
12. *Tkhorzhevskiy, D. A.* (1972). Didactics of vocational education. Kiev. Soviet School. 224.
13. *Tkhorzhevskiy, D. A.* (1975). System of labour training. Kiev. Soviet school. 200.
14. *Yaroshenko, P. N., Yaroshenko, L. O.* (1968). Laboratory and practical classes on agricultural machines: textbook. Kiev. Harvest. 260.

ОРГАНИЗАЦИЯ И РУКОВОДСТВО ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ

И. А. Колосок

Аннотация. Следует отметить, что в современном сельскохозяйственном производстве, в частности в растениеводстве, поточный и приемочный контроль качества выполняемых работ проводят специалисты-агрономы. В связи с этим именно на них возлагается основная ответственность за сроки, эффективность и качество выполнения этой задачи. Такой

характер профессиональной деятельности требует от агронома основательной теоретической и практической подготовки в условиях высшего учебного заведения по механизации сельскохозяйственного производства, поскольку все современные технологические операции выполняются с использованием сельскохозяйственной техники. Обеспечить эффективное использование сельскохозяйственной техники, что является первоочередной задачей для агронома, возможно в условиях прочного и сознательного владения знаниями по устройству, рабочему процессу, технологических регулировок сельскохозяйственных машин, умением осуществлять их технологическую наладку, проверять качество выполнения полевых работ, проектировать и организовывать выполнение технологических процессов. Именно этой цели подчинена практическая подготовка в аграрном вузе, которая обеспечивает формирование у будущих агрономов необходимых знаний и профессиональных умений и навыков по механизации сельскохозяйственного производства.

Без глубокого анализа теоретических основ практической подготовки и результатов исследований психологов невозможно разработать, организовать и осуществить эффективную практическую подготовку студентов, которая прокладывает мостик от знаний к умениям их практического применения, то есть формирует профессиональные качества будущих специалистов-аграрников. Все это обуславливает необходимость совершенствования, в частности, существующих форм и методов обучения, разработку специальной методики практической подготовки.

Именно решая три основные задачи, которые академик С. У. Гончаренко определил так – чему учить? как учить? как учиться?, современная методика практической подготовки должна эффективно повлиять на процесс усвоения и совершенствования знаний, формирования профессиональных умений и навыков будущих хозяев земли.

Ключевые слова: лабораторные занятия, методика, познавательная деятельность, практическая подготовка, форма организации труда, учебная практика

ORGANIZATION AND GUIDELINES OF STUDENTS REPRESENTATIVE ACTIVITIES IN PRACTICAL TRAINING PROCESS

I. O. Kolosok

Abstract. It should be noted that in modern agricultural production, particularly in plant growing, expert and agronomists conduct in-line and

acceptance inspection of the quality of the works performed. In this regard, it is they who are primarily responsible for the timing, efficiency and quality of this task. Such a nature of professional activity requires the agronomist to have a thorough theoretical and practical training in the conditions of a higher educational institution for the mechanization of agricultural production, since all modern technological operations are performed using agricultural machinery. To ensure the effective use of agricultural machinery, which is a priority for the agronomist, it is possible, in conditions of strong and conscious knowledge of the device, the working process, technological adjustments of agricultural machines, the ability to carry out their technological adjustment, check the quality of fieldwork, design and organize the execution of technological processes . It is this goal that is subordinated to practical training in an agrarian institution that ensures the formation of the necessary knowledge and professional skills for the mechanization of agricultural production in future agronomists.

Without a thorough analysis of the theoretical foundations of practical training and the results of research by psychologists, it is impossible to develop, organize and implement effective practical training of students, which paves the bridge from knowledge to the skills of their practical application, that is, it forms the professional qualities of future agricultural specialists. All this makes it necessary to improve, in particular, the existing forms and methods of teaching, the development of a special methodology for practical training.

It is by solving the three main tasks that Academician S. U. Goncharenko defined as follows – what to teach? how to teach? how to learn?, modern methods of practical training should effectively influence the process of mastering and improving knowledge, the formation of professional skills and skills of future land owners.

Key words: cognitive activity, form of work organization, laboratory studies, methodology, practical training, training practice

АНАЛІЗ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ СТАЛОМУ І НЕСТАЛОМУ РЕЖИМАХ РОБОТИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

**О. В. Надточій, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-2876-3021**

**Л. Л. Тітова, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-7313-1253**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: titovall@ukr.net**

Анотація. В статті визначено повні сумарні втрати на обслуговування груп комбайнів з пропускною здатністю молотарки більше 9 кг/с і різним сезонним навантаженням. Встановлено, що мінімум витрат припадає на наробіток близько 800 га на один комбайн за сезон. Оптимальна ж кількість ланок технічного обслуговування для малих (150 га) і великих (>900 га) наробітків на зернозбиральний комбайн зростає більш ніж в два рази, порівняно для всіх кількостей ЗК в групах.

Аналіз і порівняння характеристик СМО для сталого і несталого режимів роботи показав що взаємний перехід для групи ЗК триває від 4 годин (20 комбайнів) і до 8 годин (1-5 комбайнів). Врахування моделі СМО і запропонованого методу дасть змогу отримати точніше характеристики СМО: час очікування в черзі, довжину черги, тощо. Величина повних сумарних витрат на 1 годині роботи в порівнянні із сталим режимом відрізняється за величиною майже в 5 раз.

Ключові слова: оптимізація, система масового обслуговування, зернозбиральний комбайн, періодичність, технічного обслуговування

Постановка проблеми. Відомо, що щорічні втрати зерна від несвоєчасного збирання для господарств України за різними оцінками, сягають більше 10% зібраного урожаю [1]. Це при сучасних урожайностях складає майже 7 млн тонн [2]. Зниження втрат зерна напямую залежить від високого рівня матеріально-технічного забезпечення та правильної організації роботи служби сервісу. Слід також враховувати, що низька платоспроможність сільськогосподарських підприємств та незначні обсяги інвестицій

© О. В. Надточій, Л. Л. Тітова, 2018

унеможливила вчасно проводити переоснащення матеріально-технічної бази [3]. Це призвело до старіння парку. Значно збільшилися витрати грошових коштів на технічне обслуговування і ремонт комбайнів, особливо в дрібних господарствах, в тому числі і фермерських [4]. Тому оптимізація складу служби технічного сервісу зернозбиральних комбайнів при різному їх річному навантаженні і кількості в збиральному загоні є на сьогодні одним з актуальних завдань [5].

Мета досліджень – уточнення моделі оптимізації складу служби технічного сервісу зернозбиральних комбайнів на основі теорії масового обслуговування для неустановленого режиму і в залежності від сезонного навантаження на комбайн.

Аналіз останніх досліджень. Для аналізу використовувалися дані, отримані за результатами збору, математичного обробітку статистичної інформації та математичного моделювання [1, 2].

Українські фермери на сьогодні практично не мають ремонтно-обслуговуючої бази [6]. Так, за даними НААН оснащеність ремонтно-технологічним обладнанням селянських (фермерських) господарств складає всього лише 15...25%. Машинозабезпеченість селянських господарств іноді перевищує відповідні нормативи для великих господарств в середньому 3,2 рази [7]. Проте, незважаючи на це, в них виконується не більше 30% польових механізованих робіт в оптимальні агротехнічні терміни [8]. Мова йде про збиральні роботи. Пояснюється це вкрай слабкою ремонтно-обслуговуючою базою. І результат не заставляє себе довго очікувати [9, 10]. Терміни жнив розтягуються на місяць, а сезонний наробіток коливається в межах від 150 до 1000 га на комбайн [7].

Результати досліджень. Найбільш ефективно відмови та відновлення працездатності ЗК під час проведення збиральних робіт можна описати теорії масового обслуговування [1]. При цьому процеси, які протікають в системі можна мають вигляд (рис. 1). Випадковий характер потоку заявок призводить до того, що в СМО відбувається якийсь випадковий процес. Якщо випадковий процес Марківський, то функціонування СМО можна описати системою диференціальних рівнянь, а в граничному випадку – системою лінійних алгебраїчних рівнянь, рішенням яких визначаються характеристики роботи СМО. В статті [1] автори і розглядають саме граничний стан системи, коли потік замовлень установлений і незмінний. Проте це явище скоріш «штучне» для спрощення математичної моделі розрахунків. В реальних умовах роботі збиральних загонів притаманні несталі режими роботи системи масового обслуговування (СМО) [8]. Тобто такі режими, які залежать від часу. При цьому СМО матиме імовірнісні характеристики, що

залежать від часу, наприклад, протягом деякого його інтервалу. Тоді інтенсивності вхідних і вихідних потоків для кожного стану будуть збалансовані, але вже з урахуванням похідних ймовірностей. Саме таку систему і пропонується розглянути в даній статті.

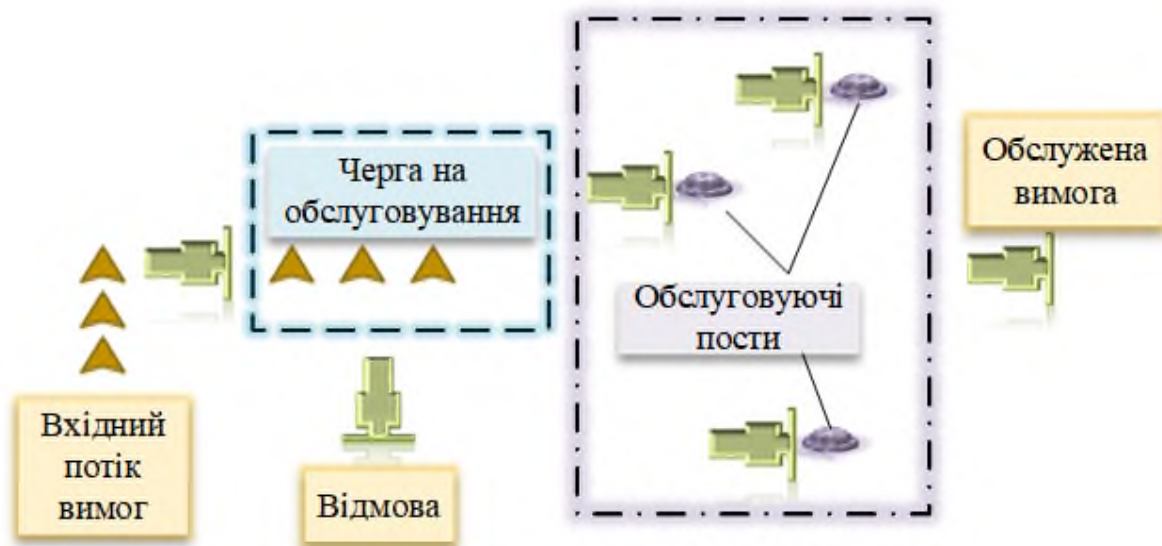


Рис. 1. Система масового обслуговування (СМО).

У системах масового обслуговування потік вимог є випадковим. Випадково і час обслуговування. Робота СМО протікає нерегулярно; то утвориться черга на обслуговування, то відбувається простоювання постів обслуговування. Завданням теорії масового обслуговування – встановити оптимальну (з мінімальними простоями) залежність між характером потоку вимог, числом постів та їх продуктивністю (часом обслуговування), правилами роботи системи обслуговування.

Найбільш часто в якості критеріїв – показників ефективності роботи систем масового обслуговування – використовуються показники середнього часу очікування вимоги початку обслуговування; середнього розміру черги на обслуговування; ймовірності того, що в системі обслуговування перебуватиме певна кількість вимог; середнє число постів, зайнятих або вільних від обслуговування, і ряд інших. Однак найбільш доцільно використовувати економічні показники оцінки ефективності функціонування систем масового обслуговування, які дають узагальнену характеристику виробничого процесу. У цьому випадку в якості критерію ефективності функціонування СМО вибираються загальні грошові витрати, пов'язані з простоями комбайнів в очікуванні обслуговування, і витрати на створення та експлуатацію постів (обслуговуючих ланок) [4, 6]. З метою виявлення найбільш ефективної системи технічного обслуговування виконані розрахунки

сумарних витрат на ТО зернозбиральних комбайнів. При цьому розглядалися варіанти різної інтенсивності використання зернозбиральних комбайнів в господарствах Київської та Черкаської областей, а також при певній (оптимальній) варіації кількості каналів обслуговування системою.

Для прикладу скористаємося даними попередньої [1] роботи привівши деякі дані (табл. 1).

1. Щільність потоку вимог λ та інтенсивність обслуговування за роками експлуатації та річним наробітком.

Роки експл. <i>конт.</i>	Кіль-кість, <i>конт.</i>	Річний наробіток, га (інтервали і їх середини)						μ , 1/год
		150-180	470-500	630-660	780-810	840-870	1000-1030	
		165	485	645	795	855	1015	
		λ , 1/год.						
5 рік	3	0,236	0,193	0,196	0,189	0,193	0,170	0,4256
	5	0,393	0,323	0,327	0,315	0,323	0,283	
	10	0,787	0,646	0,654	0,630	0,646	0,567	
	15	1,181	0,969	0,982	0,945	0,969	0,850	
	20	1,575	1,292	1,309	1,260	1,292	1,134	

Відповідно до табл. 1 розраховані щільності потоку вимог λ і інтенсивність обслуговування μ для господарств з різним річним навантаженням на один ЗК і різною кількістю комбайнів в господарстві. Нами прийнято, що частка відмов (1 і 2 груп складності), усуваються виїзними ланками, близько 70% [3, 4]. Сама ж СМО вибрана багатоканальною. При цьому в багатоканальній СМО необхідно розрізняти два випадки:

- число вимог n , що надійшли в систему, менше числа каналів обслуговування N , тобто всі вони знаходяться на обслуговуванні $0 < n < N$;
- число вимог n , що надійшли в систему, більше або дорівнює числу каналів обслуговування N , тобто N вимог обслуговуються, а решта очікують у черзі ($k = 1, 2, \dots, m - N$).

Для початку розглянемо СМО спрощену зі сталим режимом роботи системи, коли основні ймовірнісні характеристики її постійні в часі, наприклад, протягом години. Тоді інтенсивності вхідних і вихідних потоків для кожного стану будуть збалансовані. Ці баланси виглядають так:

Для випадку $0 \leq n < N$:

$$P_0 m \lambda = P_1 \mu; \quad P_1 (\mu + (m-1)\lambda) = P_0 m \lambda + P_2 2\mu;$$

$$P_2(2\mu + (m-2)\lambda) = P_1(m-1)\lambda + P_3 3\mu$$

.....

(1)

$$P_n(n\mu + (m-n)\lambda) = P_{n-1}(m-(n-1))\lambda + P_{n+1}(n+1)\mu$$

Для випадку $N \leq n \leq m$:

$$P_n(N\mu + (m-n)\lambda) = P_{n-1}(m-(n-1))\lambda + P_{n+1}N\mu$$

.....

$$P_{m-1}\lambda = P_m N\mu$$

Припустимо, що наша система має два канали обслуговування $N = 2$. Інтенсивність надходження однієї вимоги на обслуговування $\lambda = 0.327$ разів протягом години. Інтенсивність обслуговування вимог $\mu = 0.4256$. Кількість обслуговуваних машин m складає 5 (табл. 1, виділений фрагмент). Потрібно визначити ймовірність знаходження різного числа вимог в системі.

Скористаємось для знаходження цих ймовірностей системою PTC Mathcad Prime 4.0 (рис. 2).

Constraints	$P_1 \cdot \mu = P_0 \cdot m \cdot \lambda$
	$P_1 \cdot (\mu + (m-1) \cdot \lambda) = P_0 \cdot m \cdot \lambda + 2 \cdot P_2 \cdot \mu$
	$P_2 \cdot (2 \cdot \mu + (m-2) \cdot \lambda) = P_1 \cdot (m-1) \cdot \lambda + 2 \cdot P_3 \cdot \mu$
	$P_3 \cdot (2 \cdot \mu + (m-3) \cdot \lambda) = P_2 \cdot (m-2) \cdot \lambda + 2 \cdot P_4 \cdot \mu$
	$P_4 \cdot (2 \cdot \mu + (m-4) \cdot \lambda) = P_3 \cdot (m-3) \cdot \lambda + 2 \cdot P_5 \cdot \mu$
	$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1$
Guess Values	$P_0 := 0.15 \quad P_1 := 0.15 \quad P_2 := 0.15 \quad P_3 := 0.15 \quad P_4 := 0.15 \quad P_5 := 0.15$
	$\mu := 0.4256 \quad \lambda := 0.327 \quad m := 5 \quad N := 2$
Solver	$\begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{bmatrix} := \text{Find}(P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$
$P_0 = 0.04 \quad P_1 = 0.155 \quad P_2 = 0.238 \quad P_3 = 0.275$ $P_4 = 0.211 \quad P_5 = 0.081$	

Рис. 2. Лістинг розрахунку СМО зі сталим режимом (PTC Mathcad Prime 4.0).

Для вирішення задачі скористаємось блоком функції Find. При використанні його необхідно задати початкові наближення шуканих значень: $P_0 := 0.15; P_1 := 0.15; P_2 := 0.15; P_3 := 0.15; P_4 := 0.15; P_5 := 0.15$. Як бачимо значення ймовірностей мають сталий вигляд і незмінні від часу, навколо якого ми аналізуємо систему. Тобто і на початку 1-ї

години роботи і на 4 часі зміни це значення незмінне. Насправді в житті звісно так процеси не відбуваються. Відмови ЗК носять цілком випадковий характер і залежать від часу. Тому вважати для першого наближення, що система знаходиться у сталому стані можливо, однак цікавішим (реальнішим) буде такий підхід, який дасть змогу розрахувати ймовірнісні характеристики враховуючи момент часу. Тобто несталий режим роботи групи ЗК.

Розглянемо саме такий несталий режим роботи СМО, коли її основні ймовірнісні характеристики залежать від часу, наприклад, протягом деякого його інтервалу. Тоді інтенсивності вхідних і вихідних потоків для кожного стану будуть збалансовані, але вже з урахуванням похідних ймовірностей.

Таким чином, ми будемо мати систему звичайних диференціальних рівнянь, що описують функціонування багатоканальної замкнутої системи при несталому режимі. Для складання вищезгаданої системи рівнянь, що описує функціонування СМО з пуассоновским потоком, існує мнемонічне правило:

- Похідна $\frac{dP(t)}{dt}$ ймовірності перебування системи в стані n дорівнює алгебраїчній сумі кількох членів.
- Число членів цієї суми дорівнює кількості стрілок на графі станів системи, що з'єднують стан n з іншими.
- Якщо стрілка направлена $\rightarrow$ в аналізований стан n , то член береться зі знаком «плюс».
- Якщо стрілка направлена $\leftarrow$ з розглянутого стану n , то член береться зі знаком «мінус».
- Кожен член суми дорівнює добутку ймовірності того стану, з якого спрямована стрілка, на інтенсивність потоку подій, що переводить систему по даній стрілці. Відповідно до розмічених графом станів (рис. 1.) ця система звичайних диференціальних рівнянь буде виглядати так. Для випадку $0 \leq n < N$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = P_1(t)\mu - P_0(t)m\lambda \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = P_0(t)m\lambda + P_2(t)2\mu - P_1(t)(\mu + (m-1)\lambda) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = P_1(t)(m-1)\lambda + P_3(t)3\mu - P_2(t)(2\mu + (m-2)\lambda) \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} = P_{n-1}(t)(m-(n-1))\lambda + P_{n+1}(t)(n+1)\mu - P_n(t)(n\mu + (m-n)\lambda) \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_n(t)}{dt} = P_{n-1}(t)(m - (n - 1))\lambda + P_{n+1}(t)N\mu - P_n(t)(N\mu + (m - n)\lambda) \\ \\ \frac{dP_m(t)}{dt} = P_{m-1}\lambda - P_m N\mu \end{array} \right. \quad (3)$$

Рис. 3. Лістинг розрахунку СМО при несталому режимі роботи.

166

Далі визначемо додаткові параметри для вирішення системи диференціальних рівнянь: початковий і кінцевий інтервал часу дослідження системи та кількість кроків ітерації.

За початкові умови (рис. 3) були взяті інтервали часу від 0 до 8 год. Це зроблено навмисне, щоб спробувати побачити через який час система почне переходити при даних вхідних значеннях у стабільний режим на протязі зміни. Результат розрахунку системи рівнянь подано на рис. 4.

Як бачимо з рис. 4, на протязі зміни система так і не переходить у стабільний режим. Це доводить, що доцільніше розрахунки проводити для СМО при несталому режимі. Порівнявши значення P_0 для першої задачі рівне 0,04 на будь якому проміжку часу і значення P_0 для другої (рис. 4, синя крива), очевидно що саме тут криється загальна помилка. Якщо в подальших розрахунках використовувати єдине (усереднене) значення P_0 , ймовірність вірного рішення буде дещо сумнівна.

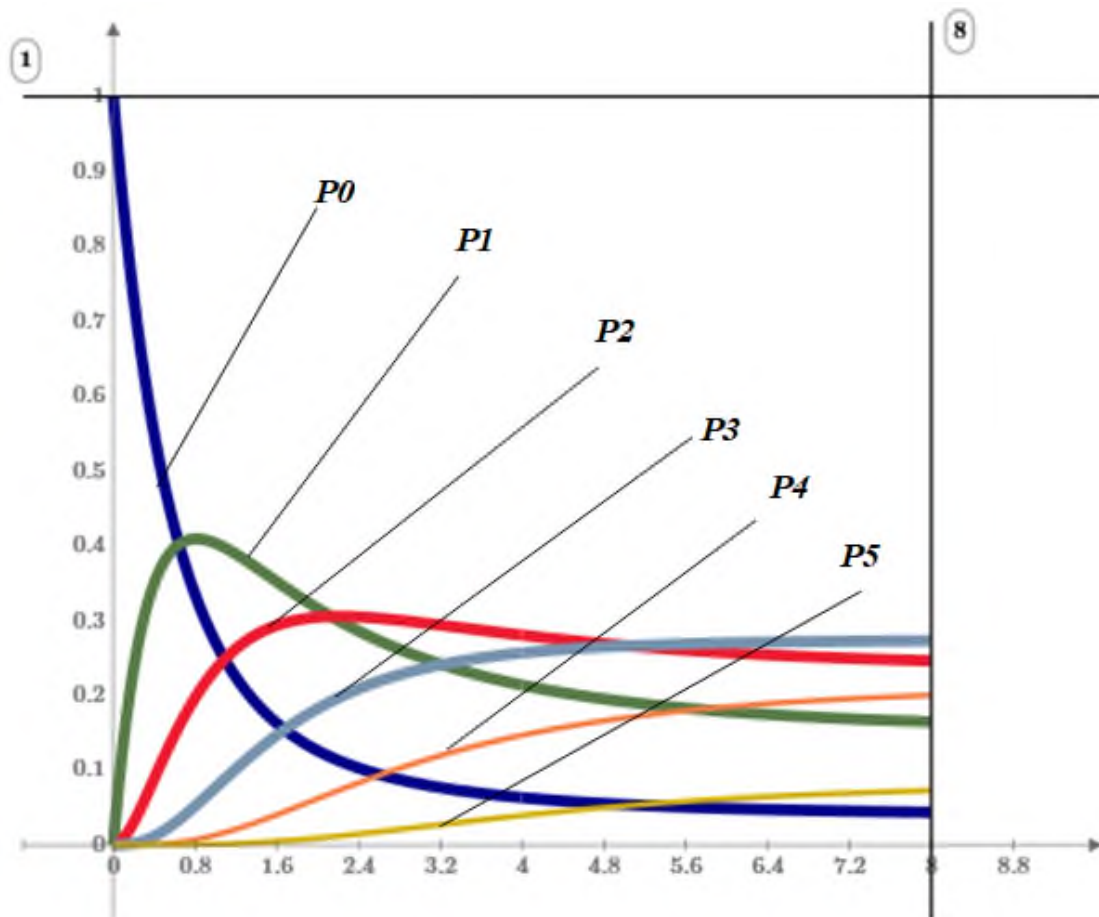


Рис. 4. Графічний розв'язок системи диференціальних рівнянь для СМО при несталому режимі.

Подальше моделювання і аналіз даних графічних залежностей показав, що при збільшенні часу t_1 до 20 годин система заходиться

у такому ж стані як і при 9-й годині. Можна стверджувати, що перехід у сталий стан при даних $\lambda = 0.327$, $\mu = 0.4256$ відбувається після 8 годин роботи і в подальшому не змінюється. Значення ж ймовірностей стають рівними даним задачі СМО при сталому режимі (рис. 2):

$$P_0 = 0.04; P_1 = 0.155; P_2 = 0.238; P_3 = 0.275; P_4 = 0.211; P_5 = 0.081.$$

Всі інші характеристики СМО можна визначити за наступними залежностями (табл. 2).

2. Характеристики СМО і основні залежності.

Середня довжина черги	$L_1 = \sum_{k=n}^m (k-n)P_k$
Середнє число вимог, які обслуговуються	$L_2 = \sum_{k=1}^m kP_k$
Середнє число вільних від обслуговування каналів	$L_3 = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k)P_k$
Коефіцієнт використання замовлень	$K_2 = 1 - \frac{L_2}{m}$
Час очікування в черзі	$MQ = \frac{1-K_2}{\lambda K_2} - \frac{1}{\mu}$
Повні середні втрати від простою вимог у черзі і не завантаженості каналів	$\varphi(n) = C_1 \cdot L_1 + C_2 \cdot L_3$

Для подальшого порівняння двох режимів СМО сталого і несталого та подальшого розрахунку залежностей табл. 2 були визначені наступні дані (табл. 3).

3. Визначені характеристики СМО для сталого і несталого режимів.

Час t1, год	Ймовірності для несталого режиму СМО						L_1	L_3	MQ	$\varphi(n)$
	P0	P1	P2	P3	P4	P5				
0,5	0,481	0,379	0,119	0,02	0,002	0,00006	0,024	0,379	-1,864	854,7
1	0,271	0,403	0,235	0,075	0,013	0,00095	0,104	0,403	-1,431	1221,4
1,5	0,175	0,361	0,288	0,136	0,035	0,00388	0,218	0,361	-1,034	1592,6
2	0,126	0,316	0,304	0,182	0,062	0,00913	0,333	0,316	-0,683	1965,6
3	0,082	0,251	0,297	0,235	0,111	0,024	0,7	0,251	0,471	3302
8	0,044	0,165	0,246	0,273	0,2	0,0726	0,94	0,155	1,255	4070

В табл. 1 t1 є найбільшим значенням інтервалу. Нами взяті для аналізу інтервали [0...0,5]; [0,5...1]; [1...1,5]; [1,5...2]; [2...3] та [4...8]. Всі інші параметри (P0, ..., P5) та інші розраховані саме для цього

значення t_1 . При цьому слід звернути увагу на значення MQ , яке лише після 2,5 години роботи збирального загону стає позитивним. Фізична величина цієї змінної є часом очікування в черзі. Тобто майже до 3 години ймовірність черги відсутня. І лише після 2,5 години є ймовірність утворення черги. Якщо ж використовувати СМО при сталому режимі то ймовірність часу простою в черзі буде відразу рівним 1,255 години.

В результаті математичного обробітку початкових даних побудовані залежності сумарних витрат на обслуговування груп комбайнів від сезонного наробітку і числа обслуговуючих ланок N (рис. 5).

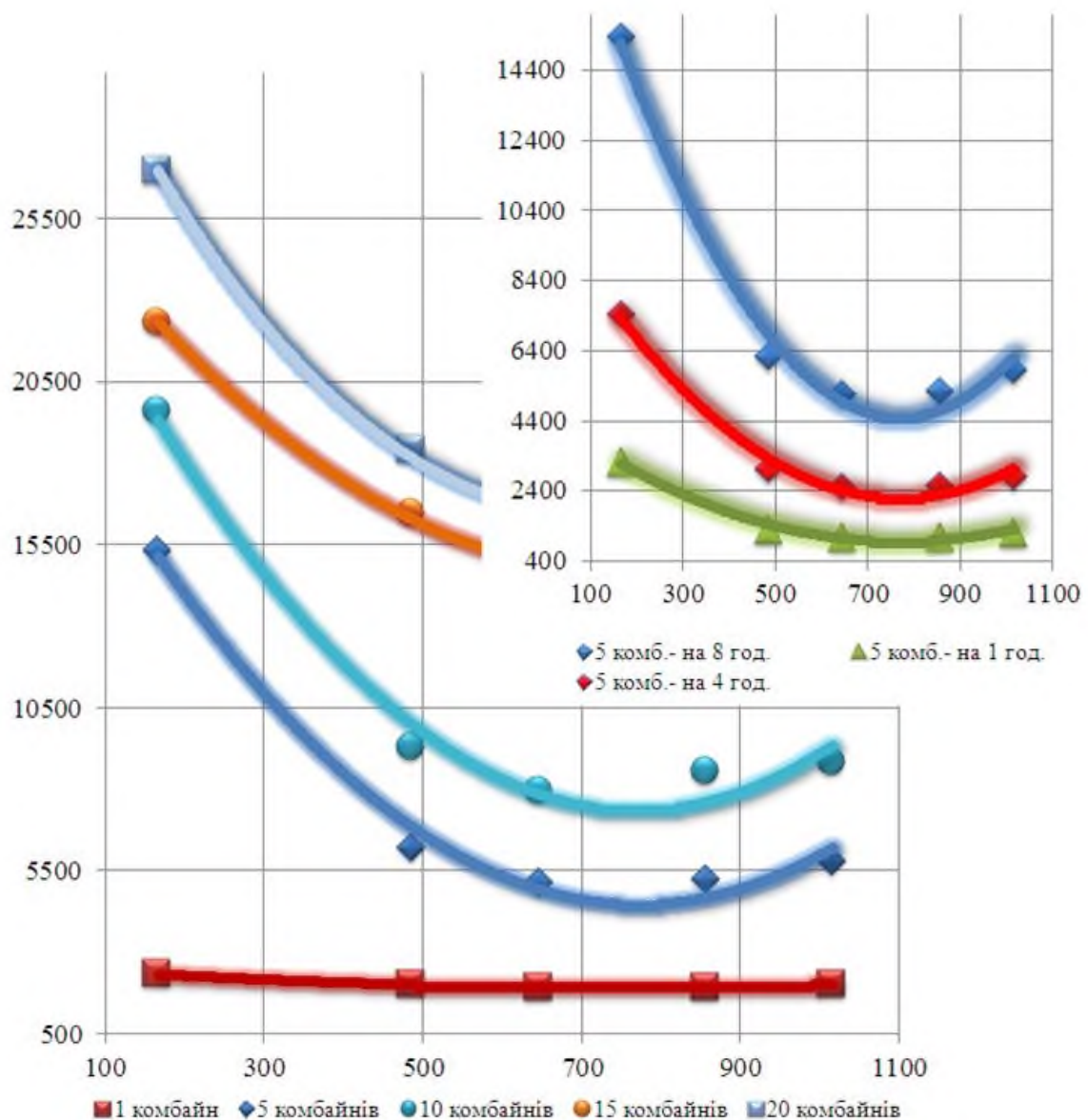


Рис. 5. Залежності повних сумарних витрат $\phi(n)$ на обслуговування груп комбайнів від їх річного наробітку та втрати для

групи з 5 комбайнів для несталого режиму роботи (1-ша, 4-та та 8-ма години роботи).

З рис. 5 слідує наступне, що мінімальні повні сумарні втрати на обслуговування для всіх груп комбайнів з пропускною здатністю молотарки більше 9 кг/с відповідають наробітку близько 800 га на один комбайн за сезон. Оптимальна ж кількість ланок технічного обслуговування від малих і великих наробітків на 3К зростає більш ніж в два рази, порівняно для всіх кількостей груп 3К.

Виробничі потужності систем технічного обслуговування з існуючими в господарствах агрегатами технічного обслуговування низькі при малих середніх річних навантаженнях на один зернозбиральний комбайн. У зв'язку з цим доцільно в малих господарствах (до 5 3К) мати малогабаритні багатофункціональні агрегати технічного обслуговування.

Несталий режим роботи характерний для групи 3К триває від 4 годин (20 комбайнів) і до 8 годин (1-5 комбайнів). Врахування моделі СМО і запропонованого методу дасть змогу отримати точніше характеристики СМО: час очікування в черзі, довжину черги, тощо. Величина повних сумарних втрат на годині роботи в порівнянні із сталим режимом відрізняється за величиною майже в 5 раз.

Висновки

1. Повні сумарні втрати грошових коштів від простою 3К в черзі і недовантаженості каналів обслуговування залежать від річної напрацювання машин. Вони мінімальні при річній напрацювання 600-700 га.

2. Кількість агрегатів технічного обслуговування в господарстві визначається, річним навантаженням на один комбайн та числом комбайнів в ланці збирально-транспортного комплексу.

3. В малих господарствах доцільно мати малогабаритні багатофункціональні агрегати технічного обслуговування.

4. Використання в розрахунках моделі СМО з несталим режимом роботи на будь якому інтервалі часу зміни дасть змогу точніше планувати витрати на технічний сервіс збиральних загонів.

Список літератури

1. Надточій О. В., Тітова Л. Л. Використання системи масового обслуговування для оптимізації затрат на обслуговування комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 148–160.
2. Надточій О. В., Войтюк Д. Г., Демко А. А. Моніторинг комбайнового ринку України. Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2010. Вип. 144. Ч. 2. С. 322–328.
3. Тітова Л. Л., Роговський І. Л. Аналіз періодичності техобслуговування машин для лісотехнічних робіт. Науковий вісник Національного університету біоресурсів

і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 322–328.

4. *Тітова Л. Л., Роговський І. Л., Надточій О. В.* Імітаційність місцеперебування засобу відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт. Сільськогосподарські машини. Луцьк. 2015. Вип. 33. С. 140–149.

5. *Надточій О. В., Тітова Л. Л., Роговський І. Л.* Модель розпізнавання образів параметрів технічного стану машин для лісотехнічних робіт. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Київ. 2016. Вип. 4. С. 8–13.

6. *Тітова Л. Л., Роговський І. Л.* Совершенствование системы восстановления работоспособности машин для лесотехнических работ. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2015. Vol. 17. № 3. P. 253–264.

7. *Надточій О., Тітова Л., Роговський І.* Аналіз динаміки комбайнового ринку України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2016. Вип. 20. С. 254–261.

8. *Сеньо П. С.* Випадкові процеси: підручник. Львів. Компакт – ЛВ. 2006. 288 с.

9. *Rogovskii I. L.* Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.

10. *Роговський І. Л.* Технічні вимоги до гарантійного технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2010. Вип. 144. Ч. 3. С. 286–291.

References

1. *Nadtochiy, O. V., Titova, L. L.* (2016). Use of queuing systems for optimization of maintenance costs of combines. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 251. 148–160.

2. *Nadtochy, O. V., Voytyuk, D. G., Demko, A. A.* (2010). Monitoring of a combine market of Ukraine. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 144. Part 2. 322–328.

3. *Titova, L. L., Rogovskii, I. L.* (2015). Analysis of the frequency of maintenance of machinery for forestry work. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 212. Part 1. 322–328.

4. *Titova, L. L., Rogovskii, I. L., Nadtochiy, O. V.* (2015). Imitational whereabouts, restore the health of machines for forestry work. Agricultural machines. Lutsk. Vol. 33. 140–149.

5. *Nadtochiy, O. V., Titova, L. L., Rogovskii, I. L.* (2016). Model of pattern recognition parameters of technical condition of machines for forestry work. Technical services agricultural, forestry, and transport complexes. Kiev. Vol. 4. 8–13.

6. *Titova, L. L., Rogovskii, I. L.* (2015). Improving the system of recovery of work-ability of machines for forestry work. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Vol. 17. No 3. 253–264.

7. *Nadtochiy, O., Titova, L., Rogovskii, I.* (2016). Analysis of dynamics of combine market of Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnitske. Vol. 20. 254–261.

8. Senio, P. S. (2006). Random processes: tutorial. Lviv. Compact – LV. 288.
9. Rogovskii, I. L. (2016). Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 254. 424–431.
10. Rogovskii, I. L. (2010). Technical requirements for warranty maintenance of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 144. Part 3. 286–291.

АНАЛИЗ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ И НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А. В. Надточий, Л. Л. Титова

Аннотация. В статье определены полные суммарные потери на обслуживание групп комбайнов с пропускной способностью молотилки более 9 кг/с и различной сезонной нагрузкой. Установлено, что минимум затрат приходится на наработку около 800 га на один комбайн за сезон. Оптимальное количество звеньев технического обслуживания для малых (150 га) и больших (> 900 га) наработок на зерноуборочный комбайн возрастает более чем в два раза по сравнению для всех количеств ЗК в группах.

Анализ и сравнение характеристик СМО для устойчивого и неустойчивого режимов работы показал, что взаимный переход для группы ЗК длится от 4 часов (20 комбайнов) и до 8 часов (1-5 комбайнов). Учет модели СМО и предложенного метода позволит получить более точные характеристики СМО: время ожидания в очереди, длину очереди и тому подобное. Величина полных суммарных потерь на 1 часе работы по сравнению с установившимся режимом отличается по величине почти в 5 раз.

Ключевые слова: оптимизация, система массового обслуживания, зерноуборочный комбайн, периодичность технического обслуживания

ANALYSIS OF MULTI-CHANNEL SYSTEM OF MASS SERVICE WITH INSTALLED AND UNINSTALLED OPERATING MODES OF GRAIN HARVESTER COMBINE

O. V. Nadtochy, L. L. Titova

Abstract. The article defines the total aggregate losses for the maintenance of groups of combines with a threshing capacity of more than 9 kg/s and various seasonal loads. It is established that the minimum cost is about 800 ha per harvester per season. The optimal number of maintenance links for small (150 ha) and large (>900 ha) developments

for combine harvester is more than doubled compared to all grain harvester combines in groups.

Analysis and comparison of SMO characteristics for stable and unstable operating modes has shown that the mutual transition for grain harvester combines group lasts from 4 hours (20 combines) and up to 8 hours (1-5 combines). Taking into account the SMO model and the proposed method will allow obtaining more accurate characteristics of the QMS: waiting time in the queue, queue length and the like. The value of the total total losses at 1 hour of operation differs by a factor of almost 5 in comparison with the steady-state regime.

Key words: optimization, mass maintenance system, grain harvester combine, periodicity of maintenance

УДК 620.92

ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПОВИХ ПРОЕКТІВ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З АГРОБІОМАСИ В УКРАЇНІ

**Г. Г. Гелету́ха, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-5249-3092**

**Т. А. Желєзна, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-9607-3022**

**С. В. Драгнєв, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0003-3754-4186**

**А. І. Баштовий, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-1510-2945**

Інститут технічної теплофізики НАН України

**І. Л. Роговський, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: geletukha@nas.gov.ua**

Анотація. У статті проаналізовані та узагальнені результати техніко-економічного обґрунтування типових проектів виробництва та споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні. Методи дослідження включають огляд існуючих в Україні успішних прикладів виробництва і використання

© Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желєзна, С. В. Драгнєв,
А. І. Баштовий, І. Л. Роговський, 2018

паливних брикетів з біомаси, визначення пріоритетних видів відповідних проектів, оцінку основних технічних і економічних показників декількох типових біоенергетичних проектів. Для умов України можна запропонувати три типові варіанти проектів по виробництву паливних брикетів з біомаси: підприємство в сільській місцевості виробляє брикети з агробіомаси і продає їх як заміник дорогого вугілля місцевому населенню та іншим споживачам, які використовують невеликі котли з ручним завантаженням; жителі села або члени об'єднаної територіальної громади створюють енергетичний кооператив, в рамках якого виробляють брикети з біомаси для власного споживання; велике аграрне підприємство виробляє брикети з власної агросировини і продає частину продукції своїм співробітникам, а решту – зовнішнім споживачам. Типові види проектів по використанню паливних брикетів з агробіомаси можуть бути такими: індивідуальний споживач або заклад торгівлі/сфери обслуговування або підприємство (промислове, комерційне) використовує брикети з біомаси в існуючому котлі (заміщення вугілля) або в новопридбаному котлі відповідної потужності (заміщення вугілля/природного газу). Результати попереднього техніко-економічного обґрунтування зазначених типових проектів показують, що всі вони є економічно доцільними з дисконтованих терміном окупності у межах 3–5 років.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, біоенергетика, біомаса, біопаливо, тверде біопаливо, брикети

Постановка проблеми. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю розвитку відновлюваної енергетики в Україні для зменшення споживання імпортованих енергоносіїв та скорочення викидів парникових газів. Тверді біопалива можуть виступати в ролі прямих заміників викопних палив при виробництві теплової енергії. Особливу увагу необхідно приділити розвитку виробництва і використання паливних брикетів з біомаси сільськогосподарського походження з огляду на існуючі передумови та потенційні переваги цього напрямку.

Аналіз останніх досліджень. Огляд основних типів брикетів з біомаси, можливих видів сировини та вимог до неї, а також аналіз законодавчої бази виробництва паливних брикетів з біомаси проведено в роботах [1–3]. Для розвитку сегменту біоенергетики із виробництва брикетів виникає необхідність в аналізі і узагальненні отриманих результатів техніко-економічних обґрунтувань (ТЕО) типових проектів, що базуються на використанні агробіомаси.

Мета досліджень – виконання попереднього техніко-економічного обґрунтування типових проектів з виробництва та споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні.

Матеріали і методи дослідження включають огляд існуючих в Україні успішних прикладів виробництва та використання паливних брикетів з біомаси, визначення пріоритетних видів відповідних проектів, оцінку та аналіз основних технічних та економічних показників кількох типових біоенергетичних проектів.

Результати досліджень. На сьогодні в Україні вже реалізовані приклади успішних проектів із виробництва та використання паливних брикетів, що використовують різні види біомаси, у тому числі, сільськогосподарського походження. Ці приклади включають як проекти, впроваджені за грантові кошти, так і бізнес-проекти [3]. Проведений аналіз цих прикладів дозволив визначити кілька типових варіантів виробництва та використання паливних брикетів з агробіомаси:

- Варіант 1: підприємство в сільській місцевості виробляє брикети з агробіомаси і продає їх як заміник дорогого вугілля місцевому населенню та іншим споживачам, що використовують невеликі котли з ручним завантаженням. Такими споживачами можуть бути об'єкти соціальної сфери (школи, лікарні тощо). Перевагою даного виду проекту є можливість продажу брикетів по ринковій вартості.

- Варіант 2: мешканці села або члени об'єднаної територіальної громади створюють енергетичний кооператив, в рамках якого виробляють брикети з біомаси для власного споживання. Такий кооператив може бути або новоствореним, або ж діяльність вже існуючого кооперативу (наприклад, ягідного або садового) розширюється на виробництво паливних брикетів. Переваги проекту: можливість використання дешевої (безкоштовної) власної біомаси, відсутність плати за оренду виробничого приміщення, можливість придбання членами кооперативу вироблених брикетів по собівартості.

- Варіант 3: крупне аграрне підприємство (агрофірма, агрохолдинг) виробляє брикети з власної сировини (побічних продуктів або відходів сільськогосподарського виробництва) і продає частину продукції своїм співробітникам, а решту – зовнішнім споживачам. Переваги проекту: можливість використання сировини (біомаси) по собівартості, відсутність плати за оренду виробничого приміщення, можливість продажу частини брикетів працівникам підприємства по ціні, близькій до собівартості (як складова «соціального пакету»).

У Національному університеті біоресурсів і природокористування України була проведена експериментально-виробнича перевірка технології брикетування рослинних решток, зокрема, соломи, на механічних шнекових пресах закордонного та вітчизняного виробництва, що підтвердила високу ефективність та доцільність її широкого впровадження в умовах АПК [4, 5]. Ця технологія була використана як базова для відібраних трьох типових варіантів виробництва паливних брикетів з агробіомаси у ТЕО.

Порівняльне (попереднє) ТЕО зазначених варіантів виробництва брикетів для випадку використання соломи як сировини представлено у таблиці 1. Результати ТЕО показують, що всі варіанти є економічно життєздатними з дисконтованим терміном окупності менше 4 років і внутрішньою нормою дохідності більше 25%.

1. Техніко-економічні показники типових проектів з виробництва брикетів з біомаси в Україні.

Показники	Варіант 1: Підприємство	Варіант 2: Енергокооператив	Варіант 3: Агрохолдинг
Продуктивність брикетної лінії, кг/год	320,0	160,0	640,0
Продуктивність річна, т/рік	1536,0	640,0	2560,0
Ціна сировини (соломи), євро/т без ПДВ	20,2	0,0	14,0
Капітальні витрати, тис. євро	40,5	23,4	136,7
Експлуатаційні витрати, тис. євро/рік	86,7	18,5	112,2
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	60	60	60
Ставка по кредиту, %	7	7	7
Продажна ціна брикетів, євро/т без ПДВ	64	38	60 (70%)*; 49 (30%)**
Простий термін окупності, років	3,3	2,9	2,8
Дисконтований термін окупності, років	3,7	3,3	3,3
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	26%	35%	36%

* Продаж брикетів стороннім споживачам.

** Продаж брикетів співробітникам підприємства.

Типові види проектів з використання паливних брикетів з біомаси можуть бути наступними:

- Варіант А: індивідуальний споживач використовує брикети з біомаси як заміник вугілля в існуючому або новопридбаному побутовому твердопаливному котлі потужністю до 50 кВт. Можливість

ефективного спалювання брикетів з біомаси в існуючих твердопаливних котлах було обґрунтовано в роботі [3].

- Варіант Б: заклад торгівлі або сфери обслуговування (магазин, готель тощо) споживає брикети з біомаси як заміник вугілля в існуючому твердопаливному котлі або переходить з природного газу на спалювання брикетів з біомаси у новопридбаному котлі потужністю до 100 кВт.

- Варіант В: підприємство (промислове, комерційне) споживає брикети з біомаси як заміник вугілля в існуючому твердопаливному котлі або переходить з природного газу на спалювання брикетів з біомаси у новопридбаному котлі потужністю до 1000 кВт.

Результати (попереднього) ТЕО зазначених варіантів споживання для випадку брикетів з соломи показують, що всі варіанти є економічно доцільними (таблиця 2).

2. Техніко-економічні показники типових проектів з використання брикетів з біомаси в Україні.

Показники	Варіант А: індивідуальний споживач		Варіант Б: заклад торгівлі/ сфери обслуговування		Варіант В: промислове/комерційне підприємство	
	існуючий котел (вар. А1)	новий котел (вар. А2)	існуючий котел (вар. Б1)	новий котел (вар. Б2)	існуючий котел (вар. В1)	новий котел (вар. В2)
1	2	3	4	5	6	7
Потужність котла, кВт	20	20	100	100	1000	1000
Капітальні витрати, євро	—	900	—	3500	—	30000
Ціна брикетів з соломи, грн./т з ПДВ	1600*	1600*	2600	2600	2300	2300
Економія коштів на придбанні палива**, євро/рік	408 по вугіллю	408 по вугіллю	409 по вугіллю	2307 по ПГ	10207 по вугіллю	29190 по ПГ
Кредитні кошти (частка капітальних витрат), %	—	60	—	60	—	60
Ставка по кредиту, %	—	7	—	7	—	7
Простий термін окупності, років	—	3,9	—	2,4	—	1,5
Дисконтований термін окупності, років	—	4,7	—	2,7	—	1,6

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	–	26%	–	43%	–	68%

* По собівартості.

** У розрахунках прийнято ціну вугілля 6000 грн./т з ПДВ, ціну природного газу (ПГ) – 10042 грн./тис. м³ з ПДВ.

У разі використання брикетів у новопридбаному твердопаливному котлі організацією або промисловим підприємством, дисконтований термін окупності становить менше 3 років. Для індивідуального споживача термін окупності складає майже 5 років через більшу питому вартість котла (45 євро/кВт) і меншу питому вартість енергії у вугіллі (близько 240 грн./ГДж), яке заміщується брикетами, у порівнянні з природним газом для промислових (комерційних) споживачів (близько 295 грн./ГДж). У випадку використання брикетів з біомаси в існуючих твердопаливних котлах споживачі отримують економію коштів за рахунок різниці ціни вугілля і паливних брикетів з соломи.

Висновки

Виробництво та використання паливних брикетів з біомаси є важливим і перспективним сегментом розвитку біоенергетики в Україні з огляду на ті економічні, екологічні та соціальні вигоди, які він може дати. В першу чергу, необхідно нарощувати обсяги виробництва брикетів з біомаси сільськогосподарського походження, враховуючи наявність в країні значного енергетичного потенціалу такої біомаси і велику ємність ринку з боку споживання біопалива.

Брикети виготовляються з доступної місцевої біомаси, яка являє собою відновлюване джерело енергії і є СО₂-нейтральною. Запровадження бізнесу із виробництва і продажу брикетів сприяє підвищенню енергетичної незалежності регіонів, створенню нових робочих місць у сільській місцевості і розвитку місцевої економіки. Результати ТЕО типових варіантів виробництва і споживання паливних брикетів з агробіомаси показують, що всі визначені типові проекти є економічно доцільними з дисконтованим терміном окупності в межах 3-5 років.

Для подальшого розвитку даного сегменту біоенергетики в Україні необхідно вдосконалювати законодавчу базу (наприклад, стосовно створення і функціонування енергетичних кооперативів), вирішувати питання стандартизації і сертифікації твердого біопалива, розвивати ринок біопалива.

Список літератури

1. Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квас В. М. Технологія виробництва твердого палива з міскантусу. Біоенергетика. 2015. № 2. С. 13–17.

2. Коломийченко М. В. Дорожня карта з розвитку ринку твердого біопалива України. Проект UNDP, GEF, 2016. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf.
3. Гелету́ха Г. Г., Желе́зна Т. А., Драгнєв С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України. № 20, 2018. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-ua.pdf>.
4. Дубровін В. О., Кухарець С. М., Поліщук В. М. Розробка ресурсощадних технологій виробництва та використання твердого біопалива для теплопостачання виробничих та побутових приміщень агропромислового комплексу: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. Аграр Медіа Груп. 2014. 86 с.
5. Waclaw Romaniuk, Victor Polishchuk, Andrzej Marczuk, Liudmyla Titova, Ivan Rogovskii, Kinga Borek. Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. 2018. Vol. 22. № 1. P. 105–125. doi:10.1515/agriceng-2018-0010.

References

1. Ganzhenko, O. M., Humenik, M. Ya., Kwak, V. M. (2015). Technology of production of solid fuel from miscanthus. Bioenergy. 2015. No 2. 13–17.
2. Kolomiychenko, M. V. (2016). Road map for the development of the market of solid biofuels in Ukraine. The UNDP project, GEF. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/b4/bd/b4bda440-5ab8-4c64-943a-a094da7a757f/dorozhnia_karta_z_rozvitku_rinku_tverdogo_biopaliva_ukrayini.pdf.
3. Geletukha, G. G., Zheliezna, T. A., Drahniiev, S. V. (2018). Analysis of possibilities of production and use of briquettes from agrobiomass in Ukraine. Policy brief Bioenergy Association of Ukraine. No 20. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-20-EN.pdf>.
4. Dubrovin, V. O. Kuharets, S. M., Polishchuk, V. M. (2014). Development of resource-saving technologies of production and use of solid biofuel for heating industrial and domestic premises of agro-industrial complex: recommendations for agro-industrial enterprises of Ukraine. Kiev. Agrar Media Group. 86.
5. Waclaw Romaniuk, Victor Polishchuk, Andrzej Marczuk, Liudmyla Titova, Ivan Rogovskii, Kinga Borek. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. Vol. 22. № 1. 105–125. doi:10.1515/agriceng-2018-0010.

ОБОСНОВАНИЕ ТИПОВЫХ ПРОЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ АГРОБИОМАССЫ В УКРАИНЕ

**Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желе́зная, С. В. Драгнєв,
А. И. Баштовой, И. Л. Роговский**

Аннотация. В статье проанализированы и обобщены результаты технико-экономического обоснования типичных проектов производства и потребления топливных брикетов из агробиомассы в Украине. Методы исследования включают обзор

существующих в Украине успешных примеров производства и использования топливных брикетов из биомассы, определение приоритетных видов соответствующих проектов, оценку основных технических и экономических показателей нескольких типичных биоэнергетических проектов. Для условий Украины можно предложить три типичных варианта проектов по производству топливных брикетов из биомассы: предприятие в сельской местности производит брикеты из агробиомассы и продает их как заменитель дорогого угля местному населению и другим потребителям, использующим небольшие котлы с ручной загрузкой; жители села или члены объединенной территориальной общины создают энергетический кооператив, в рамках которого производят брикеты из биомассы для собственного потребления; крупное аграрное предприятие производит брикеты из собственного агросырья и продает часть продукции своим сотрудникам, а остальное – внешним потребителям. Типичные виды проектов по использованию топливных брикетов из агробиомассы могут быть такими: индивидуальный потребитель или заведение торговли/ сферы обслуживания или предприятие (промышленное, коммерческое) использует брикеты из биомассы в существующем котле (замещение угля) или в новоприобретенном котле соответствующей мощности (замещение угля/ природного газа). Результаты предварительного технико-экономического обоснования указанных типичных проектов показывают, что все они являются экономически целесообразными с дисконтированным сроком окупаемости в пределах 3-5 лет.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, биоэнергетика, биомасса, биотопливо, твердое биотопливо, брикеты

SUBSTANTIATION OF TYPICAL PROJECTS FOR PRODUCTION AND CONSUMPTION OF AGRIBIOMASS BRIQUETTES IN UKRAINE

**G. G. Geletukha, T. A. Zheliezna, S. V. Drahnev,
A. I. Bashtovyi, I. L. Rogovskii**

Abstract. *In the article, results of the feasibility study of some typical projects on the production and consumption of agribiomass briquettes in Ukraine are analyzed and summarized. The research methods include an overview of the successful examples of the production and use of biomass briquettes in Ukraine, the identification of priority types of relevant projects, the assessment of the main technical and economic indicators of several typical bioenergy projects. Under Ukrainian conditions the following three typical variants of the biofuel production projects can be suggested: rural enterprise produces agribiomass briquettes and sells them as a substitute for expensive coal to the local population and other consumers using small*

boilers with manual loading; villagers or members of a united territorial community create an energy cooperative, within which they produce biomass briquettes for their own consumption; large agrarian enterprise produces briquettes from its own agricultural raw materials and sells the product partly to its employees, partly to other consumers. Typical types of projects for the use of agribiomass briquettes can be as follows: an individual consumer or trade/service organization or industrial/commercial enterprise uses biomass briquettes in the existing boiler (replacement of coal) or in newly purchased boiler of the appropriate capacity (replacement of coal/natural gas). The results of the preliminary feasibility study of these typical projects show that all the projects are economically feasible with a discounted payback period of 3-5 years.

Key words: *renewable energy sources, bioenergy, biomass, biofuel, solid biofuel, briquettes*

УДК 631.171.075.4

ЕФЕКТИВНЕ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНІКИ

**Н. І. Болтянська, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-7887-4715**

**Таврійський державний агротехнологічний університет
e-mail: bolt.n74@gmail.com**

Анотація. У статті розглянуто розроблену математичну залежність для визначення потреби тваринницької техніки в запасних частинах із змінними факторами: кількість однакових деталей на одній машині; кількість однакових машин; закон розподілу ресурсу деталей та його параметри; точність визначення параметрів розподілу, яка включає розмір статистичної вибірки і довірчу ймовірність; час прогнозу, яка дозволить забезпечити споживачів достатньою кількістю запасних частин задля підтримання техніки в працездатному стані і якісному виконанню усіх агрозотехнічних операцій відповідно до вимог технологічного процесу, враховуючи особливості функціонального призначення та експлуатації засобів механізації і електрифікації на тваринницьких фермах, що полягає

© Н. І. Болтянська, 2018

у забезпеченні безперервності біотехнічного зв'язку у тваринництві: оператор – машина – тварина – навколишнє середовище. Наведено залежність для визначення коефіцієнта потреби в запасних частинах, який містить чотири змінні величини, дві з яких – параметри форми і масштабу двопараметричних розподілів. З метою одержання кінцевих рішень і можливості інтерпретації одержаних результатів у вигляді графічних залежностей, двопараметричний розподіл Вейбулла приведено до однопараметричного виду, що полягає в штучному способі передачі параметра масштабу через параметр форми розподілу, а поточного часу напрацювання – через середнє значення ресурсу. Приведено порядок визначення часу прогнозу та співвідношення для розрахунку функції відмов при умові приведення двопараметричних розподілів до однопараметричного виду. Отримано графічні залежності середнього ресурсу від параметрів масштабу і форми при розподілі Вейбулла, приведення масштабу форми розподілу Вейбулла до різних позначень та залежність коефіцієнтів двобічних довірчих меж від параметра форми розподілу Вейбулла і обсягу вибірки при довірчій імовірності рівній 0,9.

Ключові слова: *виробництво продукції тваринництва, технологічний процес, надійність, запасні частини, розподіл Вейбулла, параметри розподілу, ймовірність, час прогнозу, середній ресурс*

Постановка проблеми. Агропромисловий комплекс України переживає кризу, обумовлену загальним соціально-економічним станом країни, зростанням специфічних галузевих проблем: низька рентабельність виробництва, різке скорочення основних виробничих фондів, фінансові проблеми та ін.

Економічна криза негативно вплинула на стан технічного забезпечення аграрного сектору. Основними видами техніки сільгосптоваровиробники забезпечені на 40...50% від нормативного рівня. Машинно-тракторний парк постійно скорочується. За останні 15 років кількість техніки скоротилася майже вдвічі і не відповідає технологічній потребі. В результаті цього значно зросло навантаження на техніку, через що порушуються вимоги агротехніки щодо термінів та якості виконання робіт [1–3].

Аналіз останніх досліджень. Наявний в аграрних підприємствах машинно-тракторний парк кількісно зменшився, морально застарів, фізично зношений. У структурі тракторів менше 20 % таких, що експлуатуються в межах амортизаційного терміну, а понад 30% знаходяться в експлуатації більше 20 років [4].

Економічний стан підприємств аграрного сектору такий, що найближчим часом докорінне оновлення їх матеріально-технічної бази є досить проблематичним, тому пріоритетною задачею технічної політики наразі є зупинка процесу катастрофічного зменшення кількісного складу наявного машинно-тракторного парку та відновлення матеріально-технічної бази його сервісного забезпечення.

Збереження кількісного складу машинно-тракторного парку може бути досягнуто за рахунок відновлювальних ремонтів з одночасною модернізацією основних видів сільськогосподарської техніки. Це дозволить на 30–40% зменшити вибуття техніки з експлуатації і використовувати її в аграрному секторі ще впродовж 5–6 років. Підтримувати сільськогосподарську техніку в робочому стані та ефективно її використовувати можна лише відповідно організувавши технічний сервіс. Він повинен охоплювати всі етапи від придбання машин, передпродажної підготовки, експлуатації, техобслуговування, ремонту і аж до списання та утилізації [2–4].

Питанням технічного сервісу машинно-тракторного парку та підтримання сільськогосподарської техніки в робочому стані та ефективного її використання приділяли увагу як вітчизняні, так і закордонні науковці. Але на даний час залишається невирішеними ще дуже багато питань [5–8].

Мета досліджень. Розробити математичну залежність для визначення потреби тваринницької техніки в запасних частинах що дозволить забезпечити споживачів достатньою кількістю запасних частин задля підтримання техніки в працездатному стані і якісного виконання усіх агрозоотехнічних операцій відповідно до вимог технологічного процесу.

Результати досліджень. Сьогодні багато керівників господарств зайнято пошуком можливостей для економічного зростання підприємств. Безумовно, одним з резервів служить зниження собівартості продукції. Проте, як правило, передусім сільгоспвиробники звертають увагу на скорочення витрат по таких чутливих позиціях, як повнораціонні корми, енергетичні і людські ресурси, що нерідко йде в збиток задоволенню фізіологічних потреб тварин. При цьому інвестуються, іноді без особливого рахунку, величезні засоби в інфраструктуру, виробничі потужності, в закупівлю племінних тварин. Але сучасні генетичні лінії, використовувані в племінному тваринництві, методи розведення, у тому числі гібридизація, дозволяють отримати високопродуктивну худобу, властивості якої будуть повністю розкриті тільки за допомогою максимального задоволення усіх фізіологічних потреб тварин в утриманні, мікрокліматі, годівлі, напуванні і так далі. Істотне

збільшення обсягів виробництва продукції тваринництва - навіть при нинішній чисельності поголів'я худоби в Україні можливо завдяки якісному виконанню усіх агрозоотехнічних операцій відповідно до вимог технологічного процесу. Саме підвищення якості обслуговування тварин здатне дати адекватну реакцію, що впливає на їх продуктивність.

Багатопрофільність галузей тваринництва та технології трудомістких процесів обумовлюють потребу у великій гамі засобів механізації і електрифікації. Так, якщо системою машин для сільського господарства передбачається більше 2000 найменувань машин і обладнання, то із них більше 350 припадає лише на засоби для механізації виробничих процесів у тваринництві. Ще більше розширює цю гаму електротехнічне і енергетичне обладнання та інженерні комунікації, необхідні для виконання процесів. У цілому на тваринницьких фермах України налічується близько 13 млн. одиниць різних засобів механізації.

Особливість функціонального призначення та експлуатації засобів механізації і електрифікації полягає у забезпеченні безперервності біотехнічного зв'язку у тваринництві: оператор – машина – тварина – навколишнє середовище. Це є можливим лише за умов постійного підтримання вказаних засобів у працездатному стані, за якого коефіцієнт готовності кожної одиниці повинен бути на рівні 0,95–0,98. Високий рівень готовності є досяжним за умови своєчасного та належного виконання комплексу робіт із технічного обслуговування і ремонту цих засобів.

Шоста частина фактичних витрат запасних частин обумовлена виробничими причинами. Недостатньо високий рівень експлуатації та низька якість ремонту машин залишаються основними причинами підвищених витрат запасних частин. Первинно середній термін служби елементів, відновлених при ремонті, в основному на 30...50% нижче від базових. Результати досліджень показали, що розподіл строків служби машин не суперечить закону Вейбулла. У зв'язку з цим функція інтенсивності заміни деталей $\lambda(t)$ за період спостережень t має вигляд:

$$\lambda(t) = \alpha b t^{b-1}, \quad (1)$$

де: α і b – параметри розподілу за законом Вейбулла.

Встановлено, що недостатнє забезпечення окремих споживачів запасними частинами, викликане не стільки фактичними витратами, скільки проблемами в плануванні і їхньому розподіленні. Через відсутність прийнятних для машинобудівників науково обґрунтованих методичних матеріалів, надто бідної й розрізненої інформації про фактичні ресурси та доцільну рівномірність розподілу ресурсів елементів сільськогосподарських машин в умовах рядової

експлуатації номенклатура й норми витрат запасних частин на практиці встановлюються, як правило, на основі інженерної інтуїції працівників конструкторських організацій та досвіду фахівців ремонтних підприємств.

У зв'язку з цим накопичення інформації про ресурси машин, потоки замін елементів з урахуванням ремонтних впливів і розробка на цій основі прийнятних для практики методичних матеріалів по обґрунтуванню доцільної рівномірності деталей і складальних одиниць, а також організації номенклатури й норм витрат запасних частин – одне з найважливіших завдань, яке стоїть перед ученими, машинобудівниками й експлуатаційниками.

Запропонована математична залежність для визначення потреби в запасних частинах має вигляд:

$$N_3 = f_1(n_0; n_M; x; y; P(t); t_n), \quad (1)$$

де: N_3 – потреба в запасних частинах, шт.; n_0 – число однакових деталей, встановлених на одній машині, шт.; n_M – число однакових машин, шт.; x, y – параметри розподілу ресурсу вузлів і деталей для двопараметричних розподілів; $P(t)$ – ймовірність, що гарантує достатність запасних частин для усієї генеральної сукупності виробів, %; t_n – час прогнозу в одиницях напрацювання, год.

Для спрощення застосування залежності (1) об'єднаємо усі змінні фактори крім n_0 та n_M у коефіцієнт потреби в запасних частинах K_3 :

$$K_3 = f_2(x; y; P(t); t_n) \quad (2)$$

З урахуванням залежності (2) функція (1) набуде вигляду:

$$N_3 = f_1(K_3 n_0 n_M) \quad (3)$$

Аналіз виразу (2) показує, що коефіцієнт K_3 містить чотири змінні величини, дві з яких x і y – параметри форми і масштабу двопараметричних розподілів. Наявність кількох параметрів у розглянутих двопараметричних розподілах значно розширює межі їх застосування, але ускладнює використання в розрахунках, пов'язаних із визначенням коефіцієнта K_3 . Це зумовлено обмеженням числа змінних величин у кінцевому рівнянні визначення коефіцієнта K_3 до двох, одне з яких є параметром форми розподілу, а друге – параметром часу, що дає змогу зображати залежність коефіцієнта K_3 від основних змінних величин на площині. Збільшення числа змінних величин понад, призводить до необхідності заміни площинного зображення коефіцієнта K_3 на об'ємне, що небажано у зв'язку зі складністю практичного використання багатовимірного зображення.

З метою одержання кінцевих рішень і можливості інтерпретації одержаних результатів у вигляді графічних залежностей, двопараметричні розподіли треба нормувати, тобто привести до

однопараметричного виду. Приведення двопараметричних розподілів до однопараметричного виду полягає в штучному способі передачі параметра масштабу через параметр форми розподілу, а потокового часу напрацювання – через середнє значення ресурсу (математичне очікування), яке для розподілу Вейбулла прийнято рівним 1.

Час прогнозу t_n передається у частках середнього ресурсу вузлів і деталей t_{cp} у разі повного інформаційного забезпечення, і у частках нижньої двобічної межі середнього ресурсу $t_{срн}$ при неповному інформаційному забезпеченні і позначається t_o .

Обсяг вибірки N , за якою визначено параметри розподілу, і довірчу ймовірність β приймають фіксованими.

Порядок визначення часу прогнозу t_o для розподілу Вейбулла подано в табл. 1.

1. Порядок визначення часу прогнозу t_o .

Показник	Розподіл Вейбулла
Параметр форми	α
Параметр масштабу	b
Середній ресурс	$\alpha^{1/b}\Gamma(1 + 1/b)$
Варіант А	
Коефіцієнт нижньої двобічної межі середнього K_1 ; K_n	$[2N/\chi^2(1+\beta)/2; 2N]^{1/b}$
Нижня двобічна межа середнього ресурсу $t_{срн}$	$K_n t_{ср}$
Час прогнозу t_o	$t_n/t_{срн}$
Варіант Б	
Час прогнозу t_o	$t_n/t_{ср}$

По-перше, при відомому розподілі, та його параметрах визначається середній ресурс.

Графічну залежність середнього ресурсу від параметрів масштабу α і форми b при розподілі Вейбулла наведено на рис. 1.

При визначенні часу прогнозу t_o розглянуто 2 варіанти.

Варіант А. Параметри розподілу визначені за окремою статистичною вибіркою, а розрахунок потреби в запасних частинах виконується для усієї генеральної сукупності виробів, при цьому використано нижню двобічну інтервальну оцінку середнього $t_{срн}$.

Визначається коефіцієнт нижньої двобічної межі (рис. 1), нижня двобічна межа середнього ресурсу $t_{срн}$ (табл. 1). Довірча ймовірність β в цьому разі приймається 0,9. Задається потоковий час прогнозу t_n , на який визначається потреба в запасних частинах. Він може прийматися як строк експлуатації машини, наведений у годинах напрацювання, чи довільно в межах: $0 < t_n \leq T_m \cdot T_{сл}$, де: T_m –

середньорічне напруцювання машини, год.; $T_{сл}$ – строк служби машини, рік.

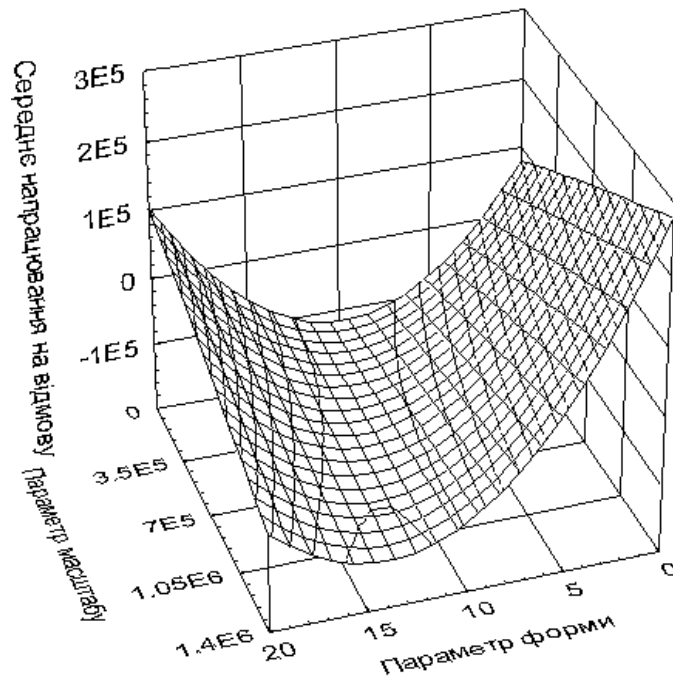


Рис. 1. Залежність середнього ресурсу від параметрів масштабу α і форми b при розподілі Вейбулла.

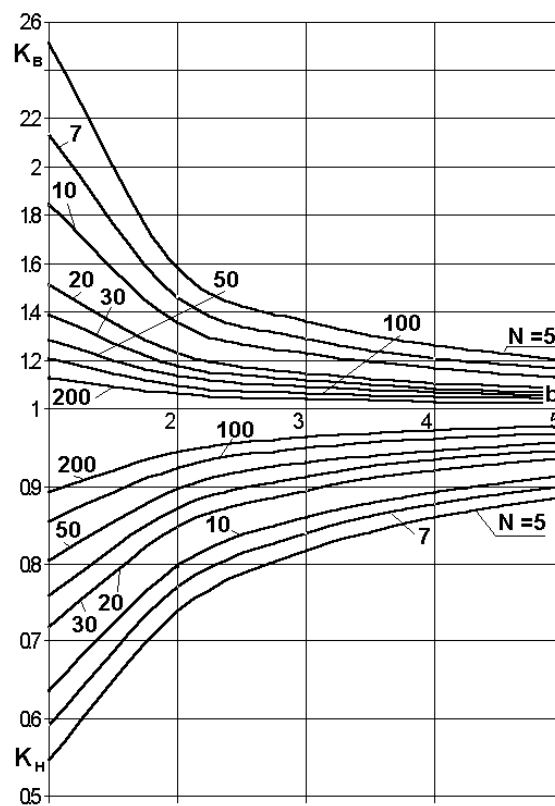


Рис. 2. Залежність коефіцієнтів K_N і K_b двобічних довірчих меж від параметра форми b розподілу Вейбулла, обсягу вибірки N при довірчій імовірності $\beta=0.9$.

Після цього час прогнозу t_n передається у частках нижньої двобічної інтервальної оцінки середнього значення ресурсу (табл. 2).

Варіант Б. Параметри розподілу визначено за окремою статистичною вибіркою, а потреба в запасних частинах визначається для того ж самого об'єкта, де експлуатуються підконтрольні машини. Розрахунки виконуються за точковою оцінкою середнього ресурсу t_{cp} . Час прогнозу t_n передається в частках точкової оцінки середнього ресурсу (табл. 2).

2. Співвідношення для розрахунку функції відмов при умові приведення двопараметричних розподілів до однопараметричного виду.

Розподіл	Параметр		Середнє значення ресурсу, t_{cp}	Функція відмов, $F(t_0)$	t_0
	форми	масштабу			
Вейбулла	b	$\alpha_0 = [1/\Gamma(1+1/b)]^b$	1	$1 - \exp[-(t_0^b / \alpha_0)]$	t/t_{cp}

У літературі по надійності прийняті різні позначення параметру масштабу для розподілу Вейбулла: α , α_0 , a . Вираз для переведення з одного позначення параметру масштабу в інші має вигляд:

$$\alpha = a^b = \alpha_0 t_{cp}^b.$$

Це дозволяє використовувати результати досліджень при будь-якому значенні параметра форми. Графічно це подано на рисунку 3.

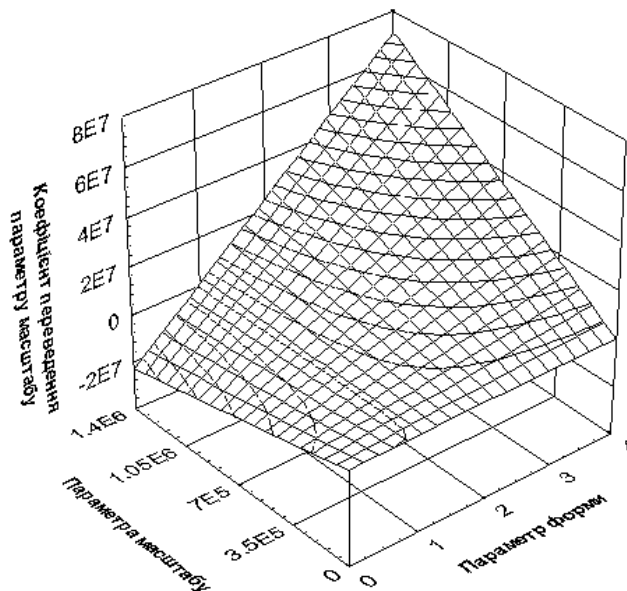


Рис. 3. Приведення масштабу форми розподілу Вейбулла до різних позначень.

Висновки

1. Для визначення потреби в запасних частинах розроблено математичну залежність із змінними факторами: кількість однакових деталей на одній машині; кількість однакових машин; закон розподілу

ресурсу деталей та його параметри; точність визначення параметрів розподілу, яка включає розмір статистичної вибірки і довірчу ймовірність; час прогнозу.

2. У тих випадках, коли кількість запасних частин розраховується для тієї ж самої вибірки, за якою визначені параметри розподілу, використовується точкова оцінка середнього ресурсу. При розрахунку потреби в запасних частинах для всієї генеральної сукупності при умові визначення параметрів розподілу ресурсу за окремими статистичними вибірками використовується нижня двобічна оцінка середнього ресурсу, що відповідає найгіршому варіанту експлуатації машин і гарантує з певною ймовірністю достатність запасних частин.

Список літератури

1. Болтянська Н. І. Забезпечення високоефективного функціонування технологічного процесу приготування і роздавання кормів у тваринництві. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2014. Вип. 4. Т. 1. С. 16–22.
2. Rogovskiy I. L. АРМ в системі відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Автоматика–2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління: тези конференції. Київ. 2017. С. 194.
3. Rogovskiy I. L. Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.
4. Заболотько О. О., Болтянська Н. І. Показники експлуатаційної безвідмовності фермського обладнання. Крамаровські читання: IV Міжнародна науково-технічна конференція: тези конференції. Київ. 2017. С. 155–158.
5. Rogovskiy Ivan. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Том 16. №3. Р. 296–302.
6. Болтянська Н. І. Роль технічного сервісу при забезпеченні високоефективного функціонування технологічного процесу виробництва продукції тваринництва. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2013. Вип. 3. Т. 1. С. 103–110.
7. Rogovskiy I. L. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.
8. Ліщинський С. П., Заболотько О. О., Музиченко Я. М. Забезпечення високоефективного використання установок для доїння корів. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2014. Вип. 4. Т. 1. С. 23–29.

References

1. Boltyanskaya, N. I. (2014). Ensuring effective functioning of technological process of preparation and distribution of fodder. Labor Taurian State Agrotechnological University. Melitopol. Vol. 4. № 1. 16–22.

2. Rogovskii, I. L. (2017). ARM in system restore functionality of agricultural machinery. Automation–2017: International conference on automatic control: proceedings of conference. Kiev. 194.
3. Rogovskii, I. L. (2015). Methodologist technological operations recovery of agricultural machines with limited resources. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2015. Vol. 212. Part 1. 314–322.
4. Zabolotko, O. O., Boltyanskaya, N. I. (2017). Operational reliability farm equipment. Kramarovsky readings: IV International scientific and technical conference: abstracts. Kiev. 155–158.
5. Rogovskii Ivan. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Tom 16. № 3. 296–302.
6. Boltyanskaya, N. I. (2013). Role of technical service, while ensuring the effective functioning of technological process of production of livestock products. Labor Taurian State Agrotechnological University. Melitopol. Vol. 3. № 1. 103–110.
7. Rogovskii, I. L. (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224–232.
8. Lishchinsky, S. P., Zabolotko, O. O., Muzychenko, Y. M. (2014). Ensuring efficient use of installations for milking cows. Labor Taurian State Agrotechnological University. Melitopol. Vol. 4. № 1. 23–29.

ЭФФЕКТИВНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИКИ

Н. И. Болтянская

Аннотация. В статье рассмотрено разработанную математическую зависимость для определения потребности животноводческой техники в запасных частях с переменными факторами: количество одинаковых деталей на одной машине; количество одинаковых машин; закон распределения ресурса деталей и их параметры; точность определения параметров распределения, которая включает размер статистической выборки и доверительную вероятность; время прогноза, которая позволит обеспечить потребителей достаточным количеством запасных частей для поддержания техники в работоспособном состоянии и качественному выполнению всех агрозоотехнических операций в соответствии с требованиями технологического процесса, учитывая особенность функционального назначения и эксплуатации средств механизации и электрификации на животноводческих фермах, которая заключается в обеспечении непрерывности биотехнической связи в животноводстве: оператор – машина – животное – окружающая среда. Приведена зависимость для определения коэффициента потребности в запасных частях, содержащего четыре переменные величины, две

из которых - параметры формы и масштаба двухпараметрических распределений. С целью получения конечных решений и возможности интерпретации полученных результатов в виде графических зависимостей, двухпараметрическое распределение Вейбулла приведены в однопараметрическому виду, что заключается в искусственном способе передачи параметра масштаба через параметр формы распределения, а потокового времени наработки - через среднее значение ресурса. Приведены порядок определения времени прогноза и соотношения для расчета функции отказов при условии приведения двухпараметрических распределений к однопараметрическому виду. Получены графические зависимости среднего ресурса от параметров масштаба и формы при распределении Вейбулла, приведения масштаба формы распределения Вейбулла к различным обозначениям и зависимость коэффициентов двусторонних доверительных границ от параметра формы распределения Вейбулла и объема выборки при доверительной вероятности равной 0.9.

Ключевые слова: производство продукции животноводства, технологический процесс, надежность, запасные части, распределение Вейбулла, параметры распределения, вероятность, время прогноза, средний ресурс

EFFECTIVE FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTS BY IMPROVING RELIABILITY OF EQUIPMENT

N. I. Boltyanska

Abstract. In paper the developed mathematical dependence for determining the needs of livestock machinery in spare parts with variable factors is considered: the number of identical parts on the same machine; number of identical machines; the law of distribution of the resource of the parts and its parameters; the accuracy of determining the distribution parameters, which includes the size of the statistical sample and the confidence probability; forecasting time, which will provide consumers with a sufficient number of spare parts in order to maintain the equipment in working condition and qualitative performance of all agro-technical operations in accordance with the requirements of the technological process, taking into account the feature of the functional purpose and operation of mechanization and electrification facilities in livestock farms, consisting of ensuring the continuity of biotechnical connection in livestock: operator – machine – animal – environment. The dependence for determining the need for spare parts coefficient, which contains four variables, two of which are the parameters of the form and scale of two-

parameter distributions, is given. In order to obtain final solutions and the possibility of interpreting the results obtained in the form of graphical dependencies, the two-parameter distribution of Weibull is reduced to a one-parameter type, consisting of an artificial method of transmitting the parameter of scale through the parameter of the form of distribution, and the flow time of the output – through the average value of the resource. The order of determination of the forecast time and the ratio for the calculation of the bounce function is given with the condition of bringing the two-parameter distributions to one-parameter type. The graphic dependences of the average resource on the scale and form parameters in the Weibull distribution, the scale of the Weibull distribution form to different notations, and the dependence of the coefficients of the two-way verifiers between the form of the Weibull distribution and the sample size with a confidence probability equal to 0.9 are obtained.

Key words: *animal production, production, technological process, reliability, spare parts, distribution of Weibull, distribution parameters, probability, forecast time, average resource*

УДК 663.432

СУЧАСНІ СПОСОБИ ОБРОБЛЕННЯ ВОДИ ДЛЯ ПРОРЩУВАННЯ ЯЧМЕНЮ

В. О. Ковбич, магістрант, ORCID 0000-0003-4761-8046
Р. М. Мукоїд, кандидат технічних наук ORCID 0000-0002-3454-1484
Національний університет харчових технологій
В. П. Василюв, кандидат технічних наук ORCID 0000-0002-2109-0522
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: vasiliv-vp@ukr.net

Анотація. Останніми роками різко збільшилася і продовжує збільшуватись кількість води, яку споживають харчові підприємства; безперервно збільшується забруднення існуючих джерел водопостачання, що призводить до погіршення хімічного та мікробіологічного складу води. Через це склад води, яку використовують підприємства, дуже різноманітний і відповідно він потребує певного регулювання.

У даній статті проаналізовано сучасні методи підготовки води, яка використовується для пророщування ячменю та вплив показників води на проростання зерна.

© В. О. Ковбич, Р. М. Мукоїд, В. П. Василюв, 2018

На більшості солодових заводів якість використовуваної на технологічні потреби води, особливо за вмістом солей жорсткості заліза і значенням рН, не є оптимальним, що викликає необхідність застосування різних способів водопідготовки: реагентного іоннообмінного, електродіалізного і мембранного, заснованого на принципі зворотного осмосу.

Іонообмінний спосіб найбільше підходить для підготовки води у виробництві солоду, що передбачає обробку її для встановлення оптимального іонного складу. Цей спосіб підготовки води передбачає отримувати воду вільну від магnezії, і в той же час присутні солі постійної жорсткості.

При цьому способі для обробки води використовують іоніти. З метою пом'якшення води використовують H- і Na-катіоніти, у яких катіони натрію, а також водню обмінюються на катіони кальцію та магнію солей твердості.

Ключові слова: вода, ячмінь, пророщування зерна, водопідготовка

Постановка проблеми. Вода приймає участь у всіх фізіологічних та біологічних процесах. При пророщуванні ячмінного зерна вода має таке ж саме значення для протікання життєвих процесів, як і кисень.

Для утворення в зародку нових клітин та тканин необхідні «будівельні матеріали», які здатні розчинятися і переміщатися від клітини до клітини. Спочатку такі речовини присутні в незначній кількості – основна маса ендосперму зерна, що є сировиною для живлення ростучого зародка, нерозчинна, не здатна дифундувати і поставляти живлення молодому зародку, в зв'язку з чим всі, що міститься в ендоспермі, резервні речовини потрібно перевести в розчин, здатну до міграції форму. Для цього поряд з киснем необхідне введення певної кількості води, яке відбувається при замочуванні та під час пророщування.

Аналіз останніх досліджень. Властивості використовуваної води на різних підприємствах різні. Всі виробничі води представляють собою розчини солей та газів, які мають на зерно різний вплив [3].

Проникнення води у зерно залежить від її сольового складу. Сульфат кальцію, який знаходиться у воді, реагує з поліфенольними речовинами оболонки зерна, знижує їхню розчинність внаслідок утворення плівки, яка блокує мікрокапіляри і тим самим сповільнює проникнення води у зерно. Карбонат кальцію, який також знаходиться у воді, сприяє розчиненню й кращому екстрагуванню гірких речовин з оболонки і прискорює надходження води у зерно. Хлориди та солі заліза сповільнюють процеси проростання, надають зерну неприємного бурого кольору, тому небажані у воді. Такий показник, як

pH води, помітного впливу на процес замочування зерна не має. Твердість замочувальної води не повинна перевищувати 7 мг-екв/дм³ [1].

Мета досліджень – аналіз сучасних методів оброблення води для пророщування ячменю.

Результати досліджень. Підприємства з виробництва солоду користуються водою з централізованих систем водопостачання або з власних артезіанських свердловин. У першому випадку вода вже доведена до кондиції питної на спеціальних станціях. У другому випадку (що зустрічається частіше) води не може відповідати кондиції питної. Тому для приведення складу води до відповідності вимогам виробництва застосовують різні способи додаткового оброблення. Практично не існує універсального способу оброблення, щоб був придатний для води будь-якого складу.

Процес водопідготовки практично зводиться до вирішення таких завдань: видалення колоїдних, завислих і розчинних органічних речовин (очищення); зміна іонного складу (зм'якшення, знезалізнення та ін.); видалення мікроорганізмів (знезараження).

Не зважаючи на принципову різницю цих завдань, процеси, що відбуваються під час здійснення конкретних способів водопідготовки, можуть бути спільними залежно від фазно-дисперсного стану мінеральних, органічних і біологічних домішок [2].

В табл.1 наведено рекомендований склад води для солодових підприємств.

1. Рекомендований склад води для солододорощення.

Показники	Склад	
	не менше	не більше
Значення pH	5,0	9,5
Вміст, мг/дм ³ :		
CaO	70	90
Mg ²⁺	0	10
Na ⁺	0	20
HCO ₃ ⁻	10	50
Cl ⁻	30	80
SO ₄ ²⁻	30	150
NO ₃ ⁻	0	25
SiO ₂ ²⁻	0	25
Fe ²⁺	0	0,1
NH ₄ ⁺	0	0,5
BrO ₃ ⁻	0	0,01
H ₂ S*	0	5
Залишкова лужність, мг CaCO ₃ /дм ³	0	20
Тригалометани*	0	10
Мутність**	0	0,5

*Вимірюються в мкг/дм³

**Нефелометрична одиниця

На більшості солодових заводів якість використовуваної на технологічні потреби води, особливо за вмістом солей жорсткості заліза і значенням рН, не є оптимальною, що викликає необхідність застосування різних способів водопідготовки: реагентного іоннообмінного, електродіалізного і мембранного, заснованого на принципі зворотного осмосу.

Іонообмінний спосіб. Найбільш близьким є спосіб підготовки води для виробництва солоду, що передбачає обробку її для встановлення оптимального іонного складу. Цей спосіб підготовки води передбачає отримувати воду вільну від магnezії, і в той же час присутні солі постійної жорсткості. При цьому способі для обробки води використовують іоніти. З метою пом'якшення води використовують Н- і Na-катіоніти, у яких катіони натрію, а також водню обмінюються на катіони кальцію та магнію солей твердості. Розроблені схеми паралельного та послідовного водень- кальцій-катіонування. У схемі послідовного використання катіонітів вода пом'якшується у водень-катіонітовому фільтрі, змішується у потоці з вихідною водою для нейтралізації кислот, проходить через декарбонізатор для видалення CO_2 , а потім через проміжний збірник насосом подається на кальцій-катіонітовий фільтр й надходить у збірник обробленої води. Цей спосіб дає змогу знизити лужність води і збагатити її іонами кальцію [1].

Рекомендований для вод з солевмістом до $1,5 \text{ г/дм}^3$, оскільки витрата реагентів на регенерацію іонообмінних смол істотно зростає із збільшенням солевмісту вихідної води. При вмісті солей $1,5 \dots 10 \text{ г/дм}^3$ економічно виправданий електродіалізний [4].

Цей спосіб дуже складний і дороговартісний, крім того, вода, отримана таким чином, не є універсальною і має недостатньо активний потенціал.

Спосіб електродіалізу водопідготовки дозволяє отримати воду, що задовольняє вимогам солодового виробництва. Недоліком установок ЕДО є необхідність періодичної заміни дорогих мембран і невисока продуктивність. Спосіб дозволяє обробляти воду з різним солевмістом [4].

Електродіаліз являє собою перенесення іонів через іонітові мембрани під дією підведеного до них електричного поля. Для підвищення механічної міцності подрібнений іоніт змішують з інертним зв'язуючим матеріалом. Мембрани виготовляють у вигляді тонких, гнучких, прямокутних листів і рулонів. Цей спосіб водопідготовки дає змогу знизити її лужність у $2 \dots 3$, твердість – у $2,5 \dots 3$ рази, рН – $0,5 \dots 1,5$ і видалити небажані домішки [1].

Мембранний спосіб водопідготовки дозволяє отримувати воду для технологічних потреб необхідної якості при будь-якому

початковому солевмісті. Мембранним називають процес відділення певного компонента або компонентів із суміші за допомогою напівпроникної мембрани. При цьому суміш розділяється на концентрат і перміат. Концентрат містить компоненти, що утримуються мембраною, а перміат – компоненти, що проходять крізь неї. Здатність мембрани затримувати складові концентрату називається селективністю.

Ефективність мембранного процесу визначається в основному властивостями мембран. Основними характеристиками мембран є затримуюча здатність, питома продуктивність і селективність мембран, а також їх хімічна стійкість в різних розчинах при різних значеннях рН [4].

У підготовці води найефективнішим є зворотноосмотичні мембранні установки. Принцип їх роботи такий. Явище осмосу зумовлене самочинним перенесенням розчинника (води) крізь напівпроникну мембрану і затримання розчинних речовин (іони солей). Тиск, за якого настає рівновага, називається осмотичним. При цьому, якщо з боку розчину прикласти тиск, більший за осмотичний, то перенесення розчинника буде здійснюватися у зворотному напрямку. В цьому разі йдеться про зворотний осмос.

З використання зворотноосмотичних мембран можна практично повністю звільнитися від розчинних у воді речовин. Але оскільки звичайна питна вода має досить високий вміст солей, їх використання доцільне тільки після попередньої водопідготовки загальноприйнятими способами (реагентний, іонообмінний та ін.) [2].

Перевагами способу є безреагентність, мінімальний вміст солей в стічних водах і ефективне видалення органічних речовин.

До недоліків відноситься необхідність попередньої очистки від механічних домішок.

Оброблення води магнітним або електромагнітним полем. Технологічні властивості води можуть бути радикально змінені не лише шляхом регулювання хімічного складу, але і шляхом часткової зміни її молекулярної структури. Цих змін можна добитися, наприклад, за допомогою електрофізичних дій на воду магнітних і ультразвукових полів.

Збільшення активності води можливо при термообробці її за Ф.А. Летніковим в низькочастотних електромагнітних полях або ж впливом ультразвукових полів кавітаційного характеру. В першому випадку воду або її розчини нагрівають протягом декількох годин в автоклаві, підтримуючи тиск на рівні 390 кгс/см², а температуру близько 400°C. Після охолодження активована вода довготривало зберігає підвищену електропровідність і розчинну властивість.

Електрохімічний спосіб. Цих недоліків позбавлений

пропонований спосіб підготовки води для солодового виробництва, що передбачає обробку її для встановлення оптимального іонного складу. Згідно з винаходом обробку здійснюють шляхом додаванням в технологічну воду католіту або аноліту, отриманих шляхом електрохімічної активації водного розчину харчової солі з розрахунку до 10 г солі на 1 л.

В процесі солодоращення використовують аноліт, який додають у воду для дезінфекції зерна з розрахунку 8:1000 на 10 т зерна, а в останню замочну воду додають католіт в пропорції від 1:10 до 1:5 залежно від якості зерна.

У катодно обробленій воді в десятки разів зменшується концентрація іонів важких металів, на 40...50% знижується жорсткість. Анодно оброблена вода є ефективним дезінфікуючим і стерилізуючим розчином.

При використанні води, підданій обробці для замочування зерна в солодоращенні, досягається знезараження зерна без вживання спеціальних речовин, скорочення тривалості замочування на 12...24 години, збільшується енергія проростання зерна на 5...7%.

При замочуванні зерна електрохімічний активованою водою відбувається підвищення проникності оболонки зерна, прискорюється водопоглинання і перенесення живильних речовин. Це приводить до прискорення біохімічних процесів в зерні і підвищення енергії його проростання. Рівномірна гідратація ендосперма сприяє поліпшенню роботи гідролітичних ферментів, легко розчинних залишків матриці і малі крохмальні зерна. До кінця проростання ендосперм рівномірно і добре розчиняється. Зволоження свіжопророслого солоду перед ферментацією електрохімічний обробленою водою дозволяє скоротити час ферментації в 2...3 рази, підвищити якість ферментованого солоду.

Застосування електрохімічних активованої води забезпечує також високоякісну відмивання і стерилізацію будь-якого обладнання з гарантією відсутності на його поверхні мікроорганізмів будь-яких видів [4].

Висновки

Найбільш оптимальним способом є використання води з встановленим іонним складом. Для дезінфекції зерна в процесі пророщування використовується аноліт, який вноситься у виробничу воду. Суміш ретельно перемішують і витримують, після чого воду зливають і процес продовжують за графіком. В останню замочну воду задають католіт.

В результаті збільшувалася проникність клітинних мембран і стінок, створюючи умови для інтенсивного осмотичного і електроосмотичного перенесення діючих речовин католіта у

внутрішньоклітинну середу зерна.

У створеному католітом лужному середовищі гіркі речовини оболонки ячменю, що додають неприємну гіркоту пива, вилуговуються, прискорюється вологоперенесення поживних речовин всередині зерна, що призводить до прискорення біохімічних процесів, збільшення його пророщуваності.

В результаті рівномірна гідратація ендосперму сприяє швидкому накопиченню всіх видів ферментів, легко розчиняють ендосперм і крохмальні зерна ячменю, енергія проростання збільшується на 5...7%, а тривалість замочування скорочується на 12...24 год, процес ферментації прискорюється в 2...3 рази, а якість ферментованого солоду збільшується, підвищуючи екстрактивність готового солоду на 0...1,0%.

Список літератури

1. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива: підручник. Київ. ІНК ОС. 2004. 426 с.
2. Іванов С. В., Домарецький В. А., Прибильський В. Л. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства: : підручник. Київ. НУХТ. 2012. 487 с.
3. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. Санкт-Петербург. Профессия. 2007. 640 с.
4. Патент 2203936. Российская Федерация, МПК⁷ C12C1/00, C12C7/00, C12C11/00. Способ подготовки воды для пивоваренного производства. М. И. Панова, И. А. Прыткова, Г. Д. Бесова, В. А. Назин, О. А. Брюзгина.; заявитель и патентообладатель М. И. Панова, И. А. Прыткова, Г. Д. Бесова, В. А. Назин, О. А. Брюзгина. № 2002107240/13, заявл. 10.08.2002, опубл. 10.05.2003.
5. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. Москва. ДеЛи принт. 2004. 301 с.
6. *Технология* пищевых продуктов: учебник. Под ред. А. И. Украинца. Киев. Издательский дом "Аскания". 2008. 736 с.

References

1. Domaretskii, V. A. (2004). Technology of malt and beer: under the handle. Kiev. INKOS. 426.
2. Ivanov, S. V., Modaretsky, V. A., Pribylsky, V. L. (2012). Innovative technologies of fermentation and winemaking products. Kiev. NUFT. 487.
3. Narcissus, L. (2007) Short brewing course. SPb. Professional. 640.
4. Patent 2203936. Russian Federation, IPC7 C12C1/00, C12C7/00, C12C11/00. Method of preparing water for brewing production. M. I. Panova, I. A. Prytkova, G. D. Besov, V. A. Nasin, O. A. Brizgina; applicant and patent holder M. I. Panova, I. A. Prytkova, G. D. Besov, V. A. Nasin, O. A. Brizgina. No 2002107240/13; claimed. 10.08.2002; publ. 10.05.2003.
5. Ryabchikov, B. E. (2004) Modern methods of preparing water for industrial and domestic use. Moscow. DeLi print. 301.
6. *Ukrainets, A. I.* (2008). Technology of food: textbook. Kiev. Publishing House "Askania". 736.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ ДЛЯ ПРОРАЩИВАНИЯ ЯЧМЕНЯ

В. О. Ковбич, Р. Н. Мукоид, В. П. Васылив

Аннотация. В последние годы резко увеличилось и продолжается увеличиваться количество воды, потребляемой пищевыми предприятиями; непрерывно увеличивается загрязнение существующих источников водоснабжения, что приводит к ухудшению химического и микробиологического состава воды. Поэтому состав воды, используемой предприятия, очень разнообразен и соответственно он требует определенного регулирования.

В данной статье проанализированы современные методы подготовки воды, используемой для проращивания ячменя и влияние показателей воды на проращивание зерна.

На большинстве солодовых заводов качество используемой на технологические нужды воды, особенно по содержанию солей жесткости железа и значением pH, не является оптимальным, что вызывает необходимость применения различных способов водоподготовки: реагентного ионообменного, электродиализная и мембранного, основанного на принципе обратного осмоса.

Ионообменный способ больше подходит для подготовки воды в процессе производства солода, предусматривает обработку ее для установления оптимального ионного состава. Этот способ подготовки воды предусматривает получать воду свободную от магнезии, и в то же время присутствуют соли постоянной жесткости.

При этом способе для обработки воды используют иониты. С целью смягчения воды используют H- и Na-катиониты, в которых катионы натрия, а также водорода обмениваются на катионы кальция и магния солей жесткости.

Ключевые слова: вода, ячмень, проращивание зерна, водоподготовка

MODERN WAY MANUFACTURING METHODS FOR FRAGRANCE PROCESSING

V. O. Kovbich, R. N. Mukoid, V. P. Vasyliv

Abstract. In recent years, the amount of water consumed by enterprises has increased dramatically and continues to increase. the pollution of existing water supply sources is continuously increasing, which leads to deterioration of the chemical and microbiological composition of water. Because of this, the composition of the water used by the enterprises is very diverse and, accordingly, it requires some regulation.

In this article, modern methods of water preparation, which are use

to sprout barley and influence of water parameters on germination of grain, are analyzed.

In most malt plants, the quality used for technological needs of the water, especially the content of iron hardness salts and the pH value, is not optimal, which causes the need for various methods of water treatment: reagent ion exchange, electrodialysis and membrane, based on the principle of reverse osmosis.

The ion exchange method is most suitable for water preparation in malt production, which involves processing it for the establishment of optimal ionic composition. This method of water preparation involves getting water free from magnesia, and at the same time there are salts of constant rigidity.

In this method ion exchangers are used for water treatment. In order to soften the water use H- and Na-cation exchangers in which sodium cations and hydrogen are exchanged for calcium and magnesium cations of hardness salts.

Key words: *water, barley, germination of grain, water preparation*

УДК 635.21:631.3

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНИХ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

С. В. Смолінський, кандидат технічних наук

ORCID 0000-0002-8186-7049

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

e-mail: staned@ukr.net

Анотація. *Картопля є однією із найважливіших сільськогосподарських культур, які вирощуються у світі. Ефективність картоплярства істотно залежить від машин, які використовуються при вирощуванні і збиранні. Основними технічними засобами для збирання картоплі є картоплекопачі, картоплезбиральні комбайни та бадиллеподрібнювачі, які виробляються різними фірмами, відрізняються конструкцією і показниками технічної характеристики. До основних показників технічної характеристики картоплезбиральних машин належить маса машин, потужність двигуна та об'єм бункера (якщо є в конструкції машини). Метою досліджень є проаналізувати основні*

© С. В. Смолінський, 2018

показники технічної характеристики сучасної картоплезбиральної техніки у відповідності до їх типу і рядності. Оскільки подальші тенденції розвитку картоплезбиральної техніки направлені на підвищення якості і продуктивності, то за результатами проведеного аналізу показників технічної характеристики сучасних картоплезбиральних машин встановлено подальше збільшення потужності двигуна та маси машин при збільшенні рядності машини і ширини захвату. Якщо картоплезбиральний комбайн обладнано бункером, то збільшуватиметься і його місткість.

Ключові слова: картопля, збирання, бадиллеподрібнювач, картоплекопач, картоплезбиральний комбайн, технічна характеристика

Постановка проблеми. При вирощуванні картоплі однією із найбільш відповідальних, енерго- і трудомістких операцій є збирання, на яку припадає майже 40% загальних енергозатрат і до 60% затрат праці. Їх зменшення досягається застосуванням високоефективної і продуктивної збиральної техніки, яка здатна якісно і в короткий строк виконати процес. На картопляних полях України якісне збирання картоплі при різних технологіях і умовах здійснюється збиральною технікою таких відомих у світі фірм-виробників як GRIMME, AVR, ROPA, LOCKWOOD, DEWULF та інші, які мають характерні конструктивні особливості та відрізняються показниками технічної характеристики. Основними машинами для збирання картоплі, які застосовуються в залежності від способу і особливостей виконання технологічних операцій, є картоплекопачі (роторні або просіваючого типу) та картоплезбиральні комбайни [1-6]. Для видалення картопляного бадилля застосовують бадиллеподрібнювачі роторного типу, які начіплюють попереду або позаду на трактор чи безпосередньо на самохідний комбайн.

Одним із шляхів підвищення ефективності збирання картоплі є вибір картоплезбиральних машин з відповідними характеристиками для даних ґрунтово-кліматичних та господарських умов [7–10]. Для прийняття рішень щодо вибору техніки виникає потреба провести аналіз показників технічної характеристики сучасних картоплезбиральних машин.

Аналіз останніх досліджень. В більшості досліджень і публікацій [1–5, 11, 14, 15] наведено аналіз конструктивних особливостей картоплезбиральних машин і їх робочих органів, а також особливості їх використання.

В результаті аналізу літературних джерел та проспектів фірм-виробників сучасної картоплезбиральної техніки [1–4, 7, 12], а також внаслідок експертної оцінки встановлено, що серед основних

показників технічної характеристики особливу увагу слід приділити рядності машини і її ширини захвату, масі машини і потужності енергетичного засобу [13]. У разі наявності бункера слід звернути увагу також і на його місткість.

Метою досліджень є проаналізувати основні показники технічної характеристики сучасної картоплезбиральної техніки у відповідності до їх типу.

Результати досліджень. Рівень сучасної техніки і організація виробництва визначили більш широке застосування при збиранні картоплі картоплезбиральних комбайнів (рис. 1), що забезпечують послідовне виконання всіх технологічних операцій починаючи з підкопування рядка (деякі самохідні машини також видаляють бадилля) до очищення і завантаження бульб у транспортні засоби за один прохід. Картоплезбиральні комбайни виробництва ведучих фірм-виробників GRIMME, AVR, ROPA, LOCKWOOD, DEWULF і т.д. бувають одно-, дво-, три- і чотирирядного виконання, тракторного (причіпного або напівначіпного) і самохідного типів. Крім того, більшість картоплезбиральних комбайнів мають власні бункери-накопичувачі для бульб, хоча існує можливість прямого завантаження зібраних бульб у транспортні засоби без потреби у бункері. Комбайни можуть також обладнуватися сортувальними і перебиральними пристроями.



Рис. 1. Самохідний картоплезбиральний комбайн AVR PUMA 3.

В результаті аналізу показників технічної характеристики встановлено наступне:

а) для тракторних комбайнів: потужність двигуна трактора становить: для однорядних комбайнів – 40...60 кВт, дворядних – 65...149 кВт, трирядних – 115...168 кВт, чотирирядних – близько 186 кВт; маса машини складає: для однорядних – 3,8...5,1 т (навіть до 6,5 т), дворядних – 5,96...13,5 т; місткість бункера: для

однорядних – 2,0...6,0 т, дворядних – 6,0...9,0 т, трирядних – близько 9,5 т;

б) для самохідних комбайнів: потужність двигуна: для дворядних – 168...260 кВт, трирядних – близько 186 кВт, чотирирядних – 186...469 кВт; маса машини: для дворядних – 14,9...19,3 т; трирядних – близько 18 т, чотирирядних – 18...29,5 т; місткість бункера: для дворядних – близько 7,0 т, чотирирядних – 7...15 т.

На основі аналізу отриманих даних впливає, що для комбайнів всіх виробників зі збільшенням рядності машини (а, отже, і ширини захвату) необхідно машину обладнувати двигуном більшої потужності або агрегатувати із більш потужними енергетичними засобами (тракторами). При цьому збільшуватиметься і місткість бункера, яким обладнуватиметься комбайн. Крім того, при порівнянні показників технічної характеристики тракторних і самохідних картоплезбиральних комбайнів, значення маси машини, місткості бункера і необхідної потужності більшими є для самохідного типу, ніж для причіпного.

Картоплекопачі (рис. 2) переважно просіваючого типу при русі вздовж рядка підкопувальними робочими органами підрізають бульбоносний шар ґрунту і передають у розрихленому стані на просіваючі сепаруючі робочі органи, на поверхні яких дрібний ґрунт просівається, а бульби укладаються на поверхню поля для подальшого їх підбирання. Їх застосування є особливо ефективним на дрібноконтурних ділянках при відсутності каміння, а також на різних типах перезволожених ґрунтів.



Рис. 2. Картоплекопач GRIMME WR200.

Більшість фірм-виробників на світовому ринку техніки пропонують дворядний варіант машин, хоча існують також марки однорядних картоплекопачів. Фірма LOCKWOOD виготовляє також чотири- і навіть шестирядні картоплекопачі. Для картоплекопачів потужність двигуна трактора, з яким агрегатуватиметься машина

становить для однорядних – 7,5...18,0 кВт, дворядних – 22...75 кВт, при масі однорядних машин – 135...420 кг, а дворядних – 730...3230 кг.

Відомими також є картоплекопачі роторного типу, які найбільш доцільно використовувати на дрібноконтурних ділянках і полях засмічених камінням, а також на важких перезволожених ґрунтах. При виконанні таким картоплекопачами робочого процесу бульбоносний шар ґрунту в рядку підкопується і відкидається внаслідок взаємодії з ротором перпендикулярно поздовжньої осі рядка, а це призводить до відокремлення бульб від домішок і укладання їх на поверхню поля у валки шириною 1,0...3,0 м. Відомі марки таких картоплекопачів агрегуються з тракторам малої потужності і навіть мотоблоками.

Щодо бадиллеподрібнювачів, то вони виготовляються у начпному варіанті з роторним апаратом суцільного безпідпільного зрізування. Вони можуть агрегуватися з трактором (з переднім або заднім начплюванням) чи виконувати процес в складі самохідного картоплезбирального комбайна. Сучасні бадиллеподрібнювачі (рис. 3) виробництва фірм GRIMME та AVR одночасно видаляють гички з 2, 4 або 6 рядків.



Рис. 3. Бадиллеподрібнювач GRIMME KS 75-4.

При цьому, при збільшенні рядності машин збільшуватиметься їх маса і потужність енергетичних засобів, з якими агрегуватимуться. Так, бадиллеподрібнювачі виробництва фірм GRIMME марки KS вгтовляються у дворядному KS 75-2 і чотирирядному KS 75-4 варіантах з масою 700 і 950 кг відповідно, а агрегуються з тракторами потужністю 35 і 45 кВт; чотирирядний та шестирядний начпні бадиллеподрібнювачі цієї ж фірми KS3600 і KS5400 мають конструктивну масу 1150 і 1750 кг, а необхідна потужність енергетичного засобу складає відповідно 55 і 80 кВт; бадиллеподрібнювачі Rafale фірми AVR мають дво- і чотирирядні варіанти виконання з конструктивною масою 650 і 990...1075 кг та потужністю енергетичного засобу 40 і 51...66 кВт відповідно. Фірмою

GRIMME також виготовляються начіпні бадиллеподрібнювачі до самохідних картоплезбиральних комбайнів: дворядний НТ200 масою 700 кг та з більшою масою чотирирядний НТ400. Рядність бадиллеподрібнювачів має відповідати рядності комбайну. Тому в цьому випадку, більшій рядності комбайна і бадиллепотрібнювача відповідатиме більша потужність двигуна.

Висновки

Подальший розвиток картоплярства щільно пов'язаний із ефективним застосуванням техніки, у тому ж числі і збиральної. До основних типів збиральної техніки для картоплярства слід віднести картоплезбиральні комбайни, картоплекопачі та бадиллеподрібнювачі, які знайшли застосування при різних умовах збирання. Оскільки подальші тенденції розвитку картоплезбиральної техніки направлені на підвищення якості і продуктивності, то за результатами проведеного аналізу показників технічної характеристики сучасних картоплезбиральних машин впливає, що зі збільшенням рядності машини і ширини захвату збільшуватиметься потужність двигуна та маса машини (у разі обладнання картоплезбирального комбайна бункером) збільшуватиметься і його місткість.

Список літератури

1. *Петров Г. Д.* Картофелеуборочные машины. Москва. Машиностроение. 1984. 320 с.
2. *Смолінський С., Смолінська А., Марченко В.* Машины та знаряддя для механізованого збирання картоплі. Агроексперт. 2016. № 9. С. 74–78.
3. *Борычев С. Н.* Технологии и машины для механизированной уборки картофеля (обзор, теория, расчет). Рязань. РГСХА. 2006. 201 с.
4. *Сорокин А. А.* Теория и расчет картофелеуборочных машин. Москва. ВИМ. 2006. 158 с.
5. *Kanafojski Cz.* Halmfruchterntemaschinen. Berlin. VEB Verlag Technik. 1974. 476 s.
6. *Karwowski T.* Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Warszawa. PWRiL. 1982. 429 p.
7. *Думич В., Паскарик В.* Дослідження ефективності роботи картоплезбиральних машин. Техніка і технології АПК. 2012. № 5. С. 22–25.
8. *Грушецький С. М., Борис М. М.* Тенденції розвитку машин для вирощування картоплі. Збірник наук. праць Вінницького національного аграрного університету. 2010. № 5. С. 154–163.
9. *Колчин Н. Н., Бышов Н. В., Борычев С. Н.* Основные тенденции развития высокопроизводительной техники для картофелеводства. Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 4. С. 46–51.
10. *Peters R.* Trends in der Kartoffeltechnik. Landtechnik. 2003. Jg. 58. Heft 8. S. 366–367.
11. *Lisowski A.* Wplyw czynnikow technicznych i eksploatacyjnych na prace agregatu do zbioru ziemniakow. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, 2000. 107 p.
12. *Проспекти* фірм-виробників картоплезбиральних машин.
13. *ДСТУ 7794-2015.* Машины для збирання картоплі. Методи випробувань. 25 с.

14. *Holzapfel G.* Landtechnik heute und morgen. Berlin. VEB Verlag Technik. 1976. 231 s.
15. *Роговский Иван.* Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Tom 16. №3. P. 296–302.

References

1. *Petrov, G. D.* (1984). Potato harvester. Moscow. Engineering. 320.
2. *Smolinskiy, S., Smolinsky, A., Marchenko, V.* (2016). Machines and tools for mechanical harvesting of potatoes. Agroexpert. No 9. 74–78.
3. *Borichev, S. N.* (2006). Technology and machines for mechanical harvesting of potatoes (overview, theory, calculation). Ryazan. RGSA. 201.
4. *Sorokin, A. A.* (2006). Theory and calculation of potato machines. Moscow. IZM. 158.
5. *Kanafojski, Cz.* (1974). Halmfruchterntemaschinen. Berlin. VEB Verlag Technik. 476.
6. *Karwowski, T.* (1982). Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Warszawa. PWRiL. 429.
7. *Dumich, V., Pekarik, V.* (2012). Study of effectiveness of potatoes machines. Equipment and technologies of agroindustrial complex. No 5. 22–25.
8. *Grushetsky S. M., Borys M. M.* (2010). Trends in development of machinery for cultivation of potatoes. A collection of sciences papers of Vinnytsia National Agrarian University. No 5. 154–163.
9. *Kolchin, N. N., Byshov, N. V., Borichev, S. N.* (2012). Main trends in the development of high-performance equipment for potato growing. Tractors and farm machinery. No 4. 46–51.
10. *Peters R.* (2003). Trends in der Kartoffeltechnik. Landtechnik. Jg 58. Heft 8. 366–367.
11. *Lisowski, A.* (2000). Wplyw czynnikow technicznych i eksploatacyjnych na prace agregatu do zbioru ziemniakow. Warszawa: Wydawnictwo SGGW. 107.
12. *Brochures of manufacturers kartoplyana machines.*
13. *DSTU 7794* (2015). Machines for harvesting potatoes. Test methods. 25.
14. *Holzapfel, G.* (1976). Landtechnik heute und morgen. Berlin. VEB Verlag Technik. 1976. 231.
15. *Rogovskii Ivan.* (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Tom 16. № 3. 296–302.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ КАРТОПЛЕУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

С. В. Смолинский

Аннотация. Картофель является одной из важнейших сельскохозяйственных культур, выращиваемых в мире. Эффективность картофелеводства существенно зависит от машин, которые используются при выращивании и уборке. Основными техническими средствами для уборки картофеля являются картофелекопатели, картофелеуборочные комбайны и ботвоизмельчители, которые производятся различными фирмам, отличаются конструкцией и показателями технической

характеристики. К основным показателям технической характеристики картофелеуборочных машин относятся масса машин, мощность двигателя и объем бункера (если есть в конструкции машины). Целью исследований является проанализировать основные показатели технической характеристики современной картофелеуборочной техники в соответствии с их типом и рядностью. Поскольку дальнейшие тенденции развития картофелеуборочной техники направлены на повышение качества и производительности, то по результатам проведенного анализа показателей технической характеристики современных картофелеуборочных машин установлено дальнейшее увеличение мощности двигателя и массы машин с увеличением рядности машины и ширины захвата. Если картофелеуборочный комбайн оборудован бункером, то будет увеличиваться также и его емкость.

Ключевые слова: картофель, уборка, измельчитель ботвы, картофелекопатель, картофелеуборочный комбайн, техническая характеристика

ANALYSIS OF MAIN INDICATORS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MODERN POTATO HARVESTER MACHINES **S. V. Smolinski**

Abstract. Potatoes are one of the most important crops grown in the world. The effectiveness of potato depends significantly on machines to use by growing and harvesting. The main machinery for potato harvesting are potato digger, potato harvester and straw chopper to product by different firms, to differ in design and technical characteristics. The main parameters of the technical characteristics for potato harvester are the mass of machines, the engine power and bunker capacity. The purpose of the research is to analyze the main parameters of the technical characteristics for modern potato harvester in accordance their type and rows number. As further trends in the development of potato harvesters are the improving quality and productivity and the results of the analysis of the technical characteristics of modern potato harvesting machines have established further increase in engine power and mass of machines with increasing rows number of the machine and the operating width. If the potato harvester is equipped a bunker, then its capacity will increase too.

Key words: potatoes, harvesting, straw chopper, potato digger, potato harvester, technical characteristics

**ЗАКОНОМІРНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ НЕЛОКАЛІЗОВАНОГО
ПОШКОДЖЕННЯ У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Г. Г. Писаренко, доктор технічних наук
ORCID 0000-0002-5381-5386**

**Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України
О. В. Войналович, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-9321-2672**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

**А. М. Майло, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-4762-0886**

**Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України
e-mail: voynalov@bigmir.net, mayloa@ukr.net**

Анотація. У даній роботі оцінювали статистичні характеристики розсіяння енергії пружних коливань за параметрами дисперсії виміряного зсуву фаз напружень хвилі пружних деформацій, локально ініційованих у зоні контакту з поверхневим шаром металу хвилеводу резонансної коливальної електромеханічної системи. Метод дозволяє виявити закономірності накопичення розсіяного пошкодження конструкційного елементу за експлуатаційного навантажування, використавши методологічні підходи, застосовані у роботі до лабораторних зразків сталей і сплавів, як модельних об'єктів металоконструкцій.

Встановлено, що зниження дисперсії дискретної непружності спричиняє зміцнення конструкційного матеріалу, а зростання – знеміцнення. Виявлена циклічність кінетики непружності не залежить від амплітуди напружень циклу і проявляє стохастичну закономірність. Для аналізу отриманої експериментальної послідовності використано рекурентну формулу, що характеризує еволюцію енергетичного стану перед зруйнуванням локального об'єму полікристалічного матеріалу і використовує універсальну сталу руйнування.

На основі запропонованої методики встановлено, що кількість циклів навантажування N_1 відповідає стану конструкційного матеріалу першої точки біфуркації. Розраховані наступні значення (N_2 , N_3 , N_4 , N_5 , N_6) кількості циклів відповідають певним точкам

© Г. Г. Писаренко, О. В. Войналович, А. М. Майло, 2018

біфуркацій на діаграмі накопичення втомного пошкодження за даними дискретного вимірювання, що дозволяє спрогнозувати довговічність до зруйнування дослідженого зразка поверхневою макротріщиною.

Запропонований підхід до аналізу характеристик розсіяного пошкодження на основі локальних властивостей непружності конструкційних матеріалів зберігає переваги прямих методів дослідження опору втомі матеріалу лабораторних зразків і створює нові можливості для визначення поточного стану пошкодження елемента конструкції.

Ключові слова: *втома, непружність, розсіяне пошкодження, мікропластичні деформації, точки біфуркації*

Поставлення проблеми. Статистичні закономірності накопичення масиву тріщин втоми у деталях (вузлах) тракторів після тривалої експлуатації (до 17 років) проаналізовано у роботі [1]. Кінетику цього статистичного процесу можна з певним ступенем достовірності апроксимувати експоненційною функцією. Закономірності кінетики накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей окремих систем (вузлів) тракторів аналогічні кінетиці деформаційного гістерезису поверхневого шару металоконструкції, представлений у термінах фрактальної розмірності поверхні параметром Херста H [2]. Відмінність полягає у різних швидкостях динамічних процесів механічного навантажування лабораторних зразків і натурних деталей. Тому для встановлення критичної тривалості експлуатації тракторів за критеріями безпеки доцільно визначати граничні характеристики накопичення втомного пошкодження в лабораторних зразках та спрогнозувати їх для реальних об'єктів, скориставшись методами формальної аналогії.

Отримання характеристик витривалості конструкційних матеріалів із заданою достовірністю пов'язано з руйнівними випробуваннями значної кількості зразків. Зруйновані за ідентичних умов лабораторні зразки характеризуються ідентичним ступенем локалізації структури, якої можна досягти за різної кількості циклів навантажування. Однією їх причин цього є відмінність початкових значень індивідуальних характеристик локального руйнування зразків з неоднорідною структурою фізико-механічних властивостей.

Основою розрахунків довговічності конструкційних матеріалів є дані втомних випробувань, в яких використовують середнє значення накопиченої енергії за результатами інтегральних методів вимірювань. Як відомо, метод дає медіанне або усереднене поточне значення інтегральної енергії накопиченої деформації, розсіяної у

зразку, миттєве значення якої в дискретної точці поверхні зростає з нерегулярною монотонністю до стадії локального руйнування.

Механічні властивості сталей і сплавів за змінного навантажування виявляють певну нестабільність, змінюючи їх дисипативні характеристики, зокрема небезпечну щодо зруйнування частину розсіяної у циклічно навантаженому матеріалі енергії. Зазначена нестабільність ускладнює отримання достовірних значень механічних властивостей матеріалу, адже для визначення характеристик опору втомі здебільшого використовують усереднене значення дисипативної енергії.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні методи дослідження нелокалізованого пошкодження [3] дозволяють врахувати локальні особливості структурних елементів пружно-пластичного тіла щодо накопичення енергії пластичного деформування за цикл навантажування. Тобто з'являється можливість безпосередньо оцінити граничну величину питомої енергії деформування на стадії зароджування магістральної втомної тріщини, врахувати ступінь пошкодженості матеріалу в початковому стані, визначити поточні значення накопиченого втомного пошкодження, спричиненого мікропластичним перетворенням структури матеріалу під час циклічного деформування лабораторних зразків.

Характерною особливістю кінетичних характеристик структурних властивостей сталей і сплавів є прояв нестабільності під час навантажування до остаточного зруйнування [4]. Загальну довговічність за втомі матеріалу визначають згідно із підсумованою тривалістю стадій інкубаційного розвитку тріщини і активного поширення макротріщини [5]. Достовірність результатів прогнозування забезпечується ймовірнісними характеристиками визначеної границі витривалості за даними усереднення результатів руйнівних випробувань лабораторних зразків.

У роботах дослідників групи академіка Троценка [6] широке застосування отримав інтегральний метод аналізу міцності і довговічності за параметрами площі петлі гістерезису, що характеризує енергію, накопичену в матеріалі за цикл, та забезпечує контроль поточного стану пошкодження, розсіяного у структурі матеріалу, а також цикли зміцнення і знеміцнення.

З огляду на те, що умови зародження макротріщини характеризуються локальними структурними особливостями напружено-деформованого стану [7], то можлива причина розкидання експериментальних результатів втомних випробувань полягає у відмінності розрахункових значень напружень і місцевих, які діють у мікроструктурі зони локалізації процесу зародження малих тріщин. Періодичність процесу розсіяного руйнування проявляється і у зміні

мікромеханізмів деформування на стадії інкубаційного процесу розвитку втоми, пов'язаній з впливом локальних механізмів розсіяного руйнування.

З позицій застосування такого підходу з'являється можливість оцінити циклічність характеристики накопичення пошкодження у навантаженому матеріалі як результат спільної реакції різних масштабних рівнів на циклічне деформування. Таку взаємодію різних процесів можна врахувати за допомогою синергетичної моделі [8, 9]. У літературі накопичено значний обсяг експериментального матеріалу щодо впливу циклічного навантажування на дискретні процеси, що відбуваються у структурі різних класів матеріалів за втоми, а також про вплив технологічних, конструкційних і експлуатаційних факторів [10]. Модельні уявлення про механізм накопичення втомного пошкодження враховують загальні положення механіки деформованого твердого тіла і є відображенням процесу вичерпання ресурсу пластичності, який однаковий для всіх стадій руйнування матеріалу [11].

Мета досліджень. Виявлення закономірностей накопичення розсіяного пошкодження у поверхневих шарах матеріалу за змінного навантажування лабораторних зразків сталей і сплавів, як модельних елементів поверхні конструкційного елементу.

Результати досліджень. У даній роботі параметри розсіювання енергії пружних коливань на елементах нелокалізованого пошкодження у локальному об'ємі матеріалу оцінювали у вигляді статистичних характеристик вимірюного зсуву фаз напружень і деформацій хвилі, локально ініційованої у зоні пружного контакту з поверхневим шаром металу хвилевводу резонансної коливальної електромеханічної системи [12] з високим коефіцієнтом електромеханічного зв'язку, що забезпечує контроль параметра пошкоженості у локально навантаженій зоні досліджуваного матеріалу для заданого рівня еквівалентних напружень.

На рис. 1 і рис. 2 показано кінетичні характеристики розсіяного пошкодження конструкційних сплавів, на яких нестабільність непружних деформацій проявляється за циклічного навантажування через процеси зміцнення-знеміцнення матеріалу.

Зниження характеристики пошкоджуваності свідчить про зменшення ступеню неоднорідності розподілу мікропластичних деформацій щодо початкового стану матеріалу. З огляду на розсіяний характер пошкодження за втоми матеріалів, більша дисперсія кута зсуву фаз відповідає більшому пошкодженню, а менша – меншому. Отже, зниження характеристики пошкодження асоціюється із зміцненням конструкційного матеріалу, а зростання – з його знеміцненням.

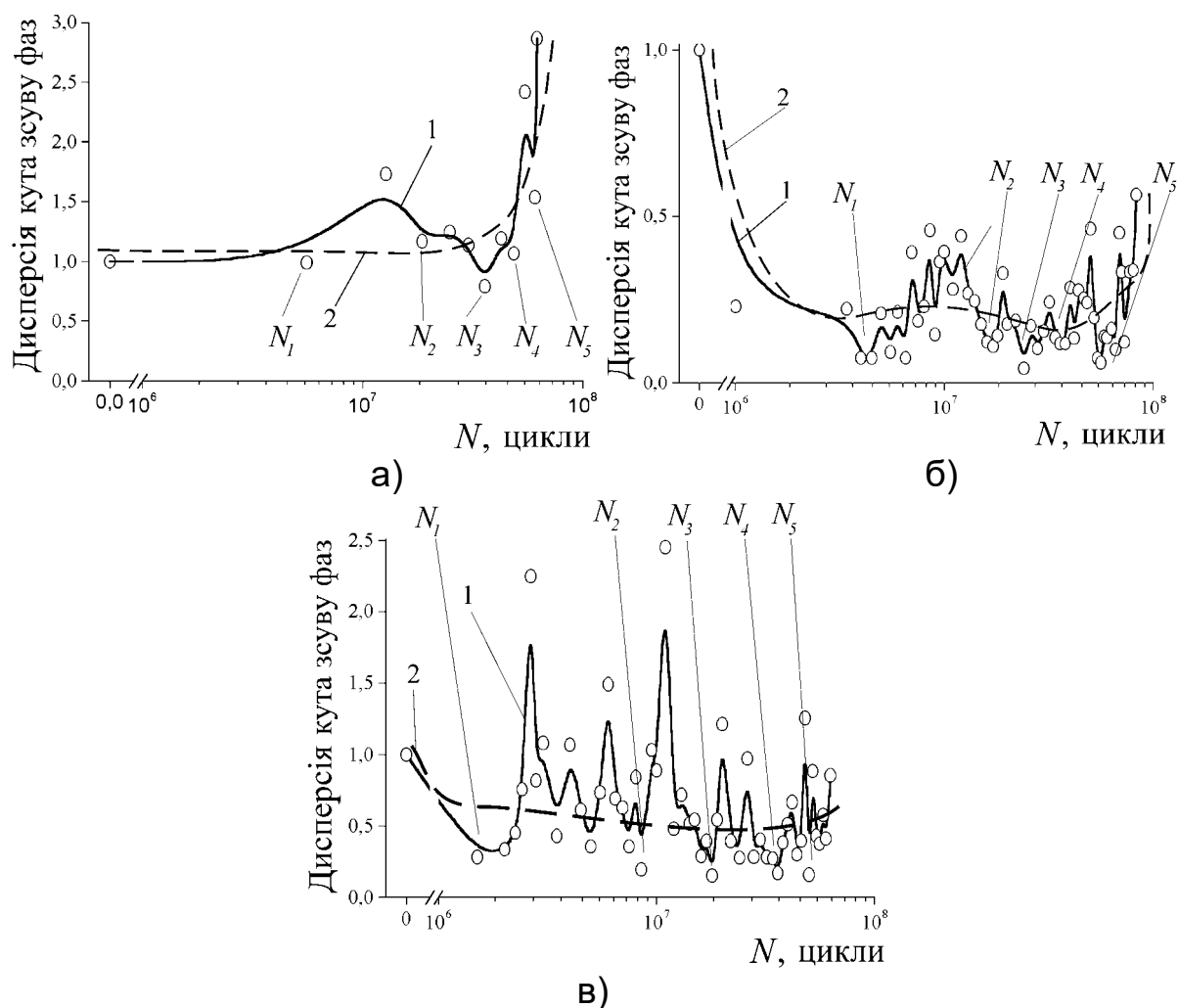


Рис. 1. Кінетичні характеристики (1 – експериментальна; 2 – усереднена) розсіяного пошкодження зразків алюмінієвого сплаву АМг6Н для різних значень амплітуди циклічних напружень (а – $\sigma_a = 65$ МПа; б – $\sigma_a = 73$ МПа; в – $\sigma_a = 84$ МПа) та виділені екстремуми зміцнення N_i .

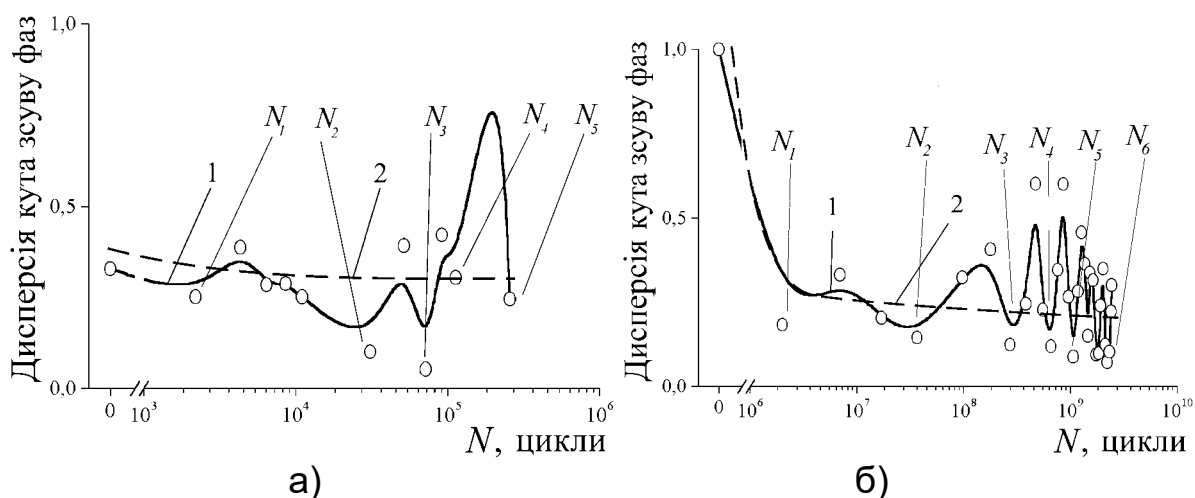


Рис. 2. Кінетичні характеристики (1 – експериментальна; 2 – усереднена) розсіяного пошкодження титанових сплавів (а – ТТ-5В, $\sigma_a = 300$ МПа; б – ОТ4-1, $\sigma_a = 122$ МПа) та виділені екстремуми зміцнення N_i .

Початкове зниження характеристики розсіяного пошкодження під час циклічного навантажування відбувається до певного значення відносної довговічності, що зафіксовано на кожній з представлених діаграм, на рівні близько 10% N/N_p . Наступне навантажування супроводжується зростанням характеристики. Отже, на кінетичній характеристиці існує екстремум (перший мінімум зміцнення N_1), що відповідає 10% N/N_p . Така динаміка пошкодження на початковому етапі навантажування відповідає циклічно зміцнюваному матеріалу. Першій стадії втоми (інкубаційній) з узагальненої діаграми втоми відповідає період 10% навантажування, отже, перший екстремум на характеристиці пошкодження відповідає переходу від інкубаційної стадії втоми до наступної (утворення субмікроскопічних тріщин), а у матеріалі відсутні незворотні пошкодження, які мають властивість «заліковуватися». На діаграмах втоми такий стан пошкодження матеріалу відповідає лінії Френча.

З рис. 1 і рис. 2 видно, що виявлена повторюваність екстремумів кінетичної характеристики непружності проявляє стохастичну закономірність, для аналізу якої було використано рекурентну формулу:

$$\frac{N_n}{N_{n+1}} = \Delta^{1/2^{(n+1)}},$$

де: N_n – кількість циклів напрацювання, що відповідає n -ному члену ряду; $N_n + 1$ – кількість циклів для наступного члена ряду, $n = 1, 2, 3, \dots, i$; Δ – універсальна стала руйнування, що характеризує енергетичний стан навантаженого локального об'єму полікристалічного матеріалу.

Для досліджених матеріалів (алюмінієві та титанові сплави) середні значення сталих руйнування відповідно дорівнюють 0,22 і 0,12. То ж було отримано наступні розрахункові члени ряду: $N_1/N_2 = 0,22$; $N_2/N_3 = 0,47$; $N_3/N_4 = 0,68$; $N_4/N_5 = 0,82$; $N_5/N_6 = 0,91$... – для алюмінієвих сплавів та $N_1/N_2 = 0,12$; $N_2/N_3 = 0,34$; $N_3/N_4 = 0,59$; $N_4/N_5 = 0,76$; $N_5/N_6 = 0,87$... – для титанових сплавів.

Проаналізувавши рекурентний ряд, можна зробити висновок, що якщо відомо кількість циклів N_1 , що відповідає стану матеріалу першої точки біфуркації, то можна розрахувати наступні значення (N_2, N_3, N_4, N_5, N_6) кількості циклів, які відповідають точкам біфуркації визначеної серії.

Як перший член рекурентного ряду N_1 вибирали кількість циклів, що відповідала першому мінімуму на характеристиці пошкоджуваності (перший екстремум зміцнення), і розраховували наступні значення ($N_2, N_3, N_4, \dots$) за рекурентною формулою. Якщо похибка розбіжності експериментального і розрахункового рядів

перебувала у межах допустимої, то значення кількості циклів першого екстремуму зміцнення вибирали за дійсне N_1 , в іншому випадку розрахунок продовжували за методом послідовних наближень. У наступному наближенні вважали, що кількість циклів першого екстремуму відповідає другому члену розрахункового ряду (N_2) і повторно проводили розрахунок членів ряду ($N_3, N_4, \dots$) з подальшим оцінюванням похибки. Розрахунок продовжували, поки похибка між значеннями розрахункового і експериментального рядів не ставала менше допустимих значень. Отже, кількість циклів, що відповідають кожній зоні екстремуму зміцнення ($N_1, N_2, N_3, N_4, \dots$) на характеристиках пошкодження, відповідає одній серії розрахункового ряду. У діапазоні довговічностей спостерігається чергування таких екстремумів, періодичність яких не залежить від амплітуди напружень циклу. Відповідно до формули рекурентного ряду було проведено зіставлення екстремумів кожної з отриманих характеристик дискретної моделі пошкоджуваності з членами розрахункового ряду.

Викладена вище методологія узгоджується з положеннями про те, що структурно-неоднорідний матеріал – це енергетично нестабільна система, про що свідчить нелінійність характеристики деформування в координатах «напруження-деформація» [13]. Під час навантажування полікристалічний матеріал виявляє динамічну нестійкість структуру багаторівневої дисипативної системи. За механічного навантажування такої системи відбуваються зміни у структурі полікристалічного матеріалу, що визначають його граничний стан. У момент досягнення граничного стану відбуваються стрибкоподібні зміни енергетичного стану за умови готовності матеріалу до переходу до іншого стану, що реалізовується фазовим переходом або біфуркацією.

Точка біфуркації характеризує досягнення критичного рівня збереженої енергії в локальному об'ємі, за якого незначні її зміни здатні під дією внутрішньої енергії ініціювати процес самоорганізації дисипативної структури. Характеризується стрибкоподібною зміною механізму, яка може бути реалізована у вигляді переходу на інший масштабний рівень розсіяного пошкодження структури або до локального руйнування.

Висновки. Запропонований підхід до аналізу характеристик розсіяного пошкодження на основі локальних властивостей непружності конструкційних матеріалів зберігає переваги прямих методів дослідження опору втомі матеріалу лабораторних зразків і створює нові можливості для визначення поточного стану елемента конструкції. Запропонований статистичний підхід забезпечує достовірну реалізацію локального визначення експериментальної характеристики непружності з виокремленням по площі поверхні, яку

можна порівняти з розміром зони локалізації втомного руйнування у разі пружно-пластичного деформування.

Список літератури

1. *Voinalovych A. V., Motrich M. N.* Control of technical state of agricultural aggregates by facilities of fault detection. *Mechanization in agriculture*. 2015. Issue 12/2015. Bulgaria. P. 29–31.
2. *Pisarenko G. G., Voynalovich O. V., Mailo A. M.* Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування. Праці V Міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19-22 вересня 2017 року). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2017. С. 38–41.
3. *Писаренко Г. Г., Майло А. Н.* Определение закономерностей повреждаемости стали Х18Н10Т при циклических нагрузках R/S методом. Вібрації в техніці та технологіях. 2015. № 1 (77). С. 28–33.
4. *Ботвина Л. Р.* Гигацикловая усталость новая проблема физики и механики разрушения. *Зав. лаб. диагностирования материалов*. 2004. Т. 70. № 4. С. 41–51.
5. *Ботвина Л. Р., Тетюева Т. В., Иоффе А. В.* Стадийность множественного разрушения низколегированных сталей в среде сероводорода. *МиТОМ*. 1998. № 2. С. 14–22.
6. *Троценко В. Т.* Усталость металлов при неоднородном напряженном состоянии. Киев. Институт проблем прочности имени Г. С. Писаренко НАН Украины. 2011. 129 с.
7. *Миндюк В. Д., Карпаш М. О., Доценко Е. Р.* Експериментальна перевірка характеру зв'язку між параметрами мікроструктури і фізичними властивостями матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації для оцінки ступеню їх деградації. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2013. № 3 (71). С. 153–163.
8. *Трубецков Д. И.* Введение в синергетику. Хаос и структуры. 4-е изд. Москва. URSS. Либроком. 2011. 235 с.
9. *Иванова В. С., Баланкин А. С., Бунин И. Ж.* Синергетика и фракталы в материаловедении. Москва. Наука. 1994. 383 с.
10. *Данилов В. И., Зуев Л. Б.* Макролокализация пластической деформации и стадийность пластического течения в поликристаллических металлах и сплавах. *Успехи физики металлов*. 2008. № 8. С. 371–422.
11. *Яковлева Т. Ю.* Локальная пластическая деформация и усталость металлов. Київ. Наукова думка. 2003. 236 с.
12. *Войналович О. В., Писаренко Г. Г., Майло А. Н.* Спосіб визначення стану граничного пошкодження металоконструкцій за кінетичними параметрами нелокалізованого пошкодження. Патент України на корисну модель № 118616. Бюл. № 15 від 10.08.2017 р.
13. *Мишакин В. В., Родюшкин В. М.* Нелинейность как индикатор преддефектного состояния материала. *Вестник научно-технического развития*. 2010. № 10. С. 18–25.

References

1. *Voinalovych, O. V., Motrich, M. M.* (2015). Control of technical state of agricultural aggregates by facilities of fault detection. *Mechanization in agriculture*. Issue 12/2015, Bulgaria. 29–31.

2. *Pisarenko, G. G., Voynalovich, O. V., Mailo, A. M.* (2017). Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. Damage of materials during operation, methods of diagnosing and forecasting. Proceedings of V International scientific-technical conference (Kiev 19-22 September 2017). Ternopil: Ternopil national technical University named after Ivan Pului. 2017. 38–41.
3. *Pisarenko, G. G., Mailo, A. M.* (2015). Determining patterns of damage of steel X18H10T under cyclic loads R/S method. Vibration in engineering and technology. No 1 (77). 28–33.
4. *Botvina, L. P.* (2004). Gigacycle fatigue, a new problem of physics and mechanics of destruction. Head. lab. diagnostic materials. Vol. 70. No 4. 41–51.
5. *Botvina, L. G., Tetyueva, T. B., Joffe, A. B.* (1998). Stages of multiple fracture of low alloy steels in the environment of hydrogen sulfide. Duty. No 2. 14–22.
6. *Troshchenko, V. T.* (2011). Fatigue of metals under nonuniform stressed state. Kiev. Institute for problems of strength named after G. S. Pisarenko NAS of Ukraine. 129.
7. *Mendyk, V. D., Karpash, M. A., Dotsenko, E. G.* (2013). Experimental verification of the nature of the relationship between microstructure parameters and physical properties of metal materials long-term operation to assess the degree of degradation. Bulletin of the Ternopil National Technical University. No 3 (71). 153–163.
8. *Trubetskov, D. S.* (2011). Introduction to synergetics. Chaos and structure. 4-e Izd. Moscow. URSS. Librokom. 235.
9. *Ivanova, V. S., Balankin, A. S., Bunin, I. Zh.* (1994). Synergetics and fractals in materials science. Moscow. Science. 383.
10. *Danilov, V. I., Zuev, L. B.* (2008). Microlocalization plastic deformation and stages of plastic flow in polycrystalline metals and alloys. The successes of physics of metals. No 8. 371–422.
11. *Yakovleva, T. Yu.* (2003). Local plastic deformation and fatigue of metals. Kiev. Scientific thought. 236.
12. *Voynalovich, O. V., Pisarenko, G. G., Majlo, A. N.* (2017). Method of determining the limit of damage of the metal on the kinetic parameters of non-localized damage. Patent of Ukraine for useful model No. 118616. Bull. No. 15 of 10.08.2017.
13. *Myshakyn, V. V., Rodjushkyn, V. M.* (2010). Nonlinearity as indicator predefoltnom state of the material. Bulletin of scientific-technical development. No 10. 18–25.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ НЕЛОКАЛИЗОВАННОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г. Г. Писаренко, А. В. Войналович, А. Н. Майло

Аннотация. В данной работе оценивали статистические характеристики рассеяния энергии упругих колебаний по параметрам дисперсии измеренного сдвига фаз напряжений волны упругих деформаций, локально инициированных в зоне контакта с поверхностным слоем металла волновода резонансной колебательной электромеханической системы. Метод позволяет выявить закономерности накопления рассеянного повреждения элемента конструкции при эксплуатационной нагрузке, используя методологические подходы, примененные в работе к лабораторным образцам сталей и сплавов, в качестве модельных объектов металлоконструкций.

Установлено, что снижение дисперсии дискретной неупругости приводит к упрочнению конструкционного материала, а рост – к разупрочнению. Обнаруженная цикличность кинетики неупругости не зависит от амплитуды напряжений цикла и проявляет стохастическую закономерность. Для анализа полученной экспериментальной последовательности использована рекуррентная формула, характеризующая эволюцию энергетического состояния перед разрушением локального объема поликристаллического материала и использующая универсальную постоянную разрушения.

На основе предложенной методики установлено, что количество циклов нагружения N_1 соответствует состоянию конструкционного материала первой точки бифуркации. Рассчитанные следующие значения (N_2, N_3, N_4, N_5, N_6) количества циклов соответствуют определенным точкам бифуркаций на диаграмме накопления усталостного повреждения по данным дискретного измерения, что позволяет спрогнозировать долговечность до разрушения исследованного образца поверхностной макротрещиной.

Предложенный подход к анализу характеристик рассеянного повреждения на основе локальных свойств неупругости конструкционных материалов сохраняет преимущества прямых методов исследования сопротивления усталости материала лабораторных образцов и создает новые возможности для определения текущего состояния повреждения элемента конструкции.

Ключевые слова: усталость, неупругость, рассеянное повреждение, микропластическая деформация, точки бифуркации

REGULARITIES OF ACCUMULATION OF NON-SCALED DAMAGE IN SURFACE LAYERS OF CONSTRUCTION MATERIALS

G. G. Pisarenko, O. V. Voinalovych, A. M. Maylo

Abstract. In this paper, the statistical characteristics of scattering of energy of elastic oscillations according to dispersion parameters of measured phase shift of stresses of wave of elastic deformations locally initiated in contact area with the surface layer of the waveguide metal of the resonant vibrational electromechanical system were estimated. The method allows to reveal the regularities of accumulation of scattered damage of the design element for the operational loading, using the methodological approaches applied in the work to the laboratory samples of steels and alloys as model objects of metal structures.

It is established that the decrease of the dispersion of discrete inelasticity causes the strengthening of structural material, and the growth-

strengthening. The cyclicity of the kinetics of inelasticity is found not to depend on the amplitude of the stresses of the cycle and manifests the stochastic regularity. For the analysis of the experimental sequence obtained, a recurrent formula characterizing the evolution of the energy state prior to the destruction of the local volume of polycrystalline material, which is based on the energy of universal sustained destruction, is used.

On the basis of the proposed method, it is established that the number of loading cycles N_1 corresponds to the state of the structural material of the first point of the bifurcation. The following values (N_2 , N_3 , N_4 , N_5 , N_6) of the number of cycles are calculated, correspond to certain points of bifurcations in the diagram of accumulation of fatigue damage according to discrete measurements, which allows predicting the durability of the destruction of the surface macrocrack of the sample.

The proposed approach to the analysis of the characteristics of scattered damage on the basis of the local properties of the inelastic structural materials retains the advantages of direct methods for investigating the resistance of the fatigue material of laboratory samples and creates new possibilities for determining the current state of the degree of damage to the structural element.

Key words: *fatigue, inelasticity, scattered damage, microplastic deformation, bifurcation points*

УДК 634.1/.7:631.332:631.164/165

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ САДОСАДИЛЬНОЇ МАШИНИ

***І. В. Тимошок, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0003-3830-0407***

Інститут садівництва НААН України

***Р. В. Шатров, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-3596-0146***

***Національний університет біоресурсів і
природокористування України***

e-mail: sad-institut@ukr.net, RVSatrov@outlook.com

Анотація. Існуючі робочі органи садосадильних машин активного та пасивного типу не в повній мірі відповідають критеріям якості виконання технологічної операції, надійності та енергоефективності. Відтак існує необхідність розробки такого

© І. В. Тимошок, Р. В. Шатров, 2018

органу. Згідно з робочою гіпотезою, перспективним може бути орган пасивного типу, який на відміну від клиноподібного сошника, не розсуває ґрунт, а підрізуючи пласт, піднімає його до утворення посадкової борозни. Обґрунтовано геометричні параметри подовжувачів і робочих поверхонь наральника сошника. Визначено залежність сили опору робочого органу від глибини садіння і типу ґрунту. Наведено результати випробування дослідного зразка.

Ключові слова: садосадильна машина, наральник, робоча поверхня, кут кришення, глибина садіння, тяговий опір, енергозаспоживаність, дослідний зразок

Постановка проблеми. Огляд літературних джерел [1, 2] свідчить, що існуючі робочі органи садосадильних машин активного та пасивного типу не в повній мірі відповідають критеріям якості, а саме: бути простими у виготовленні, надійними в роботі, невибагливими до стану ґрунту і енергозаспоживаними [3].

Аналіз останніх досліджень. Так, клиноподібні пасивні органи, розсовуючи ґрунт при проведенні технологічної операції в обидва боки, утворюють посадкову щілину [3]. Даний спосіб вимагає значних затрат енергії, тому що, по-перше, при його застосуванні необхідно проводити попередню глибоку оранку, що призводить до значних додаткових витрат, по-друге, ущільнюючись, ґрунт чинить значний опір рухові агрегату [4, 5]. Активні органи фрезерного типу не менш енерговитратні, до того ж складні у виготовленні, а тому характеризуються високою початковою вартістю і до того ж потребують значних експлуатаційних витрат [6–8].

Мета досліджень. Зменшити енерговитрат і підвищення надійності садосадильної машини в різних умовах її експлуатації шляхом розробки пасивного робочого органу вдосконаленої конструкції, призначеного для формування посадкової борозни.

Результати досліджень. Згідно з робочою гіпотезою, задовольнити всі перелічені вимоги може орган пасивного типу, який на відміну від клиноподібного сошника, не розсуває ґрунт, а підрізуючи пласт, підіймає його до утворення посадкової борозни, а після розміщення в ній саджанця укладає його на попереднє місце без додаткового значного переміщення чи обертання.

Відповідно до агрономічних глибина посадкової борозни повинна становити 0,20–0,35 м, а ширина забезпечувати вільне розташування в ній кореневої системи саджанця. Для з'ясування оптимального показника останнього з названих параметрів було експериментально досліджено процес входження та розміщення кореневої системи дворічних саджанців яблуні, вирощених на вегетативних підщепах, у проміжок між подовжувачами сошника, відстань між якими

змінювалась у межах від 0,10 до 0,20 м з кроком 0,02 м. При цьому фіксувалася кількість зачепів коренів за їх краї. На рис. 1 проілюстровано залежність цієї кількості від відстані між ними. Збільшення відстані, починаючи з 0,16 м, істотно не впливає на кількість таких випадків. Зважаючи на це, а також беручи до уваги пряму залежність зростання опору сошника від збільшення його ширини, як оптимальний вибрали параметр відстані між подовжувачами сошника, а значить, і ширини посадкової щілини розміром 0,16 м.

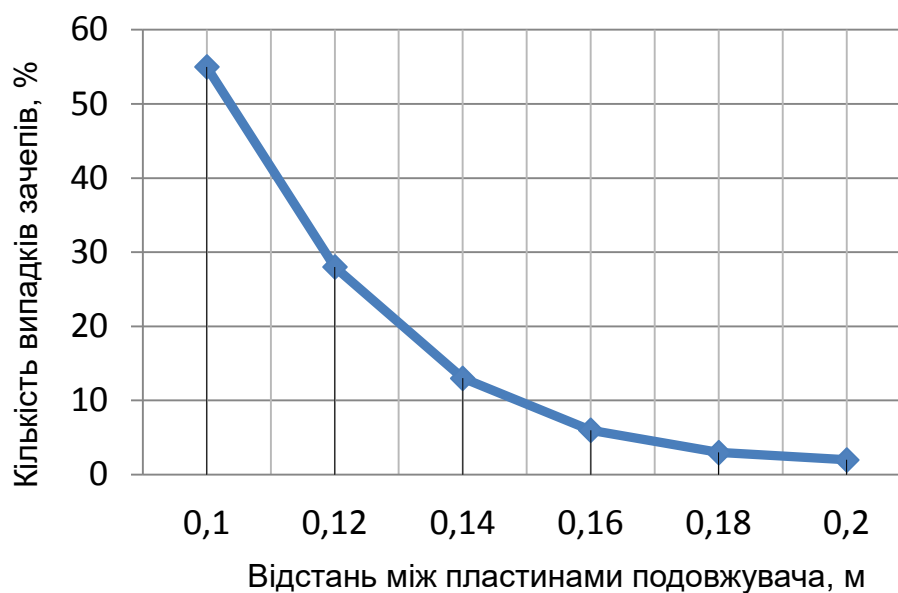


Рис. 1. Кількість зачепів коренів дворічних саджанців яблуні при спробі розмістити їх кореневу систему у проміжку між подовжувачами моделі сошника.

У відповідності з висунутою гіпотезою про переваги робочого органу з точки зору економії енерговитрат було розроблено та виготовлено макет і дослідний зразок робочої поверхні наральника сошника. Він складається з двох циліндричних поверхонь, розташованих під кутом 40° . Таке розміщення забезпечує необхідний кут скошу леза γ (рис. 2); при розробці виходили з обов'язкової умови його самоочищення від волокнистих стебел рослин. Умовою ковзання стебла рослини вздовж леза наральника було:

$$\gamma < 90^{\circ} - \varphi. \quad (1)$$

Відомо, що кут тертя стебла рослини по лезу ґрунтообробного органу $\varphi \cong 45^{\circ}$ [1], тому:

$$\gamma < 90^{\circ} - 45^{\circ} = 45^{\circ}. \quad (2)$$

Як відомо, налипання ґрунту на робочу поверхню вказаного леза перешкоджає ковзанню по ньому стебел бур'янів [2], тому кут скосу γ було зменшено до 40° .

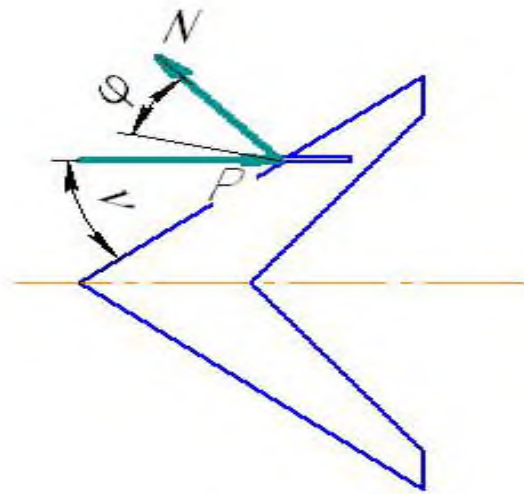


Рис. 2. Схема взаємодії стебла рослини з лезом наральника.

Робоча поверхня наральника будувалась у відповідності до поставленої мети – якомога більше мінімізувати енерговитрати при виконанні операції, вибравши найбільш оптимальний кут кришення ґрунту.

Дослідження показали, що найоптимальнішим варіантом робочої поверхні є циліндроїд з певним радіусом кривизни поверхні R та початковим кутом кришення β (рис. 3, а).

Щоб створити сприятливі умови приживання рослин і розвитку їх кореневої системи, а також з метою підрізання пласта ґрунту для забезпечення ефекту його розкриття і утворення посадкової щілини, леза циліндроїдів подовжили і вони виступають своєрідними крилами за габарити сошника на величину a (рис. 3, в).

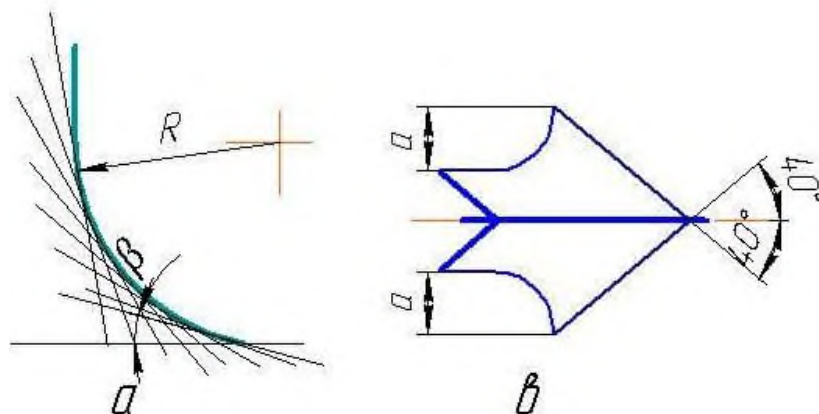


Рис. 3. Оптимізовані параметри робочої поверхні циліндроїда наральника.

Основним показником ґрунтообробного знаряддя є його тяговий опір. Відомо, що на даний показник впливає багато чинників, серед них: геометричні параметри робочих поверхонь знаряддя, фізико-механічні властивості ґрунту, швидкість взаємодії з ним, глибина та ширина обробітку тощо [3]. Зважаючи на таку кількість факторів, зміну їх у часі та непередбачуваність, особливо стосовно фізико-механічних властивостей, теоретично описати процес взаємодії всіх сил і чинників опору неможливо [2, 4]. З огляду на це спробуємо визначити очікуваний тяговий опір сошника R_x , не вдаючись у деталі протікання цього складного процесу.

Виходячи з подібності взаємодії з ґрунтом розробленого наральника сошника та лемішного плуга, а також зважаючи на схожість їх робочих поверхонь, застосуємо відому раціональну формулу академіка В. П. Горячкина [5]:

$$R_x = fP + kabn + \varepsilon abnV^2, \quad (3)$$

де: fP , $kabn$ і $\varepsilon abnV^2$ – тягові опори, пов'язані відповідно з протягуванням робочого органу у відкритій борозні, деформацією ґрунту і наданням піднятому і деформованому ґрунту кінетичної енергії.

Слід враховувати деякі особливості робочих органів садосадильної машини. Так, на відміну від плужного корпусу її сошник весь час працює в режимі прокладання першої борозни, при якому тяговий опір збільшується у 2–3 рази [2]. Крім того, глибина її нарізання становить близько 0,30 м, що в більшості випадків перевищує глибину обробітку ґрунту в попередні роки, а це призводить до збільшення очікуваного опору ще в 1,5–2,0 рази [6]. Зважаючи на ці фактори, необхідно збільшити другу складову наведеної формули на додатковий коефіцієнт μ . У нашому випадку було встановлено, що в залежності від глибини садіння (0,15–0,35 м) і стану й типу ґрунту даний коефіцієнт може приймати значення від 1,0 до 6,0 (рис. 4). В результаті горизонтальна складова опору ґрунту R_x при садінні на глибину 0,30 м становитиме:

$$R_x = fP + \mu kabn, \quad (4)$$

де: f – коефіцієнт тертя корпусу наральника з ґрунтом, $f=0,5$; P – сила тягіння робочого органу, $P=8,0$ кН, k – коефіцієнт, який характеризує здатність ґрунтового пласта опиратися деформації, $k=35,5$ кН/м²; a, b – відповідно глибина та ширина пласта ґрунту, який обробляється, $a=0,30$, $b=0,18$ м; n – число робочих органів, $n=1$.

В результаті отримаємо:

$$R_x = 0,5 \times 8,0 \text{ кН} + 4 \times 35,5 \text{ кН/м}^2 \times 0,3 \text{ м} \times 0,18 \text{ м} = 11,7 \text{ кН}, \quad (5)$$

або $R_x \approx 1170$ кгс.

Виходячи з отриманих результатів, садосадильна машина може агрегатуватися з трактором класу 1,4, на відміну від відомої

садосадильної машини МПС-1. Її агрегування передбачено з тракторами класу 3.

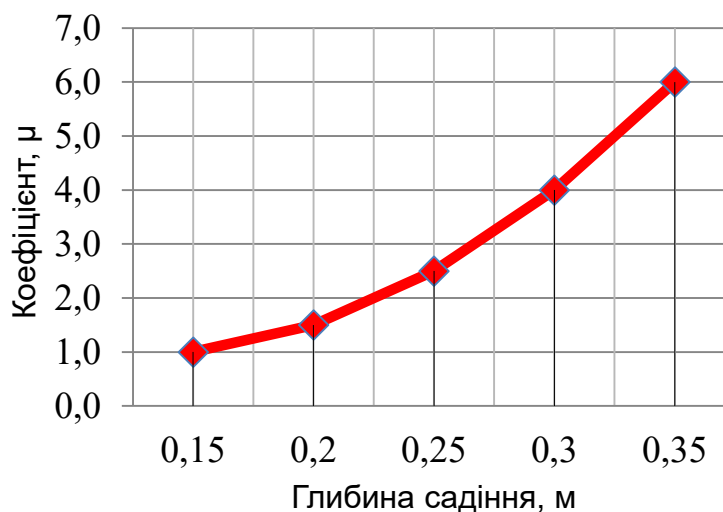


Рис. 4. Залежність додаткового усередненого коефіцієнту опору ґрунту від глибини садіння.

Рис. 5 ілюструє залежність сили опору робочого органу садосадильної машини від глибини садіння й типу ґрунту.

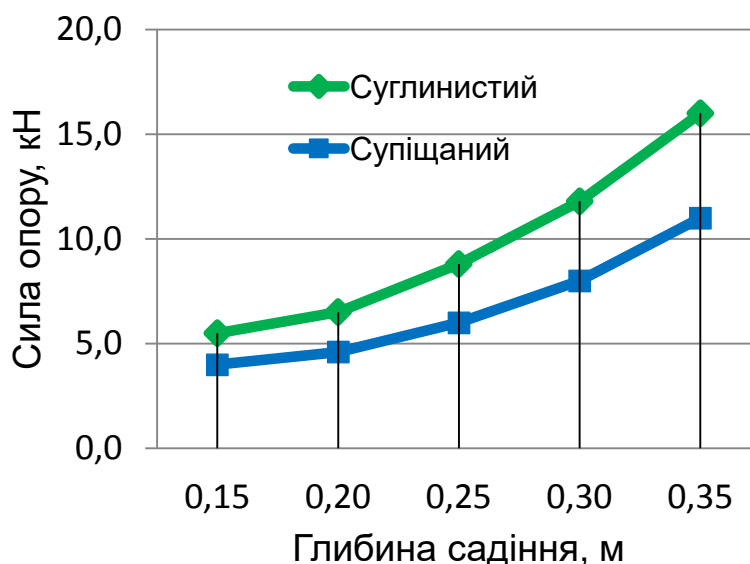


Рис. 5. Залежність сили опору робочого органу садосадильної машини від глибини садіння й типу ґрунту.

З урахуванням проведених розрахунків було розроблено та виготовлено дослідний зразок такого органу (рис. 6). Попереднє випробування засвідчили його стабільну роботу на всіх глибинах у межах 0,15–0,35 м, причому скрізь він вдало агрегується з

трактором МТЗ-80(82) (клас 1,4) навіть на перелогових землях після попереднього поверхневого обробітку дисковим знаряддям.



Рис. 6. Дослідний зразок робочого органу садосадильної машини під час проведення експериментальних досліджень та випробувань.

Висновок. Проведені дослідження підтвердили правильність прийнятої на початку досліджень робочої гіпотези про можливість істотного зменшення енерговитрат, необхідних для виконання технологічної операції, пов'язаної з формуванням посадкової борозни за допомогою нескладного у виготовленні та надійного в експлуатації робочого органу пасивного типу, який на відміну від клиноподібного сошника не розсуває ґрунт, а підрізуючи пласт, піднімає його до утворення посадкової борозни, а після розміщення в ній саджанця укладає його на попереднє місце без додаткового значного переміщення чи обертання.

Список літератури

1. Синеоков Г. Н. Рабочие органы культиваторов. Сельхозмашина. 1935. №9. С. 3–12.
2. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва. Машиностроение. 1977. 328 с.
3. Вопросы сельскохозяйственной механики. Том 15. Минск. ЦНИИМЭСХ. 1965. С. 56.
4. Горячкин В. П. Собрание сочинений. Москва. Колос. 1965. 650 с.
5. Методические рекомендации к курсовому проекту по почвообрабатывающим машинам. Москва. Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина. 2001. 30 с.
6. Клецкин М. И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. Том 2. Москва. Машиностроение. 1967. 830 с.

7. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
8. Rogovskii I. L., Melnyk V. I. Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 241. С. 387–395.

References

1. Sineokov, G. N. (1935). Working bodies of cultivators. Farm machine. No 9. 3–12.
2. Sineokov, G. N., Panov, I. M. (1977). Theory and calculation of soil-cultivating machines. Moscow. Engineering. 328.
3. Questions of mechanics of farm. (1965). Volume 15. Minsk. TSNIIMASH. 56.
4. Goryachkin, V. P. (1965). Collected works. Moscow. Kolos. 650.
5. Methodical recommendations to course project in tillage machines. (2001). Moscow. Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin. 30.
6. Kletzkin, M. S. (1967). Reference designer of agricultural machinery. Volume 2. Moscow. Engineering. 830.
7. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.
8. Rogovskii, I. L., Melnyk, V. I. (2016). Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2016. Vol. 241. 387–395.

РАЗРАБОТКА БОРОЗДООБРАЗУЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА САДОПОСАДОЧНОЙ МАШИНЫ

И. В. Тимошок, Р. В. Шатров

Аннотация. *Существующие рабочие органы садопосадочных машин активного и пассивного типа не в полной мере соответствуют критериям качества выполнения технологической операции, надежности и энергоэффективности. Следовательно, существует необходимость разработки такого органа. Согласно рабочей гипотезе перспективным может быть рабочий орган пассивного типа, который в отличие от клиноподобного сошника не раздвигает почву, а подрезая пласт, поднимает до образования посадочной борозды. Обоснованы геометрические параметры удлиннителей и рабочих поверхностей нарального сошника. Определена зависимость силы сопротивления рабочего органа от глубины посадки и типа почвы. Приведены результаты испытания опытного образца.*

Ключевые слова: *садопосадочная машина, наральный, рабочая поверхность, угол крошения, глубина посадки, тяговое сопротивление, энергосбережение, опытный образец*

DEVELOPMENT OF FURROWING TOOL FOR ORCHARD PLANTING MACHINE

I. V. Tymoshok, R. V. Shatrov

Abstract. *The existing active and passive tools of the orchard planting machines do not correspond in full to the criterion of the quality of carrying out the technological operation, reliability and energetic affectivity. Thus there is necessity of developing such a tool. According to the working hypothesis it is a passive tool may be perspective that in contrast to the cuneiform opener does not widen soil but cutting layer raises it until the formation of a furrow. Besides, the author has substantiated the geometric parameters of the extenders and planes of the drill furrow-opener points, determined the dependence of the tool resistance on the planting depth and soil variety and presented the results of the experimental sample test.*

Key words: *orchard planting machine, drill furrow-opener point, plane, crumbling angle, planting depth, draught resistance, energy saving, experimental sample*

УДК 636.083.45:62-192

ІННОВАЦІЙНІСТЬ НАДІЙНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ОПЕРАТОРІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ «ЛЮДИНА-МАШИНА» В РОСЛИННИЦТВІ

А. В. Новицький, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-7789-8531
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: NovitskiyAV@ukr.net

Анотація. *В статті представлена актуальність і важливість підвищення надійності людини-оператора як складової складної технічної системи «людина – машина». Проведено огляд літературних джерел, в яких проаналізована ефективність функціонування та надійність операторів сільськогосподарських машин і машинно-тракторних агрегатів у рослинництві. В статті представлено аналіз технологічних процесів в рослинництві на прикладі орних і зернозбиральних, виробництва зерна і кормів, транспортних і заготівельних систем. Розглянуто функціонування операторів механізованих процесів рослинництва за такими*

© А. В. Новицький, 2018

спеціальностями: тракторист, комбайнер, слюсар пересувного пункту технічного обслуговування. Проведено аналіз впливу професійних якостей та продуктивності оператора на зміну продуктивності зернозбиральних агрегатів. Проаналізовані математичні моделі для визначення коефіцієнтів готовності та ймовірності безвідмовної роботи систем у рослинництві. Для розрахунку надійності систем «людина-машина» пропонується використовувати аналітичні залежності, які враховують вплив складових ймовірностей виникнення помилок оператора та ймовірності виникнення відмов машини. Одним з перспективних напрямів підготовки і підвищення кваліфікації операторів машин у рослинництві є використання тренажерів. Ефективним напрямом підготовки фахівців різних категорій є формування їх професійно важливих якостей. Освітня і професійна підготовка операторів складних технічних систем «людина-машина» повинна проводитись на основі випереджаючого і безперервного навчання.

Ключові слова: *надійність, система, людина-оператор, машина, машинно-тракторний агрегат, рослинництво, відмова*

Постановка проблеми. Продовольча безпека країни залежить від рівня виробництва продукції в аграрному секторі, а ефективність виробництва продовольства – від досконалості і стабільності технологічних процесів, технічної оснащеності та компетентності спеціалістів. Одними з основних систем виробництва аграрної продукції є складні технічні системи (СТС). В останні кілька десятиріч особливої гостроти набула проблема удосконалення діяльності людини-оператора в складних технічних системах: «Людина-Машина» («ЛМ»), «Людина-Машина-Тварина» («ЛМТ»), «Людина-Машина-Середовище» (ЛМС), «Людина-Машина-Рослина» («ЛМР») та («Людина-Машина-Тварина (Рослина)-Середовище» («ЛМТ(Р)С»). З розвитком машин та обладнання сільськогосподарського виробництва, їх ускладненням і перетворенням з простих пристроїв в СТС, все більш проявляється недосконалість людини-оператора при їх використанні.

Людина-оператор, як складова СТС приймає найбільш відповідальні рішення, які забезпечують функціонування системи, саме від правильності дій, вміння своєчасно знайти та усунути несправності або ж відмови залежить ефективність вирішення поставлених виробничих завдань, забезпечення агротехнічних вимог, функціонування об'єкта дослідження та безпека людей.

Оснащення аграрного виробництва високопродуктивними агрегатами дає можливість значно підвищити продуктивність праці та скоротити потребу в механізаторах, але це призводить до

необхідності вивчення характерних вимог до них. В останні роки в недостатній мірі досліджені або враховуються параметри людського фактора при організації технологічних процесів і комплектуванні мобільних сільськогосподарських агрегатів.

Аналіз останніх досліджень. В аграрному виробництві проблема дослідження об'єктів, що надходять в експлуатацію і поєднують в собі технічну складову і людину-оператора СТС «ЛМ» потребує детального вирішення [2, 18, 22].

Наукові дослідження впливу людського фактора були виконані у світовій і вітчизняній літературі переважно в останні 50-60 років у високотехнологічних галузях машинобудування. Перші серйозні дослідження, що з'явилися в кінці 50-х початку 60-х років відносяться до СТС «ЛМ» військово-промислового комплексу, авіації, морського транспорту, атомної енергетики, радіотехніки.

В галузі механізації сільського господарства дослідження СТС «ЛМ» отримали свій активний розвиток в кінці 80-х на початку 90-х років. Вказані дослідження здійснювались співробітниками ГОСНИТИ, ВІМ, ВІДПТИМЕСГ, ННЦ «ІМЕСГ», і ряду інших науково-дослідних установ і вищих навчальних закладів. В останні роки у вітчизняній і зарубіжній науковій літературі з'явились нові підходи щодо аналізу надійності людини-оператора СТС «ЛМ» в різних галузях аграрного виробництва. Проведено огляд досліджень надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в тваринництві [15].

Результати досліджень ефективності роботи СТС «ЛМ» у рослинництві, із врахуванням впливу на їх надійність складової людина-оператор, представлені в багатьох наукових працях вчених України, близького та далекого зарубіжжя. Були опубліковані результати наукових досліджень складових систем «ЛМР» та «ЛМС», які функціонують при реалізації технологічних процесів в рослинництві на прикладі орних і зернозбиральних, виробництва зерна і кормів, транспортних і заготівельних систем [4, 11, 12, 13, 17].

Мета досліджень. Передбачається, що дослідження та врахування впливу параметрів людського фактора при проектуванні, виготовленні, експлуатації, підтриманні працездатності складних сільськогосподарських машин дозволять гармонізувати взаємодію підсистеми людини-оператора з підсистемою машина, підвищать їх надійність та стійкість вихідних техніко-експлуатаційних параметрів СТС «ЛМ» в цілому.

Результати досліджень. Узагальнення досліджень роботи складних сільськогосподарських машин та машинно-тракторних агрегатів (МТА) з оцінкою впливу функціонування людини-оператора на їх ефективність показали, що взаємодія людини-оператора з

технічним засобом значно складніша, ніж уявлялось раніше, а її вплив на продуктивність та надійність системи настільки значний, що була підтверджена необхідність дослідження не тільки технічних систем (ТС), але й СТС «ЛМ».

Проведений в статті [1] аналіз основних тенденцій розвитку технологій і техніки показує, що науково-технічний прогрес в агропромисловому комплексі України зумовлює соціально-економічний ефект, який переходить у фактичний через сферу економіки, організації, управління і кадри, які раціонально використовують новітню багатофункціональну і багатоопераційну техніку і сучасні технології. Як зазначають автори статті [1], подальший розвиток техніко-технологічної бази сільськогосподарського виробництва залежить від реалізації цілого ряду умов, серед яких важливе місце займають наступні: забезпечення новою високопродуктивною технікою з можливостями адаптації до конкретних природно-кліматичних і виробничих умов аграрних підприємств; створення нових машинних технологій виробництва сільськогосподарської продукції; високий рівень кваліфікації кадрів, які будуть експлуатувати і обслуговувати техніку нового покоління.

В Україні досліджень, які були б присвячені вивченню впливу людського фактору на забезпечення надійності СТС в аграрному виробництві, ще недостатньо, а стосовно вивчення впливу складових машина та людина-оператор на СТС «ЛМ» в рослинництві, то вони потребують розширення і наукового обґрунтування. Крім того, не вивчаються питання, пов'язані зі встановлення взаємозв'язку безвідмовної роботи машини та надійної роботи оператора. Якщо при встановленні надійності враховуються лише тільки фактори, що характеризують відмови технічної складової, тобто ТС, то передбачається, що надійність персоналу дорівнює одиниці. Тобто, можна вважати, що обслуговуючий персонал на 100% забезпечує працездатність ТС. Але, як показує аналіз використання МТА, надійність роботи персоналу нижча, ніж це могло бути в ідеальному випадку.

Питання про підготовку та відбір працівників здатних до надійного виконання своїх функцій – одне з основних для аграрної галузі. Аналіз показує, що навіть не зовсім відпрацьоване психологічне тестування при відборі і зарахуванні на роботу, або ж отриманні допуску на керування технікою та обслуговування механізмів дають позитивні результати.

Вивчення літературних джерел показує, що є обмеження в інформації та відсутні достовірні кількісні показники, які характеризують надійність операторів машин у рослинництві

(механізаторів, водіїв, слюсарів-ремонтників, механіків). Складність вирішення проблеми пояснюється недостатньою кількістю спеціального оригінального устаткування та науково - обґрунтованих методик для проведення теоретичних і експериментальних досліджень.

Значний внесок в основи теорії використання механізаторів у сільськогосподарському виробництві з використанням механізованих технологій і комплексів машин внесено в науковій статті [9]. В працях вченого розкрито вплив базових чинників системи стимулювання працівників на продуктивність і якість праці, ресурсозберігаюче використання техніки. Автором в багатьох своїх наукових розробках встановлені статистичні зв'язки між організаційно-технологічними умовами роботи колективу механізаторів і вихідними техніко - економічними характеристиками технологічних комплексів, визначені межі параметрів, при реалізації яких група працівників здатна забезпечувати максимальну продуктивність.

Заслужують на увагу наукові дослідження, які проведені для технологічних систем «ЛМС» в рослинництві на прикладі обробітку ґрунту та збирання врожаю [17]. Автором досліджено вплив складових «людина», «машина» та «середовище» на продуктивність МТА. Основними факторами, які, як зазначено в авторефераті, впливають на працездатність складової людина-оператор системи «ЛМС» є рівень професійної майстерності $P_{\text{пм}}$ та втома механізатора $У_{\text{м}}$. Експериментально було встановлено, що для комбайнера рівень професійної майстерності становить в середньому $P_{\text{пм}}=0,747$, а його зростання забезпечує підвищення рівня надійності системи «ЛМС» збирального МТА. Ефективність функціонування складової «машина» автор [17] рекомендує оцінювати загальноприйнятими показниками надійності як для ТС. До основних факторів, які найбільше впливають на надійність компоненти «середовище» системи «ЛМС» обробіток ґрунту, в авторефераті запропоновано агроландшафтні характеристики та погодно-кліматичні умови. В [17] було встановлено, що денна продуктивність та реалізація працездатності орних агрегатів і приведена щільність потоку відмов від впливу компоненти людина добре узгоджується із законом Вейбулла, від впливу компоненти машина – із законом нормального розподілу. В той же час, крім професійної майстерності, були б актуальними дослідження інших професійно важливих якостей операторів МТА в рослинництві, включаючи оранку і збирання сільськогосподарських культур.

В авторефераті до дисертаційної роботи [13] представлені дослідження проблеми підвищення надійності та ефективності функціонування технологічних комплексів виробництва зерна та

кормів, які обумовлені реальними потребами фахівців в науковій інформації про закономірності динаміки процесів і можливих резервах. Автором запропонована оригінальна концепція дослідження фазового портрету агроінженерної технологічної системи в залежності від множини критеріїв, включаючи рівень процесу, темп, умовну вартість рівня та інші. Автором встановлено, що в реальних системах закономірності динаміки процесів функціонування представляють собою нелінійні динамічні функції критеріїв оцінки ефективності елементів, ядер і систем в цілому за фазами циклів, в залежності від тривалості проходження процесу. Для вивчення закономірностей процесів динаміки систем в аграрному виробництві, автором досліджень обґрунтовані вісім характерних властивостей елементів систем в межах технологічного циклу виконання процесу.

Виявлення резервів рівня процесу збирання врожаю, живучості системи і визначення структури основних, резервних і додаткових технологій автор здійснив за множиною наступних критеріїв [13]: рівня процесу, темпу, прискорення, живучості системи, кратності резервування системи, збитковості і ефективності технології. Нові наукові підходи та методи, які автор використовує для підвищення ефективності функціонування технологічних комплексів виробництва зерна і кормів практично не враховують впливу людського фактору, який є важливим для забезпечення живучості систем і міг бути ще одним із резервів забезпечення надійності.

В дослідженні [11], розглядається питання надійності функціонування мобільних сільськогосподарських агрегатів як систем «ЛМС». Значне місце в науковій роботі займають питання формування інформаційної бази для проектування, розвитку методичних основ випробування та експлуатації машин. Автором дисертаційної роботи на основі диференційних математичних моделей отримані оптимальні співвідношення між періодами ефективною роботи і відпочинку операторів мобільних МТА з урахуванням необхідності періодичного відновлення їх психофізіологічного потенціалу та підтримання працездатності. В науковій роботі встановлені закономірності втрати операторами збиральних МТА ритмічності в процесі їх експлуатації при значній тривалості відпочинку. В той же час, автор акцентує увагу на тому, що максимум тижневого циклу навантаження на оператора приходить на 3-й або 4-й день тижня, а для сезонного циклу польових робіт – на 4-7 тижнів робіт.

Використовуючи теорію дискретних ланцюгів Маркова [11], автором досліджень були отримані математичні моделі динаміки перехідних процесів роботи технологічних комплексів систем «ЛМ»,

на основі яких встановлено, що час переходу систем в стаціонарний режим роботи складає 0,9 – 2,7 год. Як зазначає автор, це відповідає тривалості основних фаз зміни працездатності операторів сільськогосподарських агрегатів. Отримані результати представляють науковий і практичний інтерес, разом з тим, було б доцільно в цьому напрямку провести дослідження, які направлені на встановлення тривалості не тільки стаціонарного режиму роботи МТА як систем «ЛМ» та «ЛМС».

Своєчасні та актуальні дослідження людиномашинних систем в агроінженерній сфері рослинництва проведені в наукових роботах [12, 19, 20]. Надійність систем «ЛМ» в рослинництві автори пропонують визначати за рівнем функціонування машини (механічної підсистеми) та людини-оператора (механізатора). В [12] зазначається, що надійність компоненти людина-оператор як ймовірності безпомилкового прийняття управлінського рішення проводиться на основі спеціально розробленої інформаційно-енергетичної моделі. Оригінальність досліджень полягає в тому, що автор на основі аналізу інформаційно-енергетичної моделі виявляє умови максимальної безпомилковості прийняття рішення і встановлює їх кількісні значення для орного і збирального агрегатів. Необхідність подальшого вивчення представленого напрямку досліджень ми вбачаємо в тому, що представлені в [12] результати розглядають надійність технічної підсистеми системи «ЛМ» при виконанні технологічних операцій лише як ймовірнісних стаціонарних процесів. Автор пропонує залежності для розрахунку ймовірності помилки людини-оператора та ймовірності надійної роботи людини-оператора:

$$\text{ЙПЛ} = \frac{\text{Кількість помилок}}{\text{Кількість можливих помилок}}, \quad (1)$$

$$\text{ЙНРЛ} = 1 - \frac{\text{Кількість помилок}}{\text{Кількість можливих помилок}}, \quad (2)$$

де: *ЙПЛ* – ймовірність помилки людини-оператора; *ЙНРЛ* – ймовірність надійної роботи людини-оператора.

Багатогранність досліджень автора підтверджується тим, що в авторефераті представлені для розгляду сім задач, вирішення кожної з яких дає можливість дослідити вплив на надійність системи «ЛМС» різних факторів: технічної складової, людського фактора, середовища. Так, в першій задачі автором виділені різні базові системи: колективні сільськогосподарські підприємства, колективні фермерські господарства, технологічні комплекси і загони, машино-технологічні станції. Друга задача розглядає параметри умов праці працівника, третя – енергетичну надійність оператора, ймовірність помилки оператора при забезпеченні технологічного процесу.

Четверта задача розглядає економічні параметри роботи системи «ЛМС» в залежності від прийнятих режимів праці при виконанні технологічних операцій, а п'ята – загальну модель продуктивності, яка ще названа енергетичною. Шоста задача розглядає вплив факторів зовнішнього середовища на надійність та ефективність роботи системи «ЛМС» а сьома – результуючу модель продуктивності МТА як систем «ЛМС», яка залежить від впливу технічної складової, людини-оператора та навколишнього середовища.

Значна частина досліджень в [12, 19] присвячена вивченню впливу здібностей людини-оператора на працездатність системи «ЛМС», прийнятність умов роботи працівником. Автор пропонує враховувати вплив на роботу системи та складової людина-оператор біомеханічного, психологічного та фізіологічного стресів.

Коефіцієнт технологічної надійності роботи комбайна як механічної підсистеми системи «ЛМС» пропонується розраховувати за наступною залежністю:

$$\eta_H = \frac{\sum_1^n \Delta t_1}{T_{3M}} = \frac{\sum_1^n \int_{\Delta t_1} f(\Delta t) dt}{\int_T f(t) dt + \sum_1^k t_{3i}},$$

де: $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ – тривалість роботи комбайна при величині втрат, які не перевищують задану, тобто $f(\Delta t_i) \leq \Pi$; Π – величина допустимих втрат, $\Pi < 1,5\%$; T_{3M} – загальна тривалість роботи комбайна із врахуванням забивання і усунення відмов у роботі; k – кількість несправностей і відмов у роботі комбайна; t_{3i} – тривалість знаходження і усунення несправностей і відмов комбайна.

В наукових статтях [19, 20] представлені шляхи підвищення продуктивності зернозбиральних агрегатів як систем «ЛМ» на основі обґрунтування режимів роботи операторів. В роботах відзначається, що підвищення ефективності збиральних робіт забезпечується використанням великих груп відповідної техніки, введенням системи технічного сервісу в польових умовах, врахуванням людського фактора поряд з технічними підсистемами та науково обґрунтованими організаційними принципами виконання робіт. Однією з впливових причин зміни продуктивності зернозбиральних МТА є зміна продуктивності оператора протягом зміни, яка падає навіть у технічно справної техніки, тому що можливості людини-оператора обмежені. З графіків, які представлені в статті встановлено, що протягом зміни продуктивність МТА як системи «ЛМ» не залишається постійною. У перші 10-12 хв. вона підвищується, потім досягає найвищого рівня і поступово знижується до середини дня. Після обідньої перерви продуктивність МТА знову зростає, але не досягає рівня першої половини дня. У другій половина робочого дня більш відчутно проявляється втома оператора.

Приведені результати підтверджують важливість вказаних дослідження для забезпечення ефективності і надійності роботи МТА у сільському господарстві.

Необхідно в розрізі вивчення системи «ЛМ» більш конкретно дослідити параметричну втому працівників [19]. Про важливість вказаних досліджень в даному напрямку вивчення систем «ЛМ» говорять наступні результати. Залежно від досвідченості комбайнера, за рахунок неточного водіння комбайна коефіцієнт використання ширини захвату жатки в перші 2-4 дні збирання зернових змінюється від 0,87 до 0,95 і в середньому становить 0,91. В середині терміну збирання зернових вказані показники зростають і досягають рівня 0,90–0,97, що в середньому становить 0,94. Представлені показники підтверджують можливість підтримання ефективності роботи та зростання продуктивності зернозбиральних комбайнів завдяки використанню резервів із врахуванням впливу людини-оператора системи «ЛМ».

Як зазначає автор дисертаційної роботи [7], доцільно проводити передзбиральний контроль комбайнера на комбайновому тренажері з метою перевірки підготовленості його до роботи, визначення відповідної класності та мотивації до підвищення кваліфікації. В роботі зазначено, що математична модель вхідних факторів при дослідженні системи «комбайнер-комбайн» добре узгоджується з нормальним законом розподілу з відповідними кількісними характеристиками. Широкий діапазон зміни вхідних факторів системи в межах одного поля зумовлює необхідність виконання комбайнером великої кількості технологічних регулювань, а це пред'являє високі вимоги до функціональних можливостей підсистеми «комбайнер» та необхідності підвищення кваліфікації.

Виконання комплексу підготовчих робіт комбайнера, проведеного в модельних і реальних умовах, підтверджує теоретичні передумови, що зі зростанням функціональних можливостей підсистеми «комбайнер» збільшується продуктивність системи і покращуються її якісні показники роботи. В період входження системи у виробничі умови, зі збільшенням функціональних можливостей складової «комбайнер» на 45%, продуктивність системи «комбайнер-комбайн» може зрости на 24%, а сумарні втрати за комбайном знизитись на 68%. Представлений в дисертаційній роботі напрям може бути використано в інших галузях аграрного виробництва, включаючи ремонтне виробництво. Використання тренажерів при підготовці майстрів з налагодження сільськогосподарської техніки, слюсарів-ремонтників та слюсарів пересувних пунктів ТО є важливим резервом для підвищення ефективності МТА агрегатів у рослинництві та підвищення надійності персоналу.

В науковій роботі [23], запропоновані моделі дослідження зміни надійності механізованих поточних технологічних ліній (МПТЛ) заготівлі сінажу і силосу в залежності від комплектування збиральних ланок. Автор вказує на необхідність формування ланок резервних машин різних марок та обґрунтування кількості запасних частин в ланці технічного обслуговування (ТО). Ймовірність безвідмовної роботи МПТЛ є функцією коефіцієнта готовності МТА і може бути розрахована за наступною формулою:

$$P_{\text{бр}}(T_{\text{ар}}, T_{\text{аф}}, W) = K_z [1 - F(T_o)] + K_z \int_0^{T_{\text{ар}}} P(T_{\text{аф}}, T_{\text{рез}} - \gamma) d\gamma,$$

де: $P_{\text{бр}}$ – ймовірність безвідмовної роботи; W – продуктивність МТА; K_z – коефіцієнт готовності; $T_{\text{рез}}$ – час, який обумовлений резервом продуктивності, $T_{\text{рез}} = |T_{\text{ар}} - T_{\text{аф}}|$; $T_{\text{ар}}$ – розрахунковий час, який обумовлений агротехнічними термінами; $T_{\text{аф}}$ – фактичний час роботи.

В дослідженнях автором встановлено, що при зміні віддаленості ланки ТО від ремонтної майстерні агрофірми до 7 км, коефіцієнт простою через відмови другої групи складності для ланки підбирання зростає від 0,05 до 0,11, а для ланки скошування – від 0,04 до 0,09. Отримані результати вказують на доцільність усунення відмов відповідних груп складності безпосередньо в польових умовах. За результатами досліджень в [23] представлені математичні моделі оптимізації складу і режимів роботи технічних засобів в технологічних ланках механізованих технологічних ліній, які резервуються з використанням накопичувачів і зміни їх надійності в залежності від кількості запасних частин в ланках ТО. Коефіцієнт готовності МПТЛ, яка має в якості резерву продуктивності проміжні ємкості накопичувачів для технологічної ланки, автор пропонує розрахувати за наступною формулою:

$$K_z = \frac{T_o + T_{\text{рез}}}{\overline{T_o} + \overline{T_{\text{в}}}},$$

де: $\overline{T_o}$ – середнє напрацювання до першої відмови МТА; $\overline{T_{\text{в}}}$ – середній час відновлення МТА, $\overline{T_{\text{в}}} = T_{\text{рез}} + \Delta T_{\text{в}}$; $\Delta T_{\text{в}}$ – інтервал часу відновлення МТА, який не резервованій додатковою продуктивністю.

Оптимізація проведення ТО і кількості запасних частин дозволяють забезпечити підвищення коефіцієнту готовності МТА не менше, ніж на 0,1. Отримані результати підтверджують можливість використання різних способів резервування для забезпечення надійності МТА у рослинництві.

Перспективним напрямом ефективного використання МТА в рослинництві є підтримання їх справності та працездатності, тож

дослідження СТС з позицій забезпечення технічної готовності є важливим і своєчасними [3, 21]. Науковий інтерес представляють дослідження впливу людського фактора на формування надійних МТА СТС «ЛМ» під впливом системи технічного обслуговування і ремонту (СТОР), система технічного сервісу.

Заслужують на увагу дослідження, які представлені цілим рядом наукових праць, які направлені на забезпечення працездатності складної сільськогосподарської техніки як складних систем [3, 5, 6, 8, 10, 14]. Вказані дослідження є актуальними, оскільки, як зазначено в багатьох літературних джерелах, механізація робіт зі збирання зернових культур забезпечена на належному рівні лише на 50%, а в експлуатації знаходиться значна кількість комбайнів, які потребують постійного ТО і ремонту. В статті [6] пропонується удосконалена система ТО зернозбиральних комбайнів, яка в динаміці враховує не лише старіння і втрату працездатності комбайнів, але й зміни потенціалу бази ТО. За різних співвідношень фізичних змін у комбайнах, при їх старінні та старінні баз їх ТО, автором запропоновані графі станів та аналітичні залежності для встановлення функцій готовності та відновлення.

В статті [6] зазначається, що якісне виконання технологічних процесів відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів в значній мірі залежить від досвіду, кваліфікації та професійного рівня обслуговуючого персоналу. Це лише невеликий перелік професійно важливих якостей працівників підприємств з ТО сільськогосподарської техніки, які потребують детального вивчення та використання для підтримання її працездатності та забезпечення надійності СТС «ЛМ» в галузях аграрного виробництва.

В статті [14] представлені дослідження надійності складної сільськогосподарської техніки з використанням логіко-імітаційного моделювання, в яких також досліджується вплив компоненти людина-оператор на стан СТС. Представлено новий методичний підхід при дослідженні підсистем складної сільськогосподарської техніки як СТС «ЛМС». Для забезпечення працездатності енергонасиченої сільськогосподарської техніки, в науковій роботі [5] представлено систему сервісу з її техніко-технологічними передумовами. Автор запропонував статистичну імітаційну модель для визначення потреби технічних центрів (ТЦ) у пересувних ремонтних майстернях для виконання обслуговуючо-ремонтних робіт. Поряд з виконанням моделюванням одночасних потоків замовлень на технічне обслуговування і ремонт (ТОР), моделюванням одночасних потоків на ТО та моделюванням роботи пересувних ремонтних майстерень, враховується відповідна кількість виконавців, тобто людський фактор. В імітаційній моделі закладається певна кількість ПРМ та

передбачається по два виконавці на кожну з них. Крім того, модель передбачає, що тракторист також бере участь у проведенні обслуговуючо-ремонтних роботах. Для вирішення питання оптимізації системи технічного сервісу, в науковій роботі запропоновані стаціонарна і нестаціонарна моделі потоку замовлень, які передбачають цільову функцію визначення мінімуму сумарних витрат на ТОР. Поряд з представленими в авторефераті результатами, цікавлять професійно важливі якості працівників ПРМ та ТЦ, які також впливають на показники ефективності роботи та зменшення сумарних витрат на ТОР енергонасиченої сільськогосподарської техніки.

Умовою ефективної експлуатації комплексів машин у рослинництві є підвищення коефіцієнта їх технічного використання, зокрема за рахунок скорочення тривалості технологічних процесів (ТП) їх ТО. Моделювання ТП ТО, яке представлене в статті [10] полягає у формуванні для заданої кількості постів пункту технічного обслуговування (ПТО), заданої кількості робітників та заданої кількості основного ремонтно-технологічного обладнання усіх типів які обумовлюють виконання технологічних операцій. Теоретичною основою структурно-параметричного аналізу та синтезу ТП, які виконуються на стаціонарних постах є використання теорії графів та розкладів. На підставі аналізу технологічної та виробничої структури процесів ТО тракторів ХТЗ-150К-09 шляхом моделювання ТП встановлені параметри та показники ефективності ТП ТО цих тракторів, обґрунтована необхідна кількість ремонтників. Автори зазначають, що одним з найвагоміших чинників скорочення в 3,5...4,5 рази тривалості процесів ТО тракторів ХТЗ-17021 та підвищення значень коефіцієнта їх технічного використання, є збільшення кількості робітників. Представлені дослідження можуть бути використані при обґрунтуванні параметрів ТП ТО технологічних комплексів машин та МТА у рослинництві.

Актуальними в розрізі вирішення питань забезпечення працездатності МТА в рослинництві як систем «ЛМС» є дослідження [12], в яких надійність складової машина розглядається в залежності від залишкового ресурсу технічного засобу, від впливу наявного комплексу ЗІП та можливості його повторного використання після ремонту. В [12] зазначено, що характер зміни технічного стану машини в процесі експлуатації апроксимується ймовірнісною моделлю розподілу Вейбулла. Автор пропонує обґрунтувати необхідну кількість та три рівні зберігання комплектів ЗІП, оцінювати їх коефіцієнти готовності.

Виходячи з проведеного вище аналізу [19], ефективність використання сільськогосподарської техніки багато в чому

обумовлена здатністю людини керувати і контролювати її роботу. Максимальна ефективність роботи МТА досягається лише в тому випадку, коли конструкція агрегату враховує можливості та обмеження, які властиві людині-оператору, а людина-оператор цілеспрямовано підготовлена до специфічних вимог оптимального управління конкретною конструкцією машини або ж обладнання [7]. Це черговий раз підтверджує необхідність використання тренажерів для підготовки операторів для роботи на відповідних МТА та розробки відповідного методичного забезпечення.

особливістю проведених вище досліджень надійності стс «лм» є те, що в більшості наукових праць аналіз компоненти людина-оператор проводиться для працівників масових професій: трактористів, комбайнерів, водіїв, операторів машин. ще недостатньо проведено досліджень з вивчення роботи інших категорій працівників в агроінженерній галузі, включаючи техніків-механіків, інженерів, майстрів з налагодження сільськогосподарських машин, слюсарів-ремонтників, слюсарів технічного сервісу. В статті [19] проведені дослідження професійно важливих якостей інженерно-технічних працівників (ІТР) при обслуговуванні сільськогосподарської техніки. В статті [19] представлені методичні передумови та встановлені ПВЯ кандидатів на посади ІТР ремонтних служб аграрних підприємств, які відображають 21 показник. Вказані показники представляють чотири основні групи ПВЯ: кваліфікаційні вимоги; професійні вимоги; вимоги, які визначають відношення до роботи; психологічні вимоги. В статті [19] представлені методичні передумови та встановлені ПВЯ кандидатів на посади ІТР ремонтних служб аграрних підприємств, які відображають 21 показник. Вказані показники представляють чотири основні групи ПВЯ: кваліфікаційні вимоги; професійні вимоги; вимоги, які визначають відношення до роботи; психологічні вимоги.

На рис. 1 приведені графічне відображення результатів опитування та встановлення ПВЯ інженерно-технічних працівників ремонтної служби аграрних підприємств Київської області. Опитування проведене у 2017 році.

У нових умовах використання СТС «ЛМ» в аграрному виробництві, роль людини-оператора принципово змінюється. Оператор перестає бути лише виконавцем, який управляє машиною, або ж обслуговує машину, а стає головною ланкою в технологічному процесі. Це обумовлює потребу в працівникові нового типу, якого відрізняють професіоналізм і компетентність, самостійне і творче мислення, освіченість і відповідальність в діях. Вказані компетентності повинні бути включені до ПВЯ працівників різних категорій [16]. Нова сільськогосподарська техніка і перспективні технології повинні з'являтися в навчальних аудиторіях університетів і

коледжів раніше, ніж в аграрних підприємствах, а підвищення кваліфікації працівників повинне проводитись постійно, разом з розвитком науково-технічного прогресу [2, 18, 22]. Освітня і професійна підготовка операторів СТС «ЛМ», якою є сучасна сільськогосподарська техніка повинна проводитись на основі випереджаючого, широко профільного і безперервного навчання.

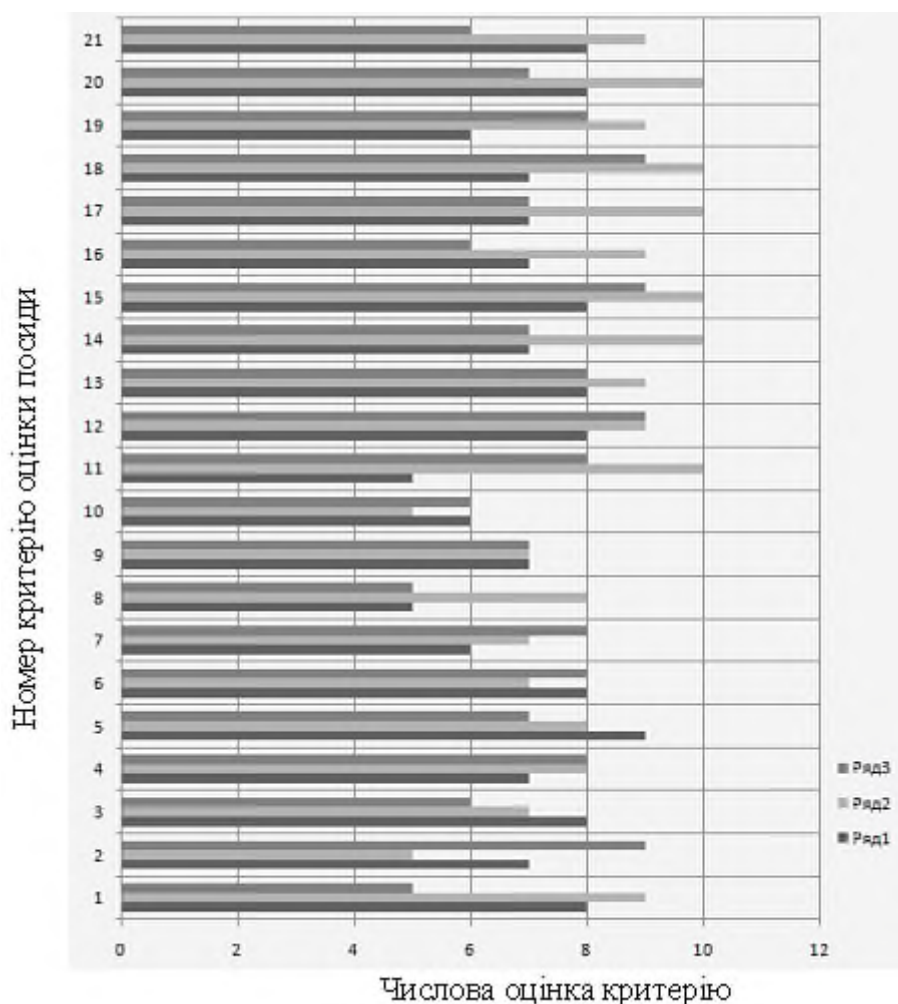


Рис. 1. Графічне відображення ПВЯ інженерно-технічних працівників ремонтної служби аграрних підприємств: 1 – ПСП «Шевченківське» (ряд 1); 2 – ПСП «Жито» (ряд 2); 3 – ДП «Дослідне господарство Чабани» ННЦ «Інститут землеробства» (ряд 3).

Висновки

Проведений вище аналіз наукових праць та напрямки реалізації мети статті підтверджують важливість обраного напрямку досліджень, який можна розглядати як узагальнення вивчення надійності складних технічних систем у рослинництві. Представлені та проаналізовані результати досліджень, включаючи моделі та аналітичні залежності дозволяють формувати раціональні шляхи

підвищення професійного і психофізіологічного рівня персоналу, методів підвищення надійності СТС «ЛМ».

Подальший розвиток підвищення ефективності функціонування та надійності СТС «ЛМ» вимагає використання принципів системного підходу, розробку методів опису зовнішніх умов роботи, моделювання процесів, систематизації поведінки складових систем, розширення теоретичних і методичних розробок.

Список літератури

1. Адамчук В. В., Грицишин М. І. Пріоритетні напрямки агроінженерних досліджень. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. Вип. 97. С. 14–23.
2. Бирман В. Ф. Крупные хозяйства как основа эффективного развития зернопродуктового подкомплекса. Ростов на Дону. Терра. 2003. 720 с.
3. Бойко А. І., Савченко В. М., Крот В. В. Проблеми забезпечення надійності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту в АПК України. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2016. Вип. 6. С. 75–80.
4. Васильковська К., Васильковський О., Петренко Д. Совершенствование техники для посева – начальный этап программирования урожайности. *Știința agricolă*. Nr. 2 (2016). С. 99–103.
5. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
6. Думенко К. М. Дослідження надійності зернозбиральних комбайнів. Сільськогосподарські машини. Луцьк. ЛНТУ. 2010. Вип. 20. С. 68–78.
7. Иващенко В. Н. Повышение производительности и качества работы зерноуборочного комбайна на основе применения физической модели системы «комбайнер-комбайн»: дис. ... кандидата техн. наук: 05.20.01. Челябинск. 1984. 208 с.
8. Карабинеш Сергей. Голография. Контроль качества деталей: монография. Берлин. Lambert. 2016. 233 с.
9. Краснощеков Н. В. Машинно-технологические станции и техническая политика в АПК. Техника в сельском хозяйстве. 1999. №5. С. 3–9.
10. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Підвищення коефіцієнта технічного використання тракторів ХТЗ скороченням тривалості їх технічного обслуговування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 163. С. 78–83.
11. Левшин А. Г. Разработка методов повышения эффективности использования мобильных сельскохозяйственных агрегатов как человеко-машинных систем: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01. Москва. 2000. 323 с.
12. Липкович И. Э. Механико-эргономическое обоснование человеко-машинных систем в агроинженерной сфере растениеводства: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01, 05.20.03. Краснодар. 2004. 48 с.
13. Лукиных Г. Ф. Разработка методов повышения надежности и эффективности функционирования технологических комплексов производства зерна и кормов: автореф. дисс. на соискание научн. степени доктора. техн. наук 05.20.01. Чебоксары. 2007. 36 с.

14. *Новицкий Андрей, Банний Александр*. Логико-вероятностное моделирование надежности сложной сельскохозяйственной техники. *Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture*. Lublin. 2016. Vol. 18. № 3. P. 191–199.
15. *Новицкий А. В.* Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 334–338.
16. *Новицкий А. В., Мельник В. И., Билоус М. С.* Формирование профессионально важных качеств инженерно-технического персонала при обслуживании сельскохозяйственной техники. Сборник научных трудов SWorld. Технические науки. Иваново. 2014. Т. 3. С. 63–67.
17. *Овчинникова Н. И.* Надежность технологических систем «человек-машина-среда» в растениеводстве: на примере обработки почвы и уборки урожая: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.03. Иркутск. 2001. 426 с.
18. *Дашков Б. А., Ломов Б. Ф., Рубахин В. Ф., Смирнов Б. А.* Основы инженерной психологии. Москва. Высшая школа. 1997. 335 с.
19. *Петренко Н. В.* Направления повышения эффективности уборочных работ. Вестник аграрной науки Дона. Зерноград. 2010. № 4. С. 35–41.
20. *Петренко Н. В.* Повышение производительности зерноуборочных агрегатов обоснованием режимов работы операторов. Вестник аграрной науки Дона. Зерноград. 2009. № 1. С. 14–22.
21. *Роговский Иван*. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. *Motrol: Motorization and power industry in agriculture*. 2014. Том 16. №3. P. 296–302.
22. *Салвенди Г.* Человеческий фактор. Москва. Мир. 1991. 487 с.
23. *Шкрабак С. Н.* Надежность функционирования технических средств в технологических звеньях поточных линий на заготовке сенажа и силоса: автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук 05.20.01, 05.20.03. Зерноград. 2007. 26 с.

References

1. *Adamchuk, V. V., Gritsishin, M. I.* (2013). Priorities agroinzhenernyj research. Mechanization and electrification of agriculture. Vol. 97. 14–23.
2. *Birman, V. F.* (2003). Large farms as the basis of effective development of grain products subcomplex. Rostov-on-Don. Terra. 720.
3. *Boyko, A. I., Savchenko, V. M., Krot, V. V.* (2016). Problems of reliability of technological equipment for growing production of protected ground in the agricultural sector of Ukraine. Technical services agricultural, forestry, and transport complexes. Kharkov. Vol. 6. 75–80.
4. *Vasilkovsky, K., Vasilkovsky, A., Petrenko, D.* (2016). Improvement of technique for sowing the initial stage of programming productivity. *Știința agricolă*. Nr 2. 99–103.
5. *Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L.* (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.
6. *Dumenko, K. M.* (2010). Investigation of reliability of grain harvesters. Agricultural machines. Lutsk. LNTU. Vol. 20. 68–78.
7. *Ivashchenko, V. N.* (1984). Increased productivity and quality of work of a combine harvester on basis of use of physical system models "combine-harvester". ... candidate tehn. Sciences: 05.20.01. Chelyabinsk. 208.
8. *Sergey Carabinesh.* (2016). Holography. Quality control of parts. Berlin. Lambert. 233.

9. *Krasnoshchekov, N. V.* (1999). Mechanical and technological stations and technical policy in agricultural industry. Equipment in agriculture. No 5. 3–9.
10. *Kuz'minskii, R. D. Barabash, G. I.* (2015). Increase of the coefficient of technical use of tractors reduced the duration of their maintenance. Bulletin of Kharkov national technical University of agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 163. 78–83.
11. *Levshin, A. G.* (2000). Development of methods of increase of efficiency of use mobile agricultural units as man-machine systems: dis. ... doctor tehn. sciences: 05.20.01. Moscow. 323.
12. *Lipkovich, S. E.* (2004). Mechanical-ergonomic justification for man-machine systems in agricultural crop production: abstract. dis. ... doctor tehn. sciences: 05.20.01, 05.20.03. Krasnodar. 48.
13. *Lukins, G. F.* (2007). Development of methods to improve reliability and efficiency of technological complexes for production of grain and fodder: author. Diss. for scientific the degree of doctor. tech. sciences 05.20.01. Cheboksary. 36.
14. *Andrey Novitsky, Alexander Banny.* (2016). Logical and probabilistic modeling of reliability of complex farm machinery. Motrol, motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. Lublin. Vol. 18. No 3. 191–199.
15. *Novitsky, A. V.* (2016). Review of theoretical studies of the reliable functioning of complex technical systems in animal husbandry. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kiev. Vol. 254. 334–338.
16. *Novitsky, A. V., Melnik, V. I., Bilous, N. S.* (2014). Formation of professionally important qualities of engineering staff during maintenance of farm equipment. Collection of scientific works SWorld. Technical Sciences. Ivanovo. Vol. 3. 63–67.
17. *Ovchinnikova, N. S.* (2001). Reliability of technological systems "man-machine-environment" in crop production: an example from tillage and harvest: dis. ... doctor tehn. sciences: 05.20.03. Irkutsk. 426.
18. *Dashkov, B. A., Lomov, B. F., Rubakhin, V. F., Smirnov, B. A.* (1997). Fundamentals of engineering psychology. Moscow. High school. 335.
19. *Petrenko, N. V.* (2010). Directions of increase of efficiency of harvesting. Bulletin of agricultural science of the don. Zernograd. No 4. 35–41.
20. *Petrenko, N. V.* (2009). Increase of productivity of grain aggregates justification modes operators. Bulletin of agricultural science of the don. Zernograd. No 1. 14–22.
21. *Rogovskii Ivan.* (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Tom 16. № 3. 296–302.
22. *Salvendy, G.* (1991). Human factor. Moscow. World. 1991. 487.
23. *Skrabak, S. N.* (2007). Reliability of technical means in the technological links of the production lines in the harvesting and silage: author. Diss. for scientific the degree candidate. tech. sciences 05.20.01, 05.20.03. Zernograd. 26.

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПЕРАТОРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

А. В. Новицкий

Аннотация. В статье представлена актуальность и важность повышения надежности человека-оператора как составляющей сложной технической системы «человек - машина».

Проведен обзор литературных источников, в которых проанализирована эффективность функционирования и надежность операторов сельскохозяйственных машин и машинно-тракторных агрегатов в растениеводстве. В статье представлен анализ технологических процессов в растениеводстве на примере пахотных и зерноуборочных, производства зерна и кормов, транспортных и заготовительных систем. Рассмотрено функционирование операторов механизированных процессов растениеводства по таким специальностям: тракторист, комбайнер, слесарь передвижного пункта технического обслуживания. Проведен анализ влияния профессиональных качеств и производительности оператора на изменение производительности зерноуборочных агрегатов. Проанализированы математические модели для определения коэффициентов готовности и вероятности безотказной работы систем в растениеводстве. Для расчета надежности систем «человек-машина» предлагается использовать аналитические зависимости, учитывающие влияние составляющих вероятности возникновения ошибок оператора и вероятности возникновения отказов машины. Одним из перспективных направлений подготовки и повышения квалификации операторов машин в растениеводстве является использование тренажеров. Эффективным направлением подготовки специалистов различных категорий является формирование их профессионально важных качеств. Образовательная и профессиональная подготовка операторов сложных технических систем «человек-машина» должна проводиться на основе опережающего и непрерывного обучения.

Ключевые слова: надежность, система, человек-оператор, машина, машинно-тракторный агрегат, растениеводство, отказ

REVIEW OF RESEARCHES OF RELIABLE FUNCTIONING OF OPERATORS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS "HUMAN-MACHINE" IN PLANT GROWING

A. V. Novitskiy

Abstract. There is presents the relevance and importance of information technology of human operator and warehouse of folding technical system "human -machine" in the article. The review of the literary sources was carried out in what was called the efficiency of the function of the operator in the agricultural machinery and machine-tractor aggregates in crop production. There is presented the analysis of technological processes in agriculture on applied and grain crops, production grain and feed, transport and wake-up systems in the article. The functioning of operators of mechanized crop production processes is considered in the

following specialties: tractor driver, combine operator, locksmith of mobile service point. The analysis of influence of professional qualities and productivity of operator on change of productivity of grain harvesting units is carried out. The mathematical models for determination of coefficients of readiness and probability of faultless operation of systems in crop production are analyzed. To calculate the reliability of the systems "human-machine" it is proposed to use analytical dependencies that take into account the influence of the components of the probability of occurrence of operator errors and the probability of failure of the machine. One of promising directions of training and advanced training of machine operators in crop production is use of simulators. The effective training of specialists of different categories is formation of their professionally important qualities. Educational and professional training of operators of complex technical systems "human-machine" should be conducted on basis of advanced and continuous education.

Key words: *reliability, system, operator, machine, unit, plant growing, refusal*

УДК 631.331.85

ПНЕВМОМЕХАНІЧНИЙ ВИСІВНИЙ АПАРАТ З ДОЗАТОРОМ НАПРАВЛЕНОЇ ДІЇ

П. С. Попик, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-2616
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: GTP2005@i.ua

Анотація. *Стаття присвячена проблемі підвищення точності висіву насіння основних технічних культур шляхом введення в конструкцію пневмомеханічного висівного апарата дозатора направленої дії.*

Дослідження інноваційного висівного апарата з дозатором направленої дії дозволить покращити технологію сільськогосподарського виробництва на основі ресурсозбереження.

В результаті використання нового конструктивного рішення дозатора, підвищується точність виконання технологічного процесу формування регулярного одноструменного потоку насіння при висіві технічних культур.

© П. С. Попик, 2018

Ключові слова: *пневмомеханічний висівний апарат, дозатор направленої дії, присмоктувальна сила, комірка, насінина*

Постановка проблеми. Одною з основних причин збоїв в роботі традиційних пневмомеханічних висівних апаратів з дисковим дозатором і комірками є неспівпадання вектора швидкості з вектором сили присмоктування насінин. В результаті час на присмоктування зводиться до мінімального, що знижує ефективність відокремлення окремих насінин від загальної маси.

В результаті виникають недоліки в роботі висівних апаратів у вигляді пропусків або висів двох і більше насінин в одне гніздо, в наслідок чого не виконується точний висів [1].

Аналіз останніх досліджень. Для аналізу технічних засобів направлених на підвищення точності висіву розглянуто існуючі способи та агровимоги до високоякісного висіву насіння технічних культур [2]. Проаналізовано конструкції та особливості будови висівних апаратів призначених для формування регулярного однозернового висіву насіння з метою створення апарата, який відповідав би сучасним вимогам до точності висіву [3]. Особлива увага приділена апаратам, які в своїх конструкціях включають елементи універсальності при захваті насінин різної форми [4].

Мета досліджень. Підвищення точності висіву насіння технічних культур шляхом поліпшення умов присмоктування насінин коміркою.

Результати досліджень. Гіпотеза розробки висівного апарата з дозатором направленої дії полягає в створенні пневмомеханічного апарата з коміркою, що змінює своє положення для кращої своєї орієнтації відносно дозуючих насінин.

Для підвищення точності посіву запропоновано принципово новий пневмомеханічний висівний апарат з внесеними змінами в конструкцію висівного диска [3].

Схема пневмомеханічного висівного апарата з дозатором направленої дії представлена на рис. 1. Висівний апарат складається з вакуумної камери 1 до якої приєднано насіннєву камеру 2. Між камерами встановлено висівний диск 3.

Висівний диск 3 (рис. 2) виконано у вигляді пластини, в якій по колу діаметром D виконано наскрізні свердлення, в які вмонтовані поворотні комірки 6 з важелями 7, кінці яких за допомогою пружин 8 притиснені до робочої поверхні не рухомого копіра 5. Кінці осьового свердлення А і радіального свердлення Б поворотної комірки 6 співпадають. Свердлення Б мають конічні сопла 9. Поворотна комірка 6 вмонтована в висівний диск 3 і фіксується стопорним кільцем 10.

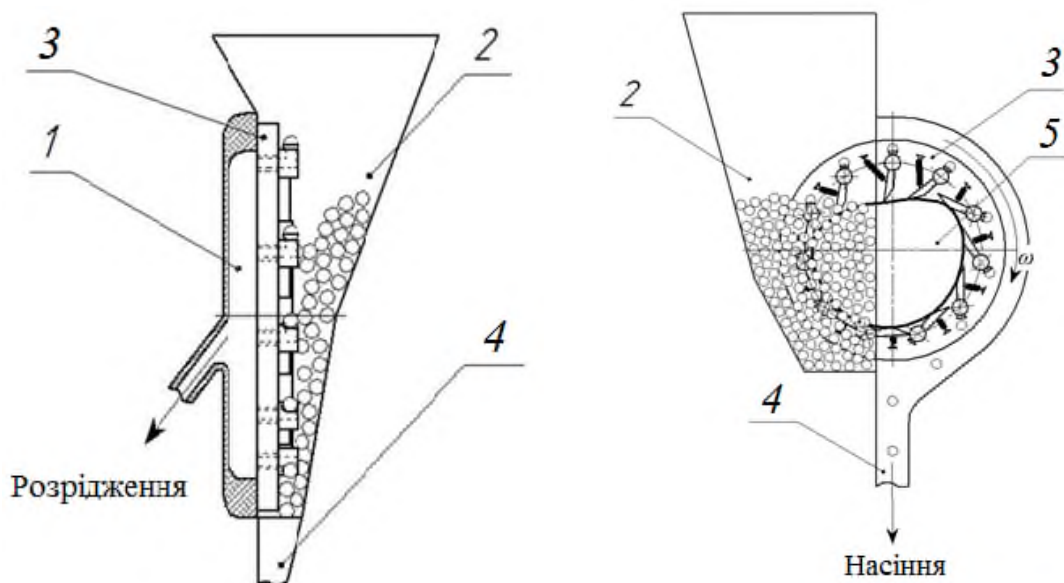


Рис. 1. Пневмомеханічний висівний апарат з дозатором направленої дії: 1 – вакуумна камера; 2 – насіннева камера; 3 – висівний диск; 4 – насіннепровід; 5 – копір.

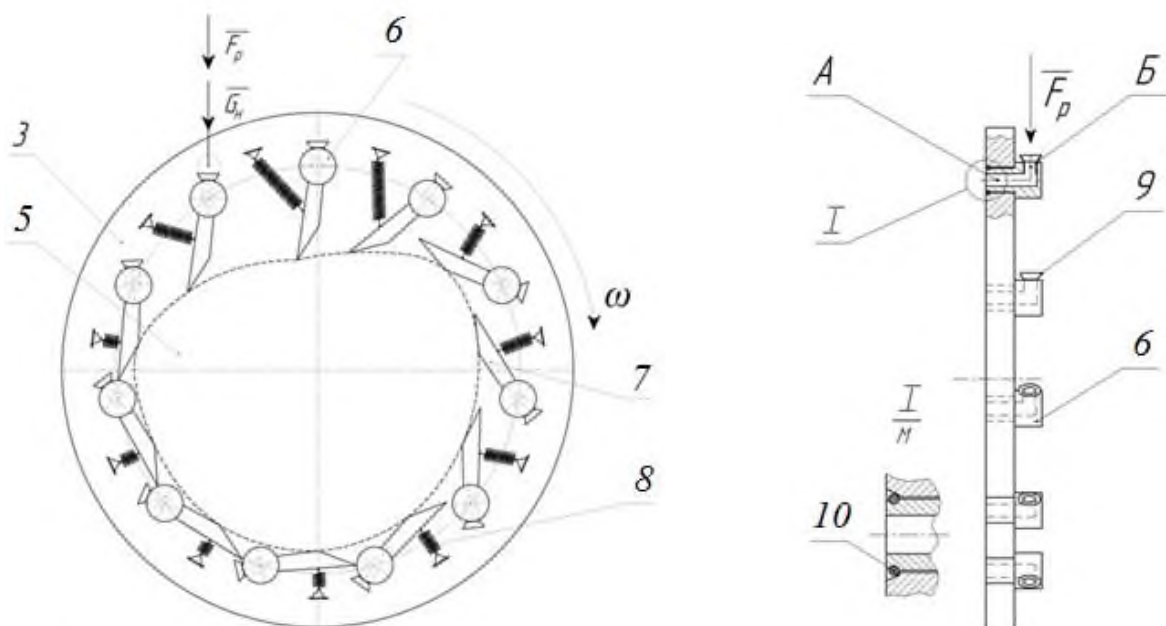


Рис. 2. Дозатор насіння з активними комірками: 6 – поворотна комірка; 7 – важіль; 8 – пружина; 9 – сопло; 10 – стопорне кільце; А – осьове свердлення поворотної комірки; Б – радіальне свердлення поворотної комірки; $\overline{F_p}$ – присмоктувальна сила; $\overline{G_H}$ – сила тяжіння насінини.

Пневмомеханічний висівний апарат працює наступним чином. При роботі висівного апарата під дію зовнішнього джерела у вакуумній камері утворюється розрідження в межах 0,0035...0,0055МПа. Розрідження передається по свердленнях А

поворотної комірки 4 до свердлень Б. За рахунок розрідження з насінневої камери 2 до сопла 9 свердлень Б поворотної комірки 6 висівного диска 3 присмоктується насінина і обертається разом з висівним диском 3. При цьому поворотна комірка 6 з насіниною копіює за рахунок важелів 7 робочу поверхню нерухомого копіра 5. Радіальне свердлення Б поворотної комірки 6 буде перебувати у вертикальному положенні до тих пір, поки осьове свердлення А поворотної комірки 6 не вийде з площини вакуумної камери 1. На насінину припиняється дія розрідження і вона під дією власної ваги потрапляє в насіннепровід 4, а далі у сошник. Завдяки наявності нерухомого копіра 5 та важелів 7 поворотної комірки 6, радіальне свердлення Б займає вертикальне положення від моменту захвату насінини з насінневої камери 2 до моменту припинення дії розрідження на насінину. Таким чином направлена дія присмоктувальної сили $\overline{F_p}$ і сили тяжіння $\overline{G_H}$ насінини, сприяють кращим умовам захвату насінин із насінневої камери, а конусоподібна форма сопла забезпечує краще утримання однієї насінини і погіршує захват зайвих. Ускладнення конструкції дозатора насіння з активними комірками компенсується його універсальністю при висіві насіння різних культур та фракцій.

Пневмомеханічний висівний апарат з дозатором направленої дії забезпечує найкращі умови для захвату, утримання та виносу із загальної маси насіння однієї насінини і транспортування її до насіннепроводу навіть при незначному розрідженні у вакуумній камері. У результаті покращується точність технологічного процесу висіву та зменшуються енергозатрати висівного агрегату при сівбі технічних культур.

Висновок. Перспективним для подальшого підвищення точності висіву та ресурсозбереження при сівбі технічних культур є впровадження в технологію сільськогосподарського виробництва пневмомеханічного висівного апарата з дозатором направленої дії.

Список літератури

1. *Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М.* Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. Київ. Вища освіта. 2005. 464 с.
2. *Бойко А. І., Свірень М. О., Шмат С. І., Ножнов М. М.* Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. Київ. 2003. 206 с.
3. *Патент* на корисну модель № 90890 Україна, МПК А01С 7/04, А01С 17/00, А01С 19/00. Пневмомеханічний висівний апарат з поворотною коміркою висівного диска. А. І. Бойко, П. С. Попик, О. О. Банний. № у 2014 00807. Заяв. 29.01.2014. Опубл. 10.06.2014. Бюл. № 11.
4. *Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л.* Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.

References

1. Voytyuk, D. G., Baranovsky, V. M., Bulgakov, V. M. (2005). Agricultural machinery. Fundamentals of theory and calculation. Kiev. Higher education. 464.
2. Boyko, A. I., Sviren, M. O., Shmat, S. I., Nozhnov M. M. (2003). New design of tillage and seeding machines. Kiev. 206.
3. Patent (2014). for useful model No 90890 Ukraine, IPC A01C 7/04, A01C 17/00, 19/00 A01C. Rotor sowing machine with a rotating cell of a seed disc. A. I. Boyko, P. S. Popik, O. O. Batnny. No 00807u2014. Statements. 29.01.2014. Publ. 10.06.2014. Bull. No 11.
4. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.

ПНЕВМО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ВЫСЕВАЮЩИЙ АППАРАТ С ДОЗАТОРОМ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

П. С. Попык

Аннотация. Статья посвящена проблеме повышения точности высева семян основных технических культур путем введения в конструкцию пневмомеханического высевающего аппарата дозатора направленного действия.

Исследование инновационного высевающего аппарата с дозатором направленного действия позволит улучшить технологию сельскохозяйственного производства на основе ресурсосбережения.

В результате использования нового конструктивного решения дозатора повышается точность выполнения технологического процесса формирования регулярного однозернового потока семян при посеве технических культур.

Ключевые слова: пневмомеханический высевной аппарат, дозатор направленного действия, присасывающая сила, ячейка, семя

PNEUMATIC AND MECHANICAL SOWING MACHINE WITH DISPENSER DIRECTIONAL

P. S. Popik

Abstract. The article is devoted to problem of increasing precision of sowing seeds of main industrial crops by introducing directional action dosing device into design of pneumatic mechanical sowing apparatus.

Research of innovative sowing device with directional dispenser will improve technology of agricultural production on basis of resource saving.

As a result of using the new design solution of the dispenser the accuracy of the technological process of forming a regular single-grain seed flow during the sowing of industrial crops has been improved.

Key words: pneumatic mechanical sowing apparatus, directional dispenser, suction force, cell, seed

РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ СТРУКТУРНИХ МОДЕЛЕЙ ҐРУНТУ

Б. А. Шелудченко, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-8137-0905

Житомирський національний агроекологічний університет

В. В. Чуба, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-4119-0520

Національний університет біоресурсів і
природокористування України

В. Р. Білецький, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-9431-6350

Житомирський національний агроекологічний університет
e-mail: sheludchenkobogdan@ukr.net, vvchuba@ukr.net

Анотація. Під час роботи машинно-тракторних агрегатів відбувається контактна взаємодія колеса з ґрунтом. При взаємодії спостерігається деформування та ущільнення ґрунту, що негативно впливає на зміну його структури. Для зменшення негативного впливу на ґрунт необхідно визначати оптимальні конструкційні параметри колісних рушіїв машинно-тракторних агрегатів. Для цього необхідно використовувати імітаційні моделі ґрунту, що є адекватними реальним ґрунтовим формуванням.

В статті розглянуто лабораторний метод оцінки структурних моделей ґрунту на основі моделі суцільного середовища.

Застосування моделі суцільного середовища в аеромеханіці ґрунтів дозволяє одразу ж перенести в останню цілий ряд розв'язків, які були отримані в механіці суцільного середовища. Як показує досвід, застосування в задачах механіки ґрунтів розв'язків, знайдених в теорії пружності, теорії пластичності і в інших розділах механіки суцільного середовища, в багатьох випадках дозволяє правильно оцінити порядок очікування деформацій і отримати приблизний характер їх розподілення в ґрунтовому середовищі.

В статті також розроблено метод деформації та руйнування структури ґрунту, що дозволяє в лабораторних умовах змодельовати вплив ходових систем на родючий шар ґрунту в залежності від його структури та визначити співвідношення критичної деформації та параметрів які призводять до руйнування

відповідної структури ґрунту. Отримані результати моделювання дають змогу стверджувати про можливість визначення критичних значень навантажень деформації та руйнування в залежності від структури та інших параметрів стану ґрунту.

Ключові слова: *ґрунт, переріз, розривна машина, пляма контакту, пористість*

Постановка проблеми. Сучасні тенденції розвитку технічного забезпечення сільського господарства полягають у застосуванні широкозахватних агрегатів, що в свою чергу вимагає збільшення потужності привідних енергетичних засобів. Забезпечення енергозасобами необхідної потужності зводиться до можливості її реалізації за рахунок взаємодії привідних коліс із опорною поверхнею. При підвищенні потужності, як правило, підвищується конструкційна маса енергозасобу, і саме тому досить часто для реалізації необхідної потужності застосовують додаткові баластні маси. Це призводить до збільшення питомих тисків в зоні контакту колеса з ґрунтом, як наслідок відбувається збільшення ущільнення ґрунту.

Переущільнення ґрунту призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур, руйнування його структури та інших негативних наслідків [1–5]. Дослідження контакту рушіїв з ґрунтом показали, що знаходження напруженого стану в ґрунті є досить складним завданням. Воно залежить не лише від навантажень, що діють на колісний рушій, а й від швидкості руху трактора та параметрів пневматичної шини [6, 7]. Ґрунтове середовище розглядається як однорідне та ізотропне [8–10]. Проте отримані в вищеперерахованих випадках дослідження є складними та не в повній мірі відображають напружений стан ґрунтового середовища та не дозволяють визначити раціональні параметри колісного рушія. Тому необхідна розробка методів оцінки структурних моделей ґрунту.

Розробка ефективних методів визначення впливу навантажень в точці контакту колеса з опорною поверхнею дозволить значно заощадити час та ресурси для оцінку впливу на ґрунт, дозволить оптимізувати вибір шин для автотракторних рушіїв.

Застосування моделі суцільного середовища в аеромеханіці ґрунтів дозволяє одразу ж перенести в останню цілий ряд розв'язків, які були отримані в механіці суцільного середовища. Як показує досвід, застосування в задачах механіки ґрунтів розв'язків, знайдених в теорії пружності, теорії пластичності і в інших розділах механіки суцільного середовища, в багатьох випадках дозволяє правильно оцінити порядок очікування деформацій і отримати приблизний характер їх розподілення в ґрунтовому середовищі. Як показують дослідження, енергетичний аналіз в багатьох випадках не тільки

суттєво полегшує розв'язок різних задач аеромеханіки ґрунту, але і робить яснішою фізичну суть проблем, що розглядаються.

Дискретні моделі ґрунту відображають ті або інші уявлення про структуру ґрунту і про механічні властивості елементів цієї структури.

При дослідженнях поведінки дискретних моделей під дією зовнішнього навантаження враховуються не лише механічні властивості скелету і наповнювача, але ґрунт розглядається як система, що складена з нескінченної множини частинок, від властивостей яких і умов їх взаємодії переходять до механічних властивостей ґрунту в цілому.

Використання відомих імітаційних моделей П. Л. Іванова [11], Г. І. Покровського [12], Б. Й. Дідуха [13], І. І. Кондаурова [14] – є чисто розрахунковими і реалізувати їх матеріально з метою визначення фізико-механічних характеристик ґрунту досить складно.

Мета дослідження. Виконати уточнення лабораторних методів оцінки структурних моделей ґрунту в лабораторних умовах.

Результати досліджень. Модель будь-якого горизонтального перерізу ґрунту, може бути зведена до двовірної (плоскої) структурної сітки із щільністю упаковки (пористістю) $e = 0,257$ (25,7%), яка є перерізом кеплерівської гексагональної упаковки куль у просторі зі щільністю (рис. 1):

$$e = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \cdot 100\% \approx 25,7\% \quad (1)$$

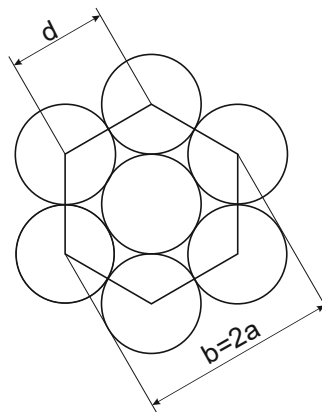


Рис. 1. Переріз гексагональної пакування куль (модель а).

Аналіз пористості реального дерново-підзолистого супіщаного підстеленого мореною ґрунту дозволяє зробити висновок про відповідність структури моделі структурам ґрунтових горизонтів, які залягають на глибинах 500...1000 мм (табл. 1) із похибкою 1,15...8,21%. Для моделювання ґрунтової структури на глибинах 0...500 мм розроблена структурна сітка, що є упаковкою кругів діаметром d на площині, обмеженій кругом з діаметром $D = 3d$, які, в

свою чергу, можуть бути зібраними в круг з діаметром $3D$. Схема такої структури наведена на рис. 2.

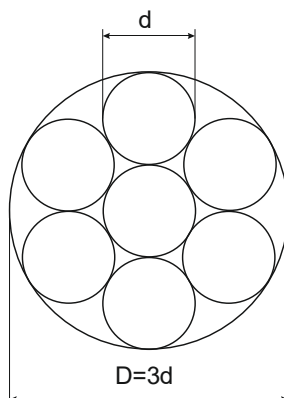


Рис. 2 «Пакування» кругів на площині (модель б)

1. Відповідність пористості горизонтів ґрунтового профілю пористості розроблених моделей.

Горизонт, мм	Загальна пористість ґрунту, %	Пористість застосованої моделі, %	Відхилення модельної пористості, %	Застосована модель
0 ... 100	39,0	39,7	1,76	Модель б
100 ... 200	39,0	39,7	1,76	Модель б
200 ... 300	37,0	39,7	6,80	Модель б
300 ... 400	36,5	39,7	8,04	Модель б
400 ... 500	34,0	39,7	11,84	Модель б
500 ... 600	31,0	25,7	14,33	Модель а
600 ... 700	28,0	25,7	8,21	Модель а
700 ... 800	27,0	25,7	1,15	Модель а
800 ... 900	27,5	25,7	6,55	Модель а
900 ... 1000	27,5	25,7	6,55	Модель а

Пористість моделі (рис. 2) визначиться як:

$$e = \left[1 - \left(\frac{7 \cdot \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi (3d)^2}{4}} \right)^2 \right] \cdot 100\% \approx 39,7\%. \quad (2)$$

Для забезпечення дослідів розроблені моделі реалізовані у вигляді структури, складеної із металевих кілець, зібраних відповідно до двох схем, наведених рис. 1 рис. 2, і імітуючи структуру ґрунту в шарах 500...1000 мм і 0...500 мм. Зв'язки структурних елементів виконані за допомогою каліброваних метизів, затяжка яких контролювалась динамометричним ключем, що забезпечує їх рівномірність. Таким чином, структури реального ґрунту пов'язаний із структури моделі в кожному з розглядуваних горизонтів таким співвідношенням:

$$S_{\text{ґрунту}} = k \cdot S_{\text{моделі}}, \quad (3)$$

де: k – коефіцієнт подібності, який визначає лінійний і силовий (масштаб сил зчеплення) масштаби моделювання.

Випробування міцності розроблених моделей структур виконувалось на універсальній випробувальній машині Р-20 за двома схемами навантаження (відрив і зсув структурних елементів). В процесі навантаження моделей були записані «машинні» діаграми їх деформування в координатах: навантаження – деформація. Для визначення масштабу напружень визначались граничні напруження зсуву за методом Ребіндера, для кожного окремо взятого горизонту.

Зробивши припущення, що повна робота $\Omega_{\Sigma} = 1$ деформування та руйнування структури ґрунту складається з роботи Ω_1 ущільнення родючого шару ґрунту і роботи Ω_2 руйнування структурної будови агрегатних формувань поверхневого шару ґрунту, маємо:

$$\Omega_{\Sigma} = 1 = \Omega_1 + \Omega_2. \quad (4)$$

На рис. 3 та рис. 4 зображено імітаційні моделі структури ґрунту та дія сил на них, та їх руйнування на розривній машині.

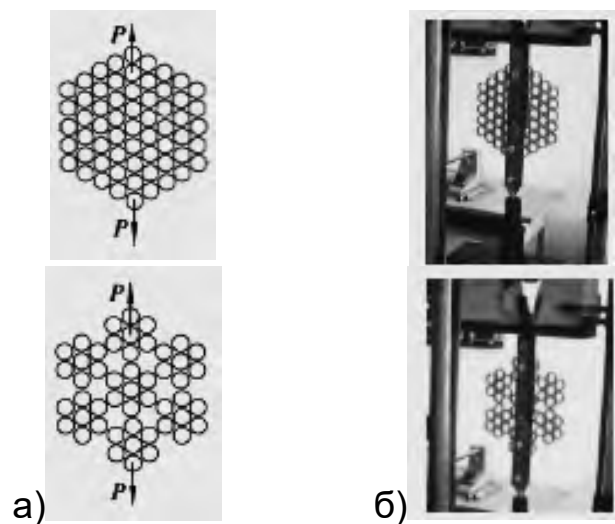


Рис. 3. Послідовність механічні випробувань моделі родючого шару ґрунту при імітації ущільнення: а – схема навантаження моделі, б – практична реалізація експерименту.

За отриманими результатами деформації та руйнування досліджуваних структур, з урахуванням отриманого масштабу напружень і динаміки руйнування зв'язківка в кожний з моментів деформування моделей в координатах: напруження – відносна деформація, можна побудувати структур побудовані «реальні» діаграми перебігу даних процесів рис. 5. За результатами випробувань моделювання динаміки ущільнення та руйнування родючого шару ґрунту робота Ω_1 витрачена ущільнення ґрунту може бути визначена як площа A_1 діаграми I:

$$\Omega_1 = \int_{A_0}^{A_1} PH(t) \cdot dl_1, \quad (5)$$

і, відповідно робота Ω_2 витрачена на руйнування структурних формувань ґрунту, визначена за площею A_2 діаграми II, становитиме:

$$\Omega_2 = \int_{A_0}^{A_2} PH(t) \cdot dl_2. \quad (6)$$

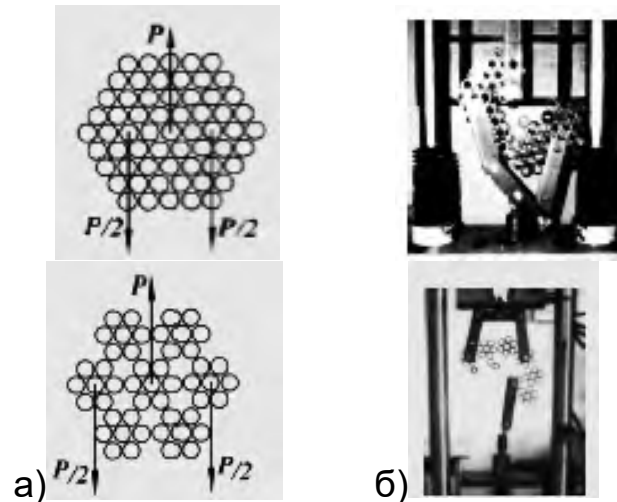


Рис. 4. Послідовність механічні випробувань моделі родючого шару ґрунту при імітації руйнування структурних формувань: а – схема навантаження моделі, б – практична реалізація експерименту.

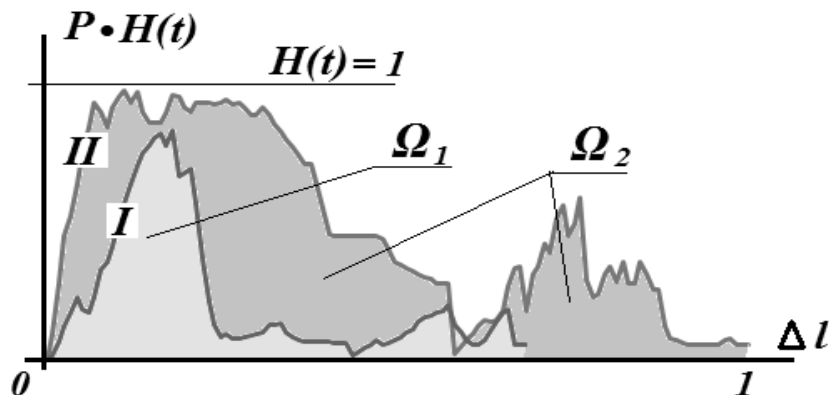


Рис. 5. Діаграми механічних випробувань моделей родючого шару ґрунту: I – імітація процесу ущільнення, II – імітація процесу руйнування структурних формувань поверхневих шарів.

Числове інтегрування діаграм, наведених на рис. 5, дозволяє встановити:

$$\Omega_{\Sigma} = 1,0 \left\{ \begin{matrix} \Omega_1 = 0,222 \\ \Omega_2 = 0,778 \end{matrix} \right\} = 0,222 + 0,778$$

Співвідношення к часток повної роботи Ω_{Σ} зовнішніх сил, які витрачаються деформування і руйнування родючого шару ґрунту при заданій структурі та міцності, поміж роботою Ω_1 ущільнення і

роботою Ω_2 руйнування структурних формувань поверхневих шарів ґрунту, становитиме:

$$k = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \frac{0,778}{0,222} = 3,50. \quad (7)$$

Таким чином, розроблений метод деформації та руйнування структури ґрунту дозволяє в лабораторних умовах змоделювати вплив ходових систем на родючий шар ґрунту в залежності від його структури та визначити співвідношення критичної деформації та параметрів які призводять до руйнування відповідної структури ґрунту. Отримані результати моделювання дають змогу стверджувати про можливість визначення критичних значень навантажень деформації та руйнування в залежності від структури та інших параметрів стану ґрунту. В подальшому для удосконалення лабораторної імітаційної моделі ґрунту планується використання різноманітних контактних клеїв, що дасть змогу розширити діапазон просторової орієнтації структур ґрунту в подальших дослідженнях.

Висновки

1. Розроблений лабораторний метод моделювання деформації та руйнування структур ґрунту, який дозволяє змоделювати вплив ходових систем на родючий шар ґрунту в залежності від його структури та властивостей ґрунту.

2. Отриманий метод дозволяє визначити співвідношення між критичної деформацією та параметрами які призводять до руйнування структури ґрунту.

Список литературы

1. *Makharoblidze R. M., Lagvilava I. M., Basilashvili B. B., Khazhomia R. M.* Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis, In *Annals of Agrarian Science*, Volume 15, Issue 3, 2017, Pages 339–343, ISSN 1512-1887, <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.05.026>.
2. *Bogusław Usowicz, Jerzy Lipiec.* Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil, In *Soil and Tillage Research*, Volume 174, 2017, Pages 241–250, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015>.
3. *Gholamhossein Shahgholi, Mohammadreza Abuali.* Measuring soil compaction and soil behavior under the tractor tire using strain transducer, In *Journal of Terramechanics*, Volume 59, 2015, Pages 19–25, ISSN 0022-4898, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.007>.
4. *Per Schjønning, Mathieu Lamandé, Lars J. Munkholm, Henning S. Lyngvig, Janne Aa. Nielsen.* Soil precompression stress, penetration resistance and crop yields in relation to differently-trafficked, temperate-region sandy loam soils, In *Soil and Tillage Research*, Volume 163, 2016, Pages 298–308, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.003>.
5. *Голуб Г. А., Кухарець С. М.* Двоємнісна модель гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212, ч. 2. С. 302–307.

6. Shoya Higa, Kenji Nagaoka, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida. Measurement and modeling for two-dimensional normal stress distribution of wheel on loose soil, In Journal of Terramechanics, Volume 62, 2015, Pages 63–73, ISSN 0022-4898, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.04.001>.
7. Vidas Damanauskas, Algirdas Janulevičius. Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems, In Journal of Terramechanics, Volume 60, 2015, Pages 63–73, ISSN 0022-4898, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.06.001>.
8. Кушнарев А. С., Кочев В. И. Механико-технологические основы обработки почвы. Киев. Урожай. 1989. 144 с.
9. Кухарець С. М., Забродський П. М. Напружений стан ґрунту і процеси структуроутворення при обробітці дисковими робочими органами. Вісник ЖНАЕУ. 2017. № 1 (58), т. 1. С. 240–248.
10. Junlong Guo, Haibo Gao, Liang Ding, Tianyou Guo, Zongquan Deng. Linear normal stress under a wheel in skid for wheeled mobile robots running on sandy terrain, In Journal of Terramechanics, Volume 70, 2017, Pages 49–57, ISSN 0022-4898, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.01.004>.
11. Иванов П. Л. Разжижение и уплотнение несвязных грунтов при динамических воздействиях. Ленинград. Издво ЛПИ. 1978. 52 с.
12. Исследования по физике грунтов. Элементы физики дисперсных систем применительно к грунтам и почвам. Москва-Ленинград. ОНТИ. 1937. 135 с.
13. Дидух Б. И. Упругопластическое деформирование грунтов: монография. Москва. Изд-во УДН. 1987. 166 с.
14. Кандауров И. И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. Ленинград. Стройиздат. 1988. 28 с.

References

1. Makharoblidze, R. M., Lagvilava, I. M., Basilashvili, B. B., Khazhomia, R. M. (2017). Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis, In Annals of Agrarian Science, Volume 15, Issue 3, 339–343, ISSN 1512-1887, <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.05.026>.
2. Bogusław Usowicz, Jerzy Lipiec. (2017). Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil, In Soil and Tillage Research, Volume 174, 241–250, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015>.
3. Gholamhossein Shahgholi, Mohammadreza Abuali. (2015). Measuring soil compaction and soil behavior under the tractor tire using strain transducer, In Journal of Terramechanics, Volume 59, 19–25, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.02.007>.
4. Per Schjønning, Mathieu Lamandé, Lars J. Munkholm, Henning S. Lyngvig, Janne Aa. Nielsen. (2016). Soil precompression stress, penetration resistance and crop yields in relation to differently-trafficked, temperate-region sandy loam soils, In Soil and Tillage Research, Volume 163, 298–308, <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.003>.
5. Golub, G. A. Kuharets, S. M. (2015). Model of the humus state of the soil environment in agroecosystems. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 212, part 2. 302–307.
6. Shoya Higa, Kenji Nagaoka, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida. (2015). Measurement and modeling for two-dimensional normal stress distribution of wheel on loose soil, In Journal of Terramechanics, Volume 62, 63–73, ISSN 0022-4898, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.04.001>.

7. *Vidas Damanauskas, Algirdas Janulevičius.* (2015). Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4WD and dual-wheel 2WD driving systems, In *Journal of Terramechanics*, Volume 60, 63–73, ISSN 0022-4898, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.06.001>.
8. *Kushnarev, A. S., Kochev, V. S.* (1989). Mechanical-technological bases of processing of soil. *Kiev. Harvest.* 144.
9. *Kuharets, S. M., Makarov, P. M.* (2017). Stress state of the soil and the processes of structure formation in the processing of disk working bodies. *Herald, INEU.* No 1 (58), vol. 1. 240–248.
10. *Junlong Guo, Haibo Gao, Liang Ding, Tianyou Guo, Zongquan Deng.* (2017). Linear normal stress under a wheel in skid for wheeled mobile robots running on sandy terrain, In *Journal of Terramechanics*, Volume 70, 49–57, ISSN 0022-4898, <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.01.004>.
11. *Ivanov, P. L.* (1978). Liquefaction and compaction of non cohesive soils under dynamic effects. *Leningrad. LPI.* 52.
12. *Research on the physics of soils.* (1937). Elements of physics of dispersed systems in relation to soil and soil. *Moscow-Leningrad. ONTI.* 135.
13. *Didukh, B. I.* (1987). Elastic-plastic deformation of soils. *Moscow. UDN.* 166.
14. *Kandaurov, S. S.* (1988). Mechanics of granular media and its application in construction. *Leningrad. Stroyizdat.* 28.

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОЧВЫ

Б. А. Шелудченко, В. В. Чуба, В. Р. Билецкий

Аннотация. Во время работы машинно-тракторных агрегатов происходит контактное взаимодействия колеса с грунтом. При взаимодействии наблюдается деформирования и уплотнения почвы, что отрицательно влияет на изменение его структуры. Для уменьшения негативного воздействия на почву необходимо определять оптимальные конструкционные параметры колесных движителей машинно-тракторных агрегатов. А для этого необходимо использовать имитационные модели грунту, являются адекватными реальным грунтовым формированием.

В статье рассмотрены лабораторный метод оценки структурных моделей почвы на основе модели сплошной среды.

Применение модели сплошной среды в аэромеханике почв позволяет сразу же перенести в последнюю целый ряд решений, которые были получены в механике сплошной среды. Как показывает опыт, применение в задачах механики грунтов решений, найденных в теории упругости, теории пластичности и в других разделах механики сплошной среды, во многих случаях позволяет правильно оценить порядок ожидания деформаций и получить приблизительный характер их распределения в почвенном среде.

В статье также разработан метод деформации и разрушения структуры почвы, позволяет в лабораторных условиях смоделировать влияние ходовых систем на плодородный слой почвы в зависимости от его структуры и определить соотношение критической деформации и параметров которые приводят к разрушению соответствующей структуры почвы. Полученные результаты моделирования позволяют утверждать о возможности определения критических значений нагрузок деформации и разрушения в зависимости от структуры и других параметров состояния почвы.

Ключевые слова: почва, сечение, разрывная машина, пятно контакта, пористость

DEVELOPMENT OF LABORATORY METHOD FOR EVALUATING STRUCTURAL SOIL MODELS

B. A. Sheludchenko, V. V. Chuba, V. R. Biletskiy

Abstract. *During the work of machine-tractor units there is a contact between the wheel and the ground. In the interaction there is deformation and consolidation of the soil, which adversely affects the change in its structure. In order to reduce the negative impact on the soil, it is necessary to determine the optimal constructional parameters of the wheeled motors of machine-tractor aggregates. For this it is necessary to use simulation models of the soil that are adequate to the actual soil formation.*

The article deals with the laboratory method for evaluating structural soil models based on the model of continuous medium.

The application of the model of a continuous medium in the soil mechanics allows one to immediately transfer to the last range of solutions obtained in the mechanics of the continuous medium. Experience shows that in applications of soil mechanics solutions found in the theory of elasticity, plasticity theory, and in other sections of continuum mechanics, in many cases it is possible to correctly evaluate the order of the deformation expectation and to obtain an approximate character of their distribution in the soil environment.

The article also develops a method of deformation and destruction of the soil structure, which allows, in laboratory conditions, to simulate the influence of running systems on the fertile soil layer, depending on its structure, and to determine the correlation of critical deformation and parameters that lead to the destruction of the corresponding structure of the soil. The obtained modeling results allow us to assert about the possibility of determining the critical loads of deformation and fracture loads depending on the structure and other parameters of the soil state.

Key words: soil, section, tear-off machine, contact spot, porosity

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБРОДЖУВАННЯ СУСЛА
ВИСОКОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІЗ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЦИТРАТІВ МЕТАЛІВ**

***Т. О. Мудрак, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0003-3842-3183***

***А. М. Куц, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-0207-7613***

***Р. Г. Кириленко, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0003-3263-1950***

***С. С. Ковальчук, аспірант
ORCID 0000-0002-5344-1243***

***Х. І. Пакуляк, магістрант
ORCID 0000-0001-9086-8281***

Національний університет харчових технологій

***В. П. Василів, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-2109-0522***

***Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: vasiliv-vp@ukr.net***

Анотація. Розробка комплексної безвідходної технології переробки зернової сировини в етиловий спирт з метою зменшення собівартості цільового продукту є актуальною проблемою сьогодення. При зброджуванні сусла високих концентрацій велике значення має фізіолого-біохімічна активність дріжджів. Фізіологічний стан дріжджів визначається складом сусла, яке повинно містити достатню кількість зброджуваних цукрів, азотних та мінеральних речовин.

Метою роботи було дослідження впливу цитратів металів на культивування дріжджів та їх використання при біоконверсії вуглеводів сусла високої концентрації із крохмалевмісної сировини з подальшим визначенням якісного та кількісного складу легкої частини зрілої бражки.

Досліджено, що використання мінерального живлення для культивування дріжджів дозволило накопичувати необхідну кількість клітин, скоротити тривалість дріжджогенерування до 18–20 год та одержувати дріжджові клітини з високою фізіолого-біохімічною активністю. В зразках, отриманих з використанням

© Т. О. Мудрак, А. М. Куц, Р. Г. Кириленко, С. С. Ковальчук,
Х. І. Пакуляк, В. П. Василів, 2018

дріжджів культивованих з цитратами металів, хіміко-технологічні показники зрілих бражок були кращими порівняно з контролем. Вміст спирту в бражках зростав на 1–3 % відповідно до внесеного цитрату металу. При дослідженні синтезу летких домішок в бражних дистилятах також спостерігався позитивний вплив цитратів металів при їх використанні на стадії культивування дріжджів. Дослідження проводили в лабораторних умовах та на спиртових заводах при виробництві спирту з крохмалевмісної сировини.

Ключові слова: *високонцентроване сусло, сухі речовини, цитрати металів, зброджування*

Постановка проблеми. Розроблення комплексної безвідходної технології переробки зернової сировини в етиловий спирт з метою зниження його собівартості, зумовлює необхідність зброджування сусла високих концентрацій при підвищених температурах. Підвищення осмотичного тиску в субстраті та температури зброджування веде до створення екстремальних умов для життєдіяльності дріжджів, що може привести до зниження їх бродильної активності, а це сприятиме нестабільності в роботі бродильного відділення.

При зброджування сусла високих концентрацій велике значення має фізіолого-біохімічна активність дріжджів. Потреба в макро– та мікроелементах збільшується в декілька разів у зв'язку з перебуванням культури в стресових умовах [1, С. 72–77; 2, С. 349–353]. Їх фізіологічний стан впливає на біоконверсію сусла і якісний склад летких домішок бражки. Фізіологічний стан дріжджів визначається складом сусла, яке повинно містити достатню кількість зброджуваних цукрів, азотних та мінеральних речовини.

При виробництві етилового спирту є можливість змінювати хімічний склад середовища культивування дріжджів шляхом внесення композицій біогенних металів як джерел додаткового живлення для дріжджів.

Аналіз останніх досліджень. Застосування солей неорганічних кислот у преміксах для збагачення їх мінеральними речовинами біологічно мало ефективно у зв'язку з низькою біодоступністю та засвоюваністю. Відомо, що органічні кислоти, в тому числі лимонна, здатні утворювати з біогенними металами розчинні солі з високою біодоступністю. За допомогою аквананотехнології отримано розчини цитратів [3, С. 14–18]. Цитрати мікроелементів нині використовуються у технологічних процесах виробництва харчових продуктів в якості стабілізаторів та регуляторів кислотності. Цитрати макро- і мікроелементів є безпечними для здоров'я і дозволені в харчових продуктах.

Використання наноцитратів есенціальних біметалів у поживних середовищах для дріжджів відкриває перспективу модифікувати макро– та мікроелементний склад дріжджової клітини. Корегування складу поживного середовища для дріжджів дозволяє створити сприятливі умови для перебігу метаболічних реакцій в клітині. Стимулююча дія окремих мікроелементів залежить від повноцінності поживного середовища, наявності в ній необхідних мікроелементів, вітамінів та інших біологічно активних речовин [4, С. 40–44]. Мінеральні речовини є каталізаторами біохімічних реакцій, які відбуваються під час життєдіяльності дріжджів. Так, магній є стабілізатором структури рибосом та необхідним компонентом мітохондрій. Роль магнію в мітохондріях пов'язана з його здатністю активувати майже всі ферменти, що потребують наявності двовалентних катіонів. Магній активує процеси зброджування сусла високих концентрацій, дію практично всіх ферментів клітини, енергетичний обмін, а також, як і цинк, не може бути замінений іншими іонами [5, С. 19–45]. Марганець, цинк і мідь сприяють вуглеводному, фосфорному і білковому обміну при культивуванні дріжджів. Зміна концентрації мінеральних елементів, істотно впливає на метаболізм мікроорганізмів [6, С. 19–21; 7, С. 1208–1213]. Марганець виступає в ролі неспецифічного активатора металоферментних комплексів, впливає на утворення вітамінів, а також, як і магній, необхідний для синтезу білку і деяких незамінних амінокислот [8, С. 48–50].

Метою було дослідження впливу цитратів металів на культивування дріжджів та їх використання при біоконверсії вуглеводів сусла високої концентрації із крохмалевмісної сировини з подальшим визначенням якісного та кількісного складу леткої частини зрілої бражки.

Матеріали і методи досліджень. Для досліджень використовували кукурудзу з крохмалистістю 69,5 %, яку подрібнювали до отримання помелів з дисперсністю 100 % проходу крізь сито з отворами діаметром 1 мм.

Крохмалистість вихідного зерна визначали за методом Еверса [9, С. 103], а його вологість – за методом висушування до постійної маси [9, С. 61].

Гранулометричний склад помелу зерна знаходили розсіюванням на металевих та капронових ситах [9, С. 142]. Для визначення концентрації сухих речовин сусла і зрілої бражки застосовували цукромір та рефрактометр [9, С. 144, 148].

Приготування сусла проводили за низькотемпературною схемою розварювання при температурі 85–92 °С з використанням концентрованих ферментних препаратів α -амілази з експозицією 3 год. Розріджену масу охолоджували до температури 50–55 °С і

оцукрювали глюкоамілазою протягом 0,5 год. При зброджуванні сусла використовували дріжджі раси *Saccharomyces cerevisiae* ДО–16. Для приготування дріжджів сусло підкисляли сірчаною кислотою до кислотності 0,5–0,6 град. Культивування дріжджів проводили за температури 30–32 °С, а зброджування – за температури 30–35 °С. Для розріджування та оцукрення замісів використовували ферментні препарати фірми «Danisco» (Бельгія): в якості α -амілази – Амілекс 4Т, глюкоамілази – Діазім TGA.

Культивування дріжджів і зброджування проводили на суслі з концентрацією 28 %. На стадії дріжджогенерування застосовували цитрати цинку, магнію, марганцю, міді, заліза, молібдену при кількості 70 мкг/дм³.

Засівні дріжджі вносили в кількості 15 млн кл./см³ сусла при дріжджогенеруванні та 20 млн кл./см³ сусла при зброджуванні.

В лабораторних умовах сусло зброджували за методом «бродильної проби» в конічних колбах з сірчаноокислотними затворами у термостаті. Динаміку виділення діюкиду вуглецю контролювали ваговим методом. В зрілій бражці рН визначали електрометричним методом, вміст етанолу в зрілій бражці – пікнометричним методом, незброджені та спирторозчинні вуглеводи, нерозчинений крохмаль та декстрини – фотоелектроколориметричним методом з антроновим реактивом [9, С. 151–155].

Вміст летких домішок в бражних дистилятах визначали на газовому хроматографі Кристал 2000М.

Результати досліджень. На першому етапі роботи було проведено дослідження впливу цитратів металів на культивування дріжджів. Встановлено, що використання цитратів металів позитивно впливає на накопичення дріжджових клітин. Застосування мінерального живлення для культивування дріжджів дозволило накопичити необхідну кількість клітин, скоротити тривалість дріжджегенерування до 18–20 год та одержати дріжджові клітини з високою фізіолого-біохімічною активністю. Так, внесення цитрату цинку та магнію як біологічних стимуляторів підвищило регенеративну здатність дріжджової популяції в 1,9–1,8 рази відповідно порівняно з контрольним зразком (рис. 1).

Таким чином, застосування цитратів металів дозволяє інтенсифікувати процес культивування дріжджів. Але, відповідно до попередніх наших досліджень, додавання мінерального живлення в наноформі на стадії дріжджогенерування рекомендується проводити циклічно: 3 цикли з металами і стільки ж — без металів [10, с. 51–56].

На наступному етапі роботи проводили зброджування сусла з використанням дріжджових клітин, які культивували на субстраті з цитратами металів. Як показали результати досліджень (табл. 1), в

зразках із додаванням мінерального живлення при культивуванні дріжджів, хіміко-технологічні показники бражки були кращими порівняно з контролем.

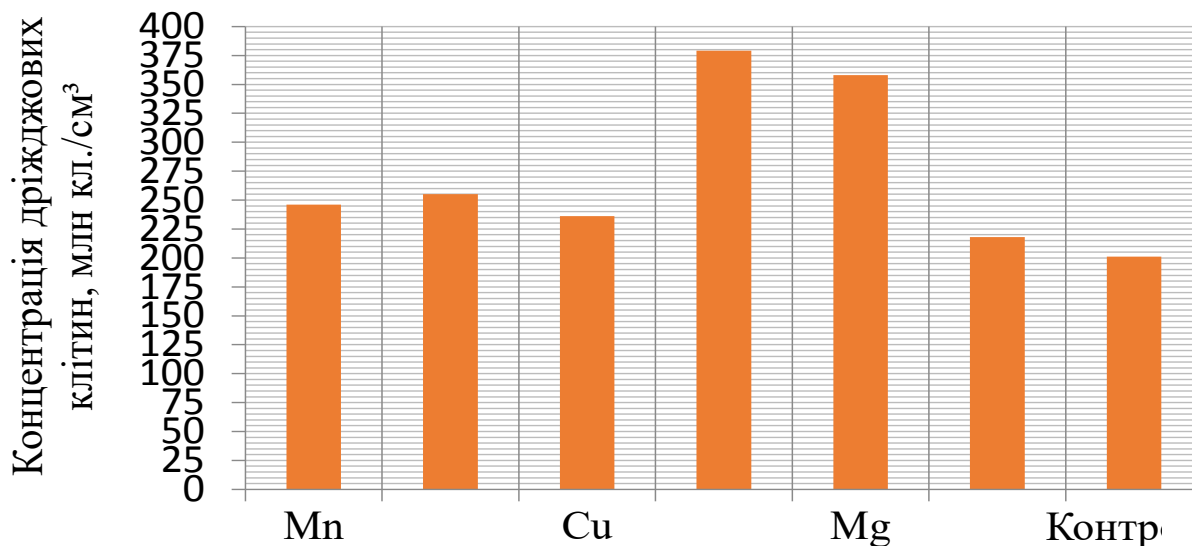


Рис. 1. Вплив цитратів металів на культивування дріжджів.

1. Хіміко-технологічні показники зрілої бражки залежно від якісного складу цитратів металів внесених на стадії дріжджогенерування.

Цитрат металу	Сума CO ₂ , г/200 см ³	pH	Вміст незброджених вуглеводів, г/100 см ³					Вміст спирту, % об.	Концентрація дріжджових клітин, млн кл./см ³
			Загальні вуглеводи	Розчинні вуглеводи	Нерозчинений крохмаль	Декстрини	Спирторозчинні вуглеводи		
Fe ²⁺	26,02	4,00	0,41	0,34	0,06	0,22	0,090	13,90	220
Mn ²⁺	26,01	3,90	0,40	0,33	0,06	0,22	0,080	13,90	225
Mg ²⁺	28,02	3,89	0,34	0,29	0,04	0,25	0,009	14,00	228
Cu ⁺	26,40	4,00	0,45	0,32	0,11	0,18	0,087	13,85	218
Zn ²⁺	28,40	3,87	0,33	0,25	0,07	0,21	0,007	14,10	218
Mo ⁶⁺	26,05	3,99	0,39	0,30	0,08	0,22	0,050	13,90	216
Контроль	25,50	4,00	0,45	0,34	0,09	0,25	0,056	13,80	217

Вміст спирту в бражках зростав на 1–3 % відповідно до внесеного цитрату металу. Кращі показники концентрації спирту в

бражках спостерігались при застосування цитратів цинку та магнію. Ці дані корелюють із зменшенням вмісту незброжених вуглеводів у дослідних зразках. Так, вміст нерозчиненого крохмалю у дослідних зразках був у 1,1–2,2 рази меншим, ніж у контрольних. Показник за вмістом розчинених вуглеводів знижувався в 1,1–1,3 рази відповідно до виду внесеного цитрату, а вміст спирторозчинних вуглеводів – в 1,1–8 разів порівняно з контролем.

В подальшому визначали якісний і кількісний склад летких домішок в бражних дистилятах залежно від виду цитрату металу, внесеного на стадії дріжджогенерування. За даними табл. 2 склад летких домішок в бражних дистилятах коливався в широкому діапазоні.

Складні естери у спирті синтезуються внаслідок ферментативних процесів у дріжджовій клітині. У зразках з використанням цитратів заліза та міді кількість складних естерів в бражних дистилятах була найнижчою і складала 90,39 та 99,43 мг/дм³ відповідно. Вміст метанолу у всіх зразках бражних дистилятів був практично однаковим. Концентрація ацетальдегіду знижувалась при додаванні цитратів заліза, цинку, магнію, міді, молібдену порівняно з контрольним зразком в 1,3–2 рази, проте при додаванні цитрату марганцю його вміст зростав в 1,5 рази.

2. Вміст летких органічних домішок у зрілих бражках залежно від внесеного цитрату металу.

Цитрат металу	Вміст летких компонентів, мг/ дм ³								
	Альде- гіди	Естери	Спирти, % об.	Сивушні спирти					
	Ацетальдегід	Етилацетат	Метанол	Н-пропанол	Ізобутанол	Ізопропанол	Н-бутанол	Ізоаміловий спирт	Сума по групі
Fe ²⁺	35,68	90,39	0,0036	496,57	187,98	5,83	5,637	744,26	1440,30
Mn ²⁺	26,94	125,19	0,0094	484,14	289,22	2,142	5,748	1042,35	1823,61
Mq ²⁺	85,05	121,19	0,0047	643,76	209,47	2,532	7,251	724,67	1587,69
Cu ⁺	36,65	99,43	0,0035	677,76	226,75	3,309	4,441	800,37	1712,64
Zn ²⁺	39,70	141,63	0,0039	661,98	208,99	2,875	4,760	689,47	1568,09
Mo ⁶⁺	36,11	112,68	0,0055	427,44	236,56	3,200	7,499	995,76	1670,47
Конт- роль	54,42	118,74	0,0033	587,72	210,59	2,406	5,933	817,23	1623,89

Вищі спирти – продукти, синтез яких відбувається на межі вуглеводного та азотного обміну дріжджів і утворюються шляхом

дезамінування та переамінуванням амінокислот з подальшим декарбоксилювання кетокислот. Найнижча концентрація сивушних спиртів спостерігалась в зразках з використанням цитрату заліза і становила 1440,30 мг/дм³.

Висновки

Експериментально встановлено та теоретично обґрунтовано доцільність використання мінерального живлення при зброджуванні сусла високої концентрації. Використання цитратів металів як біологічно активного стимулятора для дріжджових клітин сприяє інтенсифікації зброджування сусла. Найкращі показники зрілої бражки спостерігались при застосуванні цитратів магнію та цинку. Суттєвих відмінностей у якісному і кількісному вмісті летких домішок бражних дистилятів у контрольному і дослідних зразках не встановлено.

Одержані в лабораторних умовах результати були підтверджені на спиртових заводах при виробництві спирту з крохмалевмісної сировини.

Список літератури

1. *Shiyan P., Mudrak T., Kyrylenko R., Kovalchuk S.* Effect of nitrogen and mineral composition of the high-concentrated wort made from starch-containing raw materials on the cultivation of yeast. *Eastern–European journal of enterprise technologies*. 2017. № 11. P. 72–77.
2. *Kosiv R., Kharandiuk T., Polyuzhyn L., Palianytsia L., Berezovska N.* Berezovska. Optimization of Main Fermentation of High-Gravity Wort. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. № 3. P. 349–353.
3. *Гуліч М. П., Харченко О. О., Ємченко Н. Л., Єрмоленко В. П., Моїсеєнко І. Є.* Цитрати магнію, отримані за аквананотехнологією: хімічна та біологічна характеристики. *Довкілля та здоров'я*. 2014. № 4. С. 14–18.
4. *Кошова В. М., Яжло В. С., Каплуненко В. Г., Огородник Ю. І.* Підвищення бродильної активності пивоварних дріжджів за допомогою наноаквахелату цинку. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2015. № 10. С. 40–44.
5. *Udeh H. O., Kgatla T. E.* Role of magnesium ions on yeast performance during very high gravity fermentation. *Journal of Brewing and Distilling*. 2013. № 4. С. 19–45.
6. *Халилова Э. А., Исламмагомедова Э. Ф., Котенко С. Ц., Магадова С. А.* Элементный состав клеток штамма *Saccharomyces cerevisiae* Y–503, культивируемого на различных питательных средах. *Производство спирта и ликероводочных изделий*. 2011. № 4. С. 19–21.
7. *Udeh H. O., Kgatla T. E., Jideani A. I.* Effect of mineral ion addition on yeast performance during very high gravity wort fermentation. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*. 2014. № 8. P. 1208–1213.
8. *Исламмагомедова Э. А., Халилова Э. А., Котенко С. Ц., Магадова С. А.* Влияние условий культивирования на содержание минеральных веществ и некоторые биотехнологические свойства дрожжей Y–503. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2010. № 10. С. 48–50.

9. *Полигалина Г. В.* Технохимический контроль спиртового и ликероводочного производства. Москва. Колос. 1999. 334 с.
10. *Kovalchuk S., Shiyan P., Mudrak T., Kuts A., Kyrylenko R.* Investigation of influence of nanoparticles of metals on fermenttation of wort of high concentrations. Eureka. Life Sciences. 2017. № 6. P. 51–56.

References

1. *Shiyan, P.* (2017). Effect of nitrogen and mineral composition of the high-concentrated wort made from starch-containing raw materials on the cultivation of yeast. Eastern-European journal of enterprise technologies. № 11. 72–77.
2. *Kosiv, R.* (2016). Berezovska. Optimization of main fermentation of high-gravity wort. Chemistry & Chemical Technology. № 3. 349–353.
3. *Gulich, M. P.* (2014). Magnesium citrates, obtained by aquatic technology: chemical and biological characteristics Environment and health. № 4. 14–18.
4. *Koshova V. M., Yazhlo V. S., Kaplunenko V. G., Ogorodnik Y. I.* (2015). Improvement of fermentation activity of brewing yeast by zinc nanocarboxylic acid. East-European Journal of Advanced Technologies. № 10. 40–44.
5. *Udeh, H. O., Kgatla, T. E.* (2013). Role of magnesium ions on yeast performance during very high gravity fermentation. Journal of Brewing and Distilling. № 4. 19–45.
6. *Khalilova, E. F., Islammagomedova, E. F., Kotenko, S. Ts., Magadova, S. A.* (2011). Elemental composition of *Saccharomyces cerevisiae* Y-503 strains cultured on different nutrient media. Production of alcohol and alcoholic beverages. №4. 19–21.
7. *Udeh, H. O., Kgatla, T. E., Jideani, A. I.* (2014). Effect of mineral ion addition on yeast performance during very high gravity wort fermentation International Journal of Biological, Biomolecular. Agricultural, Food and Biotechnological Engineering. № 8. 1208–1213.
8. *Islammagomedova, E. F., Khalilova, E. F., Kotenko, S. Ts., Magadova, S. A.* (2010). Influence of cultivation conditions on the content of mineral substances and some biotechnological properties of the Y-503. Storage and processing of agricultural raw materials. № 10. 48–50.
9. *Poligalina, G. V.* (1999). Technochemical control of alcohol and distillery production. Moscow. Kolos. 334.
10. *Kovalchuk, S., Shiyan, P., Mudrak, T., Kuts, A., Kyrylenko, R.* (2017) Investigation of influence of nanoparticles of metals on fermenttation of wort of high concentrations. Eureka. Life Sciences. № 6. 51–56.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБРАЖИВАНИЯ СУСЛА ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ С КРАХМАЛСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИТРАТОВ МЕТАЛЛОВ

**Т. Е. Мудрак, А. М. Куц, Р. Г. Кириленко, С. С. Ковальчук,
Х. И. Пакуляк, В. П. Васылив**

Аннотация. *Вопрос разработки комплексной безотходной технологии переработки зернового сырья в этиловый спирт с целью уменьшения себестоимости целевого продукта является актуальной проблемой. При сбраживании сусла высоких концентраций большое значение имеет физиолого-биохимическая активность дрожжей. Физиологическое состояние дрожжей определяется составом сусла, которое должно содержать*

достаточное количество сбраживаемых сахаров, азотных и минеральных веществ.

Целью работы было исследование влияния цитратов металлов на культивирование дрожжей и их использование при биоконверсии углеводов сусла высокой концентрации из крохмалсодержащего сырья с последующим определением качественного и количественного состава летучей части зрелой бражки.

Доказано, что использование минерального питания для культивирования дрожжей позволило накапливать необходимое количество клеток, сократить продолжительность их культивирования до 18–20 часов и получать дрожжевые клетки с высокой физиолого-биохимической активностью. В образцах, полученных с использованием дрожжей культивируемых с цитратами металлов, химико-технологические показатели зрелых бражек были лучше по сравнению с контролем. Содержание спирта в бражке увеличилось на 1–3 % согласно внесенному цитрату металла. При исследовании синтеза летучих примесей в бражных дистиллятах также наблюдалось положительное влияние цитратов металлов при их использовании на стадии культивирования дрожжей. Исследования проводились в лабораторных условиях и на спиртовых заводах при производстве спирта с крохмалсодержащего сырья.

Ключевые слова: *високонцентроване сусло, сухие вещества, цитраты металлов, брожение*

IMPROVING TECHNOLOGY OF FERMENTATION HIGHLY CONCENTRATION OF STRAIGHT – CONTAINING MUST MATERIALS USING METAL CITRATES

***T. O. Mudrak, A. M. Kuts, R. G. Kyrylenko, S. S. Kovalchuk,
Kh. I. Pakulyak, V. P. Vasylyv***

Abstract. Today, the issue of developing a comprehensive non-waste technology for the processing of grain raw materials into ethyl alcohol in order to reduce the cost of the target product — is relevant. In the fermentation of the wort of high concentrations, the physiological and biochemical activity of yeast is of great importance. The physiological state of yeast is determined by the composition of the wort, which must contain a sufficient amount of digestible sugars, nitrogen and mineral substances.

The aim of the work was to study the influence of metal citrates on the process of cultivating yeasts and their use in the bioconversion of high concentration carbohydrate carbohydrates from starchy raw materials, with subsequent determination of the qualitative and quantitative composition of the volatile part of the mature shoots.

It was investigated that the use of mineral nutrition for the cultivation of yeast allowed to accumulate the required number of cells, reduce the duration of yeast production to 18–20 h, and obtain yeast cells with high physiological and biochemical activity. In samples using yeast, cultivated with citrates of metals, the chemical and technological parameters of the brains were better than control. The content of alcohol in mussels grew by 1–3 % in accordance with the metal citrate added. In the study of the synthesis of volatile impurities in distillates, there was also a positive effect of metal citrates on their use at the stage of yeast cultivation. The investigations were carried out in the laboratory conditions of and alcohol plants in the production of alcohol from starch-containing raw materials.

Key words: *highly concentrated must, dry matter, metal citrates, fermentation*

УДК 629.113

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЕФОРМУВАННЯ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ОСЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ СУЧАСНОЇ АГРОТЕХНОЛОГІЧНОЇ ШИНИ

**С. М. Кухарець, доктор технічних наук
ORCID 0000-0002-5129-8746**

Житомирський національний агроекологічний університет

**В. В. Чуба, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-4119-0520**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування**

**В. М. Зубко, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-2426-2772**

**Сумський національний аграрний університет
e-mail: vvchuba@ukr.net, zubkovladislav@ukr.net**

Анотація. Під час роботи машинно-тракторних агрегатів відбувається контактна взаємодія колеса з ґрунтом. При взаємодії спостерігається деформування та ущільнення ґрунту, що негативно впливає на зміну його структури. Для зменшення негативного впливу на ґрунт необхідно визначати оптимальні конструкційні параметри колісних рушіїв машинно-тракторних агрегатів.

В статті розглянуто взаємодію із ґрунтом колісного рушія та існуючі моделі взаємодії колеса з опорною поверхнею в залежності

© С. М. Кухарець, В. В. Чуба, В. М. Зубко, 2018

від параметрів сучасної агротехнологічної шини. Виконано аналіз існуючих моделей взаємодії колеса із опорною поверхнею, з метою визначення залежності площі контакту колеса від його геометричних та конструкційних параметрів, таких як геометричний прогин, радіус, діаметр а також тиск у шині. Виконано експериментальний аналіз плям контакту сучасної агротехнологічної шини. На основі аналізу відбитків сучасної агротехнологічної шини та існуючих моделей взаємодії колеса з опорною поверхнею, виконано удосконалення математичної моделі взаємодії колеса з ґрунтом. Удосконалена математична модель дозволяє визначати площу плями контакту в залежності від властивостей агротехнологічної шини, тиску в ній та дозволяє визначити розподілене навантаження на елементарну частину опорної поверхні.

Отримані результати дозволяють виконувати математичне моделювання розподілу нормальних напружень в ґрунті в залежності від масових показників машинно–тракторного агрегату, конструкційних та технологічних властивостей шини, що застосовується. Застосування отриманої математичної моделі в поєднанні з моделлю зминання та руйнування родючого шару ґрунту, дозволить виконувати вибір типу шин та необхідного робочого тиску для мінімізації завдання шкідливого впливу на ґрунт.

Ключові слова: колісні рушії, машинно-тракторний агрегат, нормальні напруження, пляма контакту, опорна поверхня, тиск шини

Постановка проблеми. Розвиток технічного забезпечення сільського господарства іде шляхом застосування широкозахватних агрегатів, застосування яких вимагає реалізації досить великої потужності колісними рушіями. Досить часто для реалізації необхідної потужності застосовують додаткові баластні маси, що призводить до збільшення питомих тисків в зоні контакту колеса з ґрунтом, як наслідок відбувається збільшення ущільнення ґрунту. Ущільнення ґрунту призводить до руйнування його структури та негативні наслідки у вигляді зниження врожайності сільськогосподарських культур [1, 2, 3]. Зміна геометричних параметрів колеса, з метою збільшення плями контакту для покращення зчеплення з опорною поверхнею, приводить до збільшення буксування привідного колеса. Наслідком збільшення буксування є втрата певної нереалізованої потужності та негативна дія на ґрунт за рахунок перетирання верхнього родючого шару. Найбільш ефективним можна вважати комплексний підхід реалізації збільшеної потужності, що полягає в підборі необхідної маси енергозасобу та сучасної агротехнологічної

шини з точки зору мінімізації негативного впливу на ґрунт. Уточнення математичної моделі, яка б дала змогу визначати площу плями контакту та розподілений тиск на ґрунт, в залежності від фізико-механічних, конструкційних та технологічних параметрів колеса, маси енергозасобу є досить нагальною проблемою.

Мета дослідження. Уточнення методики визначення площі контакту та розподіленого навантаження на ґрунт при використанні сучасної агротехнологічної шини в залежності від її конструкційних особливостей та осевого навантаження.

Результати досліджень. Досить значний вклад в дослідження взаємодії колеса з опорною поверхнею вніс В. Л. Бідерман, закладені ним ідеї [4] знайшли подальший розвиток в роботах багатьох відомих вчених [5, 6, 7].

В. Л. Бідерман запропонував розрахункову схему (рис. 1) для взаємодії пневматичного колеса з опорною поверхнею.

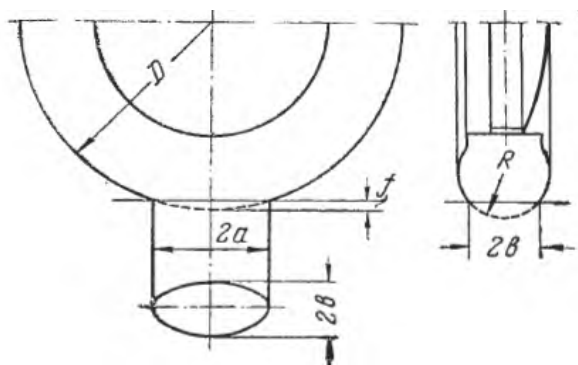


Рис. 1. Розрахункова схема взаємодії опорного колеса з опорною дорогою.

Згідно розрахункової схеми (рис. 1), прийнявши пляму контакту у вигляді еліпсу, вважаючи прогини малими, можна знайти довжини напівеліпсу плями контакту:

$$a = \sqrt{Df}, \quad (1)$$

та

$$b = \sqrt{2Rf}, \quad (2)$$

де: D – зовнішній діаметр шини, м; R – радіус ширини протектора, м.; f – прогин шини, від. од.

Звідки площу контакту, можна розрахувати за допомогою наступного виразу:

$$F_k = \pi ab = \pi f \sqrt{2RD}, \quad (3)$$

де: F_k – площа плями контакту колеса із опорною поверхнею, м.

Однією із важливих характеристик пневматичної шини які виділяв В. Л. Бідерман є нормальний прогин шини, який залежатиме від навантаження і фізико механічних властивостей шини, і має

великий вплив на площу взаємодії колеса опорною поверхнею і тиском який зазнає опорна поверхня.

Повний прогин шини складається із прогину каркасу і самого протектора і характеризується здатністю каркасу шини нести відповідне корисне навантаження і може бути розраховане наступним чином:

$$f = f_{\pi} - f_K = C_1 \frac{Q}{f} + C_2 \frac{Q}{p + p_0} \quad (4)$$

де: C_1 – постійний для відповідної шини коефіцієнт пов'язаний із деформуванням протектора його характеристиками та модулем пружності, Па⁻¹; C_2 – постійні для відповідної шини коефіцієнти, обернено пропорційні її геометричним параметрам, м⁻¹; f_{π} – прогин протектора шини, м; f_K – прогин каркаса шини, м; p – внутрішній тиск в шині, Па; p_0 – постійний коефіцієнт що характеризує жорсткість каркасу при нульовому тиску, Па; Q – осьове навантаження, Н.

Вирішивши рівняння відносно повного прогину шини та об'єднавши вирази (3) та (4) залежність, яка дозволяє взаємозв'язати властивості фізико-механічні властивості шини, навантаження та характеристики плями контакту:

$$F_K = \pi \sqrt{2RD} \left(\frac{C_1 Q}{2(p + p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p + p_0)} \right)^2 + C_1 Q} \right). \quad (5)$$

Отримана залежність дозволяє виконати моделювання впливу тиску в шині, навантаження, фізико-механічних властивостей шини на характеристику плями контакту шини із опорною поверхнею.

Проте використання даної математичної моделі для виконання моделювання ускладнене через необхідність визначення радіуса ширини протектора, і те, що даний параметр не застосовується для сучасних шин.

В роботі [8], автори розглядаючи взаємодію колеса з опорною поверхнею (рис 2), виразили геометричні характеристики плями контакту наступним чином:

$$a_e = \sqrt{f(D - f)}, \quad (6)$$

та

$$b_e = \sqrt{f(B - f)}. \quad (7)$$

Враховуючи вираз (6) та (7) вираз для обчислення площі плями контакту набуває вигляду:

$$F_K = \pi f \sqrt{(D - f)(B - f)}, \quad (8)$$

а вираз(8) набуває наступного вигляду:

$$F_k = \pi \sqrt{\left(D - \left(\frac{C_1 Q}{2(p + p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p + p_0)} + C_1 Q \right)} \right) \right) \left(B - \left(\frac{C_1 Q}{2(p + p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p + p_0)} + C_1 Q \right)} \right) \right)} \times \left(\frac{C_1 Q}{2(p + p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p + p_0)} + C_1 Q \right)} \right) \quad (9)$$

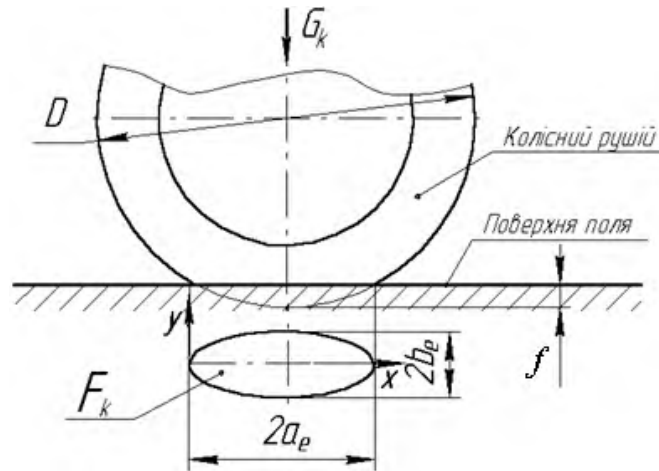


Рис. 2. Схема деформації пневматичної шини при статичних випробуваннях.

Отримана математична модель дозволяє виконати моделювання впливу на вантаження на зміну плями контакту і пов'язує дані характеристики із фізико-механічних та конструктивними параметрами шини колеса.

Згідно з [4] коефіцієнти C_1 , C_2 можна визначити експериментальним шляхом провівши трикратні виміри при двох різних тисках при максимальному навантаженні, і згідно аналізу роботи [9] виконаному в [10] визначені наступним чином:

$$C_1 = \frac{(x_1^2 + x_2^2)(y_1 + y_2) - (x_1 + x_2)(x_1 y_1 + x_2 y_2)}{2(x_1^2 + x_2^2) - (x_1 + x_2)^2}, \quad (10)$$

$$C_2 = \frac{2(x_1 y_1 + x_2 y_2) - (y_1 + y_2)(x_1 + x_2)}{2(x_1^2 + x_2^2) - (x_1 + x_2)^2}. \quad (11)$$

Коефіцієнти x_1 , x_2 , y_1 , y_2 визначаються експериментально при двох різних тисках і відповідним їм навантаженням [11]:

$$x_1 = \frac{f_{сп}}{p_{\min} + p_0}, \quad (12)$$

$$x_2 = \frac{f_{сп}}{p_{\max} + p_0}, \quad (13)$$

$$y_1 = \frac{f_{сп}}{Q_{\min}}, \quad (14)$$

$$y_2 = \frac{f_{сп}}{Q_{\max}}. \quad (15)$$

Постійний коефіцієнт p_0 залежить від розмірів шини та кількості слоїв корду при її виготовленні та згідно з [12], може бути визначений наступним чином:

$$p_0 = 16,7 - n_c \sqrt{\frac{D}{b}} - 1,4 - 2,8, \quad (16)$$

де: n_c – кількісна норма шаровості шини.

Враховуючі, що більшість сучасних виробників не вказують норму шаровості своїх пневматичних шин, і даний показник враховуючи сучасний розвиток конструкцій шин визначити досить важко, то при виконанні розрахунків можна прийняти в межах від 9806 до 29420 Па [4]. Провести відповідні експериментальні дослідження шини, в польових умовах досить складно тому, згідно досліджень [8] значення коефіцієнтів C_1 та C_2 для тракторних шин можна приймати в наступних діапазонах для C_1 від $0,0012 \cdot 10^{-5}$ до $0,0028 \cdot 10^{-5}$ Па⁻¹, для C_2 від 0,25 до 0,3 м⁻¹.

Для діагональних шин, більшість параметрів необхідних для розрахунку можна знайти [11], важче це зробити для радіальних шин, адже зазвичай виробник гумових шин практично ніколи не вказує їх ні в маркуванні, ні в технічній інформації виробника до шини. Тому удосконалена модель плями контакту потребує свого подальшого корегування.



Рис. 3. Схема відбитку контакту шини Firestone Radial 8000 розміру 460/85-18,4R38 при тиску 0,6 кПа та 1,0 кПа.

Слід також зазначити, що отримана математична модель придатна для моделювання плями контакту тільки еліптичної форми, які мають як правило тільки вузькі напрямні колеса або колеса з малою несучою здатністю.

Враховуючи сучасні тенденції розвитку шин та проведені власні експериментальні дослідження шини Firestone Radial 8000 460/85 R38 (рис. 3) та дослідження [13] (рис. 4) та [14] (рис. 5) дозволяють стверджувати, що сучасна агротехнологічна шина високої несучої здатності має пляму контакту наближену до прямокутної форми.

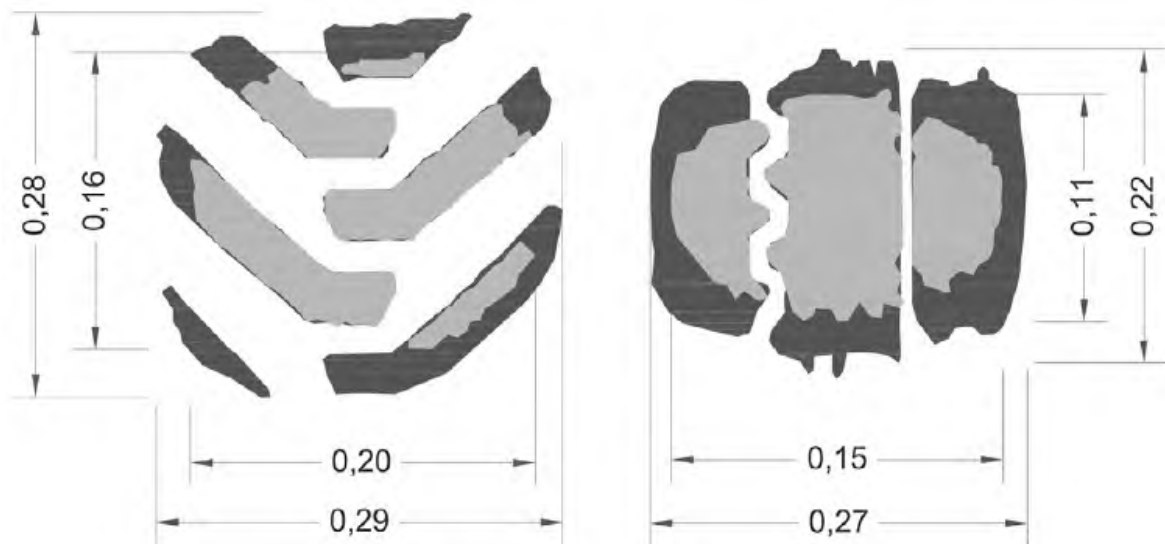


Рис. 4. Порівняння площі контакту шини 400//60-15,5 з різним протектором при різному статичному навантаженні (сірий колір відповідає осьовому навантаженню в 16 кН, чорний – 29 кН).

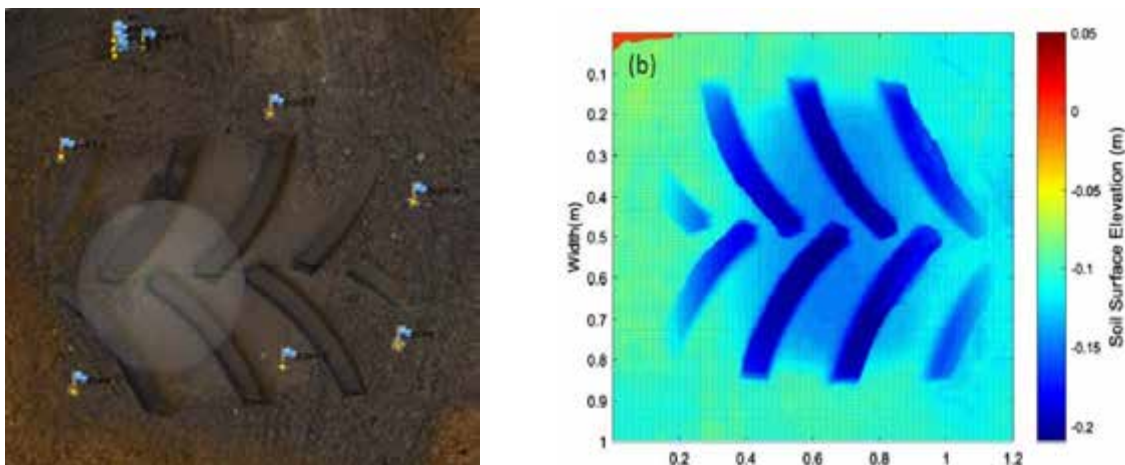


Рис. 5. Результати досліджень відбитка при взаємодії колеса з ґрунтом.

Наведені результати (рис. 3 – рис. 5) дозволяють зробити висновок, що пляма контакту сучасної агротехнологічної шини має чітко виражену прямокутну форму і зберігає її незалежно від того чи ґрунтозачепа повністю або частково заглиблені в ґрунт. Враховуючи, що форма плями контакту шини колеса з опорною поверхнею приймає майже правильну прямокутну форму, то для моделювання

взаємодії агротехнологічної шини із опорною поверхнею математична модель (12) набуде наступний вигляд.

$$F_K = 4 \left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right) \times \\ \times \sqrt{\left(D - \left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right) \right) \left(B - \left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right) \right)} \quad (13)$$

Враховуючи контактну взаємодію колеса з опорною поверхнею, у випадку коли ґрунтозачеми повністю вдавнені в ґрунт величину тиску на елементарну частинку поверхню колеса або деформівної поверхні можна визначити наступним чином:

$$q_K = \frac{Q}{F_K} = \frac{f^2}{4 \sqrt{(D-f)(B-f)} \left(C_1 + C_2 + \frac{f}{p+p_0} \right)} = \\ = \frac{\left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right)^2}{4 \sqrt{\left(D - \left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right) \right) \left(B - \left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right) \right)} \left(C_1 + C_2 + \frac{\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q}}{p+p_0} \right) \quad (14)$$

У випадку коли ґрунтозачеми вдавнені в ґрунт не на повну глибину, величину тиску в зоні контакту, шини з деформівною поверхнею можна визначити помноживши площу плями контакту на співвідношення площі ґрунтозачепів до загальної площі опорної поверхні шини.

$$q_K = \frac{\left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right)^2}{4 k_{гр} \sqrt{\left(D - \left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right) \right) \left(B - \left(\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q} \right) \right)} \left(C_1 + C_2 + \frac{\frac{C_1 Q}{2(p+p_0)} + \sqrt{\left(\frac{C_2 Q}{2(p+p_0)} \right) + C_1 Q}}{p+p_0} \right) \quad (15)$$

де: $k_{гр}$ – коефіцієнт, що відображає співвідношення площі ґрунтозачепів до загальної площі контактної поверхні шини колеса, від. од.

Таким чином, удосконалені математичні моделі поєднують конструктивні та технологічні параметри шини, її фізико-механічні властивості і вагові параметри енергозасобу приведені у вигляді осьового навантаження. Отримані рівняння дозволяють визначити площу контакту колеса з опорною поверхнею та визначити величину розподіленого навантаження на ґрунт в залежності від умов роботи ґрунтозачепів колеса. Проте отримані результати вимагають подальшого уточнення відповідних коефіцієнтів пов'язаних із фізико-механічними та конструкційними параметрами шини, а також уточнення методик їх визначення для сучасних агротехнологічних шин високої несучої здатності.

Висновки

1. Виконане удосконалення існуючих моделей взаємодії шини колеса із опорною поверхнею для сучасних агротехнологічних шин великої несучої здатності до осьового навантаження.

2. Отримані математичні моделі дозволяють встановити взаємозв'язок фізико-механічні та конструктивні параметри пневматичної шини з осьовим навантаженням та характеристиками плями контакту шини з деформівною поверхнею.

Список літератури

1. *Makharoblidze R. M., Lagvilava I. M., Basilashvili B. B., Khazhomia R. M.* Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis, In *Annals of Agrarian Science*, Volume 15, Issue 3, 2017, Pages 339–343, ISSN 1512-1887.
2. *Bogusław Usowicz, Jerzy Lipiec.* Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil, In *Soil and Tillage Research*, Volume 174, 2017, Pages 241–250, ISSN 0167-1987.
3. Голуб Г. А., Кухарець С. М. Двоємнісна модель гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212, ч. 2. С. 302–307.
4. Бидерман В. Л., Гуслицер Р. С., Захаров С. П. Автомобильные шины. Москва. Госхимиздат. 1963. 384 с.
5. Ксенович И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. Москва. Агропромиздат. 1985. 304 с.
6. Гуськов В. В., Велев Н. Н., Атаманов Ю. Е. Тракторы: теория. Москва. Машиностроение. 1988. 377 с.
7. Водяник И. И. Воздействие ходовых систем на почву (научные основы). Москва. Агропромиздат. 1990. 172 с.
8. Белковский В. Н., Лаптев В. Н., Матвеев А. А. Шины для сельскохозяйственной техники. Москва. Химия, 1986. 112 с.
9. *Michelin Agriculture and Compact Line Data Book.* 2013. www.michelinag.com.
10. Ребров А. Ю. Идентификация сельскохозяйственных тракторных шин. Вісник НТУ «ХПІ». Харків. НТУ «ХПІ». 2015. № 8. С. 19–25.
11. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия.
12. Ксенович И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. Москва. Агропромиздат. 1985. 304 с.
13. *Barbosa L. A. P., Magalhães P. S. G.* Tyre tread pattern design trigger on the stress distribution over rigid surfaces and soil compaction. *Journal of Terramechanics*. 58. 2015. P. 27–38.
14. *Kenarsari A. E., Vitton S. J., Beard J. E.* Creating 3D models of tractor tire footprints using close-range digital photogrammetry. *Journal of Terramechanics*. 74. 2017. 1–11.

References

1. *Makharoblidze, R. M., Lagvilava, I. M., Basilashvili, B. B., Khazhomia, R. M.* (2017). Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis, In *Annals of Agrarian Science*, Volume 15, Issue 3, 339–343, ISSN 1512-1887.

2. *Bogusław Usowicz, Jerzy Lipiec.* (2017). Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil, In *Soil and Tillage Research*, Volume 174, 241–250, ISSN 0167-1987.
3. *Golub, G. A. Kuharets, S. M.* (2015). Model of the humus state of the soil environment in agroecosystems. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK.* Kiev. Vol. 212, part 2. 302–307.
4. *Biderman, V. L., Gosliner, G. S., Zakharov, S. P.* (1963). *Road tires.* Moscow. Goskhimizdat. 384.
5. *Ksenevich, S. P. Skotnikov, V. A., Lyasko, M. S.* (1985). *Suspension system – soil – crop.* Moscow. Agropromizdat. 304.
6. *Guskov, V. V., Velez, N. N., Leader, Y. E.* (1988). *Tractors: theory.* Moscow. Engineering. 377.
7. *Vodyanyk, I. I.* (1990). *Impact of running systems on soil (scientific basis).* Moscow. Agropromizdat. 172.
8. *Belkovsky, V. N., Laptev, V. N., Matveev, A. A.* (1986). *Tires for farm equipment.* Moscow. Chemistry, 112.
9. *Michelin Agriculture and Compact Line Data Book.* (2013). www.michelinag.com.
10. *Rebrov, A. Y.* (2015). Identification of agricultural tractor tires. *Herald of NTU "KHPI".* Kharkov. NTU "KHPI". No 8. 19–25.
11. *GOST 7463* (2003). *Pneumatic tires for tractors and agricultural machines. Specifications.*
12. *Ksenevich, S. P. Skotnikov, V. A., Lyasko, M. S.* (1985). *Suspension system – soil – crop.* Moscow. Agropromizdat. 304.
13. *Barbosa, L. A. P., Magalhães, P. S. G.* (2015). Tyre tread pattern design trigger on the stress distribution over rigid surfaces and soil compaction. *Journal of Terramechanics.* 58. 27–38.
14. *Kenarsari, A. E., Vitton, S. J., Beard, J. E.* (2017). Creating 3D models of tractor tire footprints using close-range digital photogrammetry. *Journal of Terramechanics.* 74. 1–11.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ СОВРЕМЕННОЙ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ШИНЫ

С. Н. Кухарец, В. В. Чуба, В. Н. Зубко

Аннотация. Во время работы машинно-тракторных агрегатов происходит контактное взаимодействие колеса с грунтом. При взаимодействии наблюдается деформирования и уплотнения почвы, что отрицательно влияет на изменение его структуры. Для уменьшения негативного воздействия на почву необходимо определять оптимальные конструкционные параметры колесных движителей машинно-тракторных агрегатов.

В статье рассмотрено взаимодействие с почвой колесного движителя и существующие модели взаимодействия колеса с опорной поверхностью в зависимости от параметров современной агротехнологической шины. Выполнен анализ существующих моделей взаимодействия колеса с опорной поверхностью, с целью

определения зависимости площади контакта колеса от его геометрических и конструктивных параметров, таких как геометрический прогиб, радиус, диаметр а также давления в шине. Выполнен экспериментальный анализ пятен контакта современной агротехнологической шины. На основе анализа отпечатков современной агротехнологической шины и существующих моделей взаимодействия колеса с опорной поверхностью, выполнено совершенствования математической модели взаимодействия колеса с грунтом. Усовершенствованная математическая модель позволяет определять площадь пятна контакта в зависимости от свойств агротехнологической шины, давления в ней и позволяет определить распределенная нагрузка на элементарную часть опорной поверхности.

Полученные результаты позволяют выполнять математическое моделирование распределения нормальных напряжений в почве в зависимости от массовых показателей машинно-тракторного агрегата, конструкционных и технологических свойств шины, применяется. Применение полученной математической модели в сочетании с моделью смятием и разрушения плодородного слоя почвы, позволит выполнять выбор типа шин и необходимого рабочего давления для минимизации нанесения вредного воздействия на почву.

Ключевые слова: колесные движители, машинно-тракторный агрегат, нормальные напряжения, пятно контакта, опорная поверхность, давление шины

IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF DEFORMATION AND DISTRIBUTION OF THE AXIAL LOAD OF MODERN AGROTECHNOLOGICAL TIRE

S. M. Kukharets, V. V. Chuba, V. M. Zubko

Abstract. During the operation of machine-tractor units, the contact between the wheel and the ground occurs. When interaction is observed deformation and compaction of soil, which negatively affects the change in its structure. In order to reduce the negative impact on the soil, it is necessary to determine the optimal structural parameters of the wheel propulsion of machine-tractor aggregates.

The article deals with the interaction with the wheel of the wheel propulsion and the existing models of interaction of the wheel with the bearing surface, depending on the parameters of the modern agrotechnological bus. An analysis of the existing models of the interaction of the wheel with the support surface was performed to determine the dependence of the contact area of the wheel on its geometric and structural parameters, such as geometric deflection, radius, diameter and

pressure in the tire. The experimental analysis of the contact points of the modern agrotechnological tire was performed. On the basis of analysis of the prints of the modern agrotechnological tire and existing models of interaction of the wheel with the bearing surface, perfection of the mathematical model of interaction of the wheel with the soil was performed. An improved mathematical model allows determining the area of the contact spot depending on the properties of the agrotechnological bus, the pressure in it, and allows you to determine the distributed load on the elemental part of the bearing surface.

The obtained results allow to carry out mathematical modeling of the distribution of normal stresses in the soil, depending on the mass indices of the machine-tractor unit, the structural and technological properties of the tire, is used. Application of the obtained mathematical model in combination with the model of crush and destruction of the fertile soil layer will allow us to select the type of tires and the required working pressure to minimize the harmful effects on the soil.

Key words: *wheel propulsion, machine-tractor unit, normal voltages, contact spot, bearing surface, tire pressure*

УДК 631.3–192:662.63

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Д. П. Журавель, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-9611-2781**

**Таврійський державний агротехнологічний університет
e-mail: dmitriy04111969@gmail.com**

Анотація. У статті розглянуто методологію підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопально-мастильних матеріалів. Розглядаючи функціональні системи сучасних тракторів та сільськогосподарських машин, як складні технічні системи, які схильні до різних видів відмов, нами були запропоновані моделі надійності, які дозволяють по статистичним характеристикам напрацювання на відмову їх елементів отримувати нормовані в технічних умовах фактичні показники ресурсів. Сільськогосподар-

© Д. П. Журавель, 2018

ська техніка складається із комплексу складних функціональних систем, які поділяються на нерезервовані, резервовані, відновлювальні і не відновлювальні. На конкретному прикладі функціональних систем тракторів, при роботі на біопально-мастильних матеріалах нами був реалізований один з основоположних принципів підвищення довговічності технічних систем, сутність якого полягає у визначенні та усуненні «слабкої ланки».

При обробці експериментальних даних використовували методи математичної статистики, зокрема статистики випадкових процесів.

Для побудови математичного опису процесу зміни параметрів керувалися теорією випадкових функцій та теорією ймовірностей, враховуючи принципи функціональних взаємодій для системного підходу та використовуючи теорії надійності.

Методи теорії моделювання складних функціональних систем є базою для формування імітаційної моделі процесу технічної експлуатації машин. В процесі експлуатації сільськогосподарської техніки із-за зношування її деталей і порушення герметичності змінюються параметри, які характеризують працездатність вузлів і агрегатів в цілому.

Ключові слова: *сільськогосподарська техніка, надійність функціональних систем, моделювання, коефіцієнт готовності, параметри розподілу, ймовірність безвідмовної роботи, середній ресурс*

Постановка проблеми. Ефективність сільськогосподарського виробництва значною мірою залежить від працездатності сільськогосподарської техніки в різних умовах експлуатації. Сучасна сільськогосподарська техніка (СГТ) складається зі складних функціональних систем, працездатність яких залежить від їх надійності [1, 2, 4–8].

Нині в Україні щорічно використовується більше 50 млн. тонн моторних паливних, вироблених з нафти, із них 5,5 млн. тонн припадає на дизельне паливо (ДП), з яких 1,9 млн. тонн застосовується в АПК.

Підвищення цін на пально-мастильні матеріали (ПММ) викликане, головним чином, зменшенням нафти у надрах Землі і залежністю держави у нафтопродуктах за рахунок імпорту на 85...90%. Крім того, застосування мінеральних ПММ призводить до значної кількості шкідливих викидів, що забруднюють навколишнє середовище. Ці факти спонукають до впровадження альтернативних видів ПММ рослинного походження. В більшості своїй вони значно відрізняються від нафтових своїми фізико-хімічними властивостями, які впливають як на організацію робочого процесу, так і на екологічні

та техніко-економічні показники сільськогосподарської техніки, призводячи до збільшення відмов вузлів і агрегатів функціональних систем. Підвищення надійності використання СГТ при застосуванні альтернативних видів ПММ рослинного походження є важливою народногосподарською проблемою [1–6].

Аналіз останніх досліджень. Одним із проблемних питань, пов'язаних з використанням біопально-мастильних матеріалів (БПММ) є забезпечення надійності як функціональних систем СГТ так і експлуатаційних показників машино-тракторних агрегатів (МТА). Триботехнічний і хімотологічний аналіз процесів, які виникають в трибоспряженнях вузлів і агрегатів пояснює причину прискореного зношування поверхонь конструкційних матеріалів при використанні БПММ. Наявність вільних жирних кислот в сирій рослинній оліві (РО) і присутність метанолу в біодизелі призводить до виділення водню і його поступовий перехід в поверхневий шар металу, що призводить до водневого зношування. Підвищена густина і кінематична в'язкість РО в порівнянні з мінеральним дизельним паливом (ДП) сприяє збільшенню далекобійності і діаметру розпиленого пального, що призводить до підвищеного попадання на стінки камери згоряння і гільзи циліндрів. Застосування чистої РО в якості дизельного пального неприпустимо в зв'язку з погіршенням як енергетичних і економічних показників, так і надійності дизелю в цілому. Підвищення кислотності пального призводить до збільшення корозійного зносу плунжерних пар паливного насосу високого тиску (ПНВТ), руйнуванню гумотехнічних виробів і збільшенню відкладень. Продукти згоряння пального, які включають сірчастий і сірчаний ангідриди, проникають через нещільності циліндро-поршневої групи в картер, де утворюють з водою сірчану і сірчисту кислоти. Змішуючись з оливою, кислоти погіршують її якість, особливо антикорозійні властивості, що призводить до швидкого старіння. В результаті дії сірчистих продуктів на картерну оливу утворюються смолисті з'єднання, які в подальшому утворюють нагар. Відкладення лаку в зоні поршневих кілець призводить до їх закоксування і заклинювання. Сірчисті з'єднання призводять також до збільшення відкладень на фільтрах тонкого і грубого очищення.

Застосування їх в якості ПММ для СГТ дасть змогу підвищити довговічність вузлів і агрегатів функціональних систем при зниженні агресивності, схильності до полімеризації і задоволенні інших експлуатаційних вимог [1–6].

Мета досліджень. Підвищення довговічності сільськогосподарської техніки при застосуванні альтернативних видів ПММ рослинного походження.

Результати досліджень. Методи розрахунку показників

надійності резервованих відновлюваних систем, як правило, є складними в інженерному застосуванні. Цього можна уникнути при деяких припущеннях, виділяючи системи в класи з простими алгоритмами для обчислення показників надійності. До них відносяться: спрощення структурної схеми розрахунку надійності; незалежність елементів по відмовах і відновленню; експоненціальні закони розподілу часу безвідмовної роботи і часу відновлення елементів; певні правила обслуговування відмови елементів; стаціонарний характер показників надійності системи.

При оцінці надійності стаціонарних і нестаціонарних показників надійності відновлюваних систем найчастіше використовують методи одновимірних і багатовимірних марковських випадкових процесів. Значення показників надійності є наближеними і розраховуються наближеними методами. Коефіцієнт готовності, наробіток на відмову, середній час відновлення і середній час безвідмовної роботи обчислювали за відомими формулами[2].

Математичною моделлю функціонування системи є система звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} p'_0(t) = -\lambda_c p_0(t) - \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot p_i(t) \\ p'_i(t) = \lambda_i p_0(t) - \mu_i \cdot p_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases}, \quad (1)$$

де: λ_i – інтенсивність відмови i -го елементу, відповідні відмовам елементів системи; $\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ – інтенсивність відмови системи;

$p_0(t) = K_r(t)$ – ймовірність того, що в момент t система справна; $p_i(t)$ – ймовірність того, що в момент t система знаходиться в несправному стані внаслідок відмови i -го елементу; μ_i – інтенсивності переходів, відповідні відновленню елементів системи.

Систему лінійних диференціальних рівнянь (1) з постійними коефіцієнтами можливо вирішувати аналітично (для обмеженого числа елементів при фіксованому значенні інтенсивностей відмови і відновлення) і чисельним (наближеним, зокрема Рунге-Кутта).

Опис основних вузлів і агрегатів функціональних систем сільськогосподарської техніки наведено у вигляді графу, тобто наочного зображення взаємозв'язку елементів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ (рис. 1).

Графова модель $G\{V, P\}$ складається з двох множин – множини V об'єктів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ і множини P зв'язків – інтенсивностей їх відмов. В основу покладено один із основних принципів надійності – принцип забезпечення рівної

безвідмовності елементів шляхом виявлення і усунення «слабкої ланки». Графову модель використовували з метою комп'ютерного моделювання процесу функціонування елементів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ.

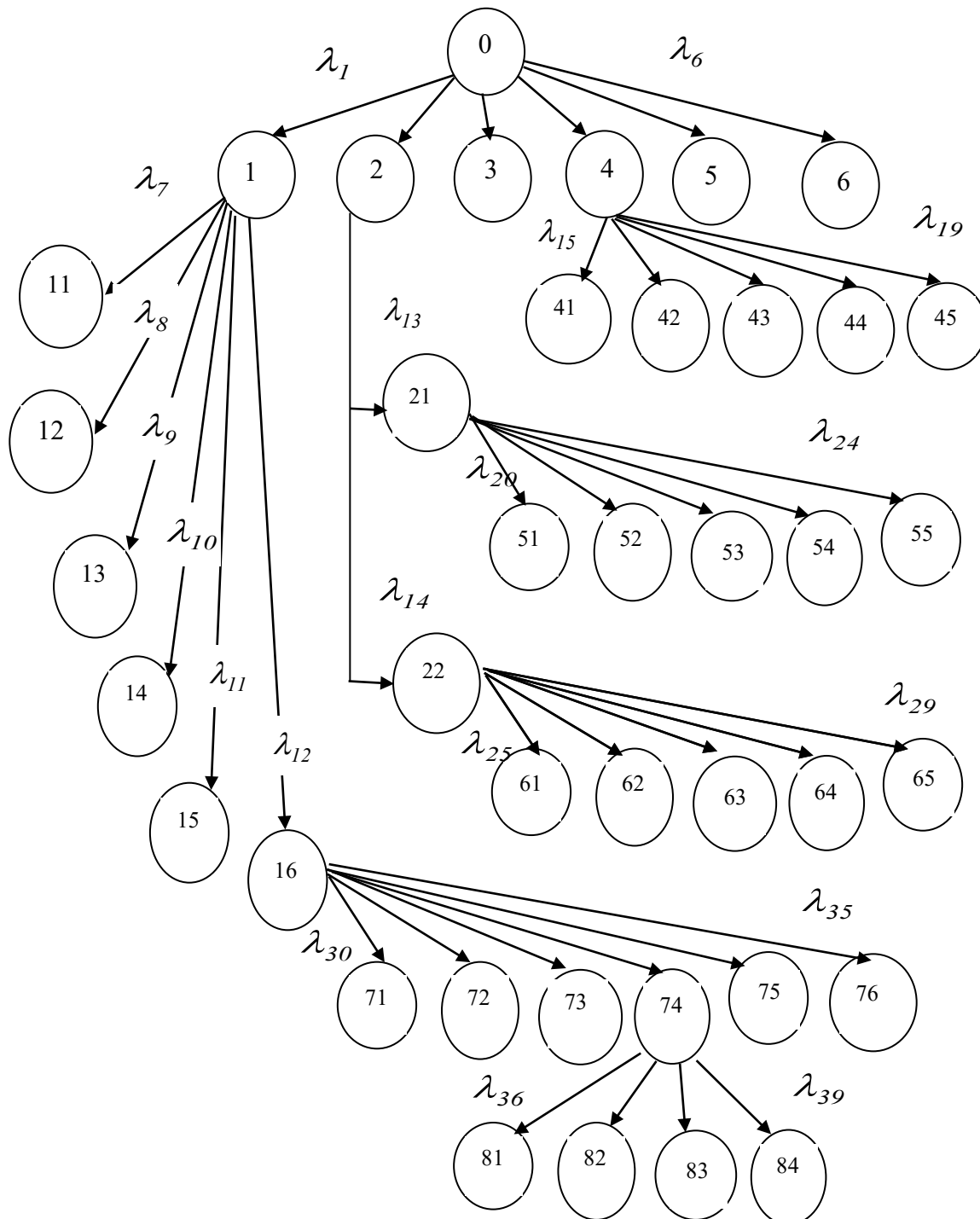


Рис. 1. Граф стану вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ.

Система лінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами описує процес функціонування систем СГТ, яка має вид:

$$\#1 = \left\{ \begin{array}{l} p'_0(t) = -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6)p_0(t) + \\ \quad + \mu_1 p_1(t) + \mu_2 p_2(t) + \mu_3 p_3(t) + \mu_4 p_4(t) + \mu_5 p_5(t) + \mu_6 p_6(t) \\ p'_1(t) = \lambda_1 p_0(t) - (\lambda_7 + \lambda_8 + \lambda_9 + \lambda_{10} + \lambda_{11} + \lambda_{12})p_1(t) + \\ \quad + \mu_7 p_{11}(t) + \mu_8 p_{12}(t) + \mu_9 p_{13}(t) + \mu_{10} p_{14}(t) + \mu_{11} p_{15}(t) + \mu_{12} p_{16}(t) \\ p'_{11}(t) = \lambda_7 p_1(t) \\ p'_{12}(t) = \lambda_8 p_1(t) \\ p'_{13}(t) = \lambda_9 p_1(t) \\ p'_{14}(t) = \lambda_{10} p_1(t) \\ p'_{15}(t) = \lambda_{11} p_1(t) \\ p'_{16}(t) = \lambda_{12} p_1(t) - (\lambda_{30} + \lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{33} + \lambda_{34} + \lambda_{35})p_{16}(t) + \\ \quad + \mu_{30} p_{71}(t) + \mu_{31} p_{72}(t) + \mu_{32} p_{73}(t) + \mu_{33} p_{74}(t) + \mu_{34} p_{75}(t) + \mu_{35} p_{76}(t) \\ p'_2(t) = \lambda_2 p_0(t) - \lambda_{13} p_2(t) - \lambda_8 p_2(t) + \mu_{14} p_{22}(t) + \mu_{13} p_{21}(t) \\ p'_3(t) = \lambda_3 p_0(t) \\ p'_4(t) = \lambda_4 p_0(t) - (\lambda_{15} + \lambda_{16} + \lambda_{17} + \lambda_{18} + \lambda_{19})p_4(t) + \\ \quad + \mu_{15} p_{41}(t) + \mu_{16} p_{42}(t) + \mu_{17} p_{43}(t) + \mu_{18} p_{44}(t) + \mu_{19} p_{45}(t) \\ p'_{21}(t) = \lambda_{13} p_2(t) - (\lambda_{20} + \lambda_{21} + \lambda_{22} + \lambda_{23} + \lambda_{24})p_{21}(t) \\ \quad + \mu_{20} p_{51}(t) + \mu_{21} p_{52}(t) + \mu_{22} p_{53}(t) + \mu_{23} p_{54}(t) + \mu_{24} p_{55}(t) \\ p'_{22}(t) = \lambda_{14} p_2(t) - (\lambda_{25} + \lambda_{26} + \lambda_{27} + \lambda_{28} + \lambda_{29})p_{22}(t) + \\ \quad + \mu_{25} p_{61}(t) + \mu_{26} p_{62}(t) + \mu_{27} p_{63}(t) + \mu_{28} p_{64}(t) + \mu_{29} p_{65}(t) \\ p'_{41}(t) = \lambda_{15} p_4(t) \\ p'_{42}(t) = \lambda_{16} p_4(t) \\ p'_{43}(t) = \lambda_{17} p_4(t) \\ p'_{44}(t) = \lambda_{18} p_4(t) \\ p'_{45}(t) = \lambda_{19} p_4(t) \end{array} \right.$$

де $\lambda_{i,j}$ – інтенсивність переходу із стану i в стан j , $\mu_{i,j}$ – інтенсивність відновлення переходу із стану i в стан j .

Взаємозв'язок елементів вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ наведений наступним чином: 0 – мобільна техніка; 1 – дизельний двигун; 2 – трансмісія; 3 – ходова частина; 4 – гідрообладнання; 5 – електрообладнання; 6 – механізм управління; 11 – кривошипно-шатунний механізм; 12 – система змащення; 13 – електрообладнання; 14 – система запуску; 15 – газорозподільний механізм; 16 – паливна апаратура; 41 – насос;

42 – гідролінії; 43 – гідроциліндр; 44 – розподільник; 45 – ущільнення гідравлічної системи; 21 – механічна трансмісія; 51 – вали шліцеві; 52 – шестерні; 53 – підшипники; 54 – синхронізатори; 55 – ущільнення трансмісійної системи; 22 – гідростатична трансмісія; 61 – насос підпитки; 62 – качаючий вузол насоса; 63 – качаючий вузол гідромотора; 64 – клапанна коробка; 65 – система управління; 71 – паливний бак; 72 – підкачуючий насос; 73 – паливний фільтр грубого очищення; 74 – паливний насос високого тиску; 75 – форсунка; 76 – трубопроводи; 81 – плунжерна пара; 82 – клапан; 83 – паливний фільтр тонкого очищення; 84 – ущільнення паливної системи.

Для $t = 0$ всі елементи системи вважаються справними при початкових умовах: $p_0(0) = 1, p_i(0) = 0, i = 1, 2, \dots, k$ знаходиться частний розрахунок рівняння.

Система розраховується чисельним методом Рунге-Кутта.

Вирішення системи рівнянь є матриця ймовірностей безвідмовної роботи функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних і біологічних ПММ.

Статистичний аналіз наробітку функціональних систем СГТ, що поступають в ремонт, дозволив встановити середні значення наробітку до відмови та їх 80% ресурс, що відповідає нормованим середнім ресурсам.

Середні ресурси функціональних систем СГТ при роботі на різних видах ПММ наведені на рис. 2.

Нами встановлено, що зниження ресурсу функціональних систем СГТ при роботі на біологічних ПММ пояснюється активною дією вільних жирних кислот і метанолів біологічних ПММ на матеріали усіх елементів її функціональних систем, що призводить до руйнування поверхонь трибоспряжень і збільшення зносу деталей вузлів і агрегатів.

Ймовірності безвідмовної роботи функціональних систем СГТ на мінеральних та біологічних ПММ наведені на рис. 3. Як видно з рис. 3 і 4, найменш надійними функціональними системами сільськогосподарської техніки є електро- і гідрообладнання.

Коефіцієнт готовності функціональних систем СГТ дорівнює сумі ймовірностей всіх справних її станів:

$$K_r(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t). \quad (2)$$

де $K_r(t)$ – коефіцієнт готовності.

$$\#2 = \left\{ \begin{array}{l} p'_{51}(t) = \lambda_{20} p_{21}(t) \\ p'_{52}(t) = \lambda_{21} p_{21}(t) \\ p'_{53}(t) = \lambda_{22} p_{21}(t) \\ p'_{54}(t) = \lambda_{23} p_{21}(t) \\ p'_{55}(t) = \lambda_{24} p_{21}(t) \\ p'_5(t) = \lambda_5 p_0(t) \\ p'_6(t) = \lambda_6 p_0(t) \\ p'_{61}(t) = \lambda_{25} p_{22}(t) \\ p'_{62}(t) = \lambda_{26} p_{22}(t) \\ p'_{63}(t) = \lambda_{27} p_{22}(t) \\ p'_{64}(t) = \lambda_{28} p_{22}(t) \\ p'_{65}(t) = \lambda_{29} p_{22}(t) \\ p'_{71}(t) = \lambda_{30} p_{16}(t) \\ p'_{72}(t) = \lambda_{31} p_{16}(t) \\ p'_{73}(t) = \lambda_{32} p_{16}(t) \\ p'_{74}(t) = \lambda_{33} p_{16}(t) - (\lambda_{36} + \lambda_{37} + \lambda_{38} + \lambda_{39}) p_{74}(t) + \\ \quad + \mu_{36} p_{81}(t) + \mu_{37} p_{82}(t) + \mu_{38} p_{83}(t) + \mu_{39} p_{84}(t) \\ p'_{75}(t) = \lambda_{34} p_{16}(t) \\ p'_{76}(t) = \lambda_{35} p_{16}(t) \\ p'_{81}(t) = \lambda_{36} p_{74}(t) \\ p'_{82}(t) = \lambda_{37} p_{74}(t) \\ p'_{83}(t) = \lambda_{38} p_{74}(t) \\ p'_{84}(t) = \lambda_{39} p_{74}(t) \\ \sum_{i=1, \dots, k} p_i(t) = 1 \end{array} \right.$$

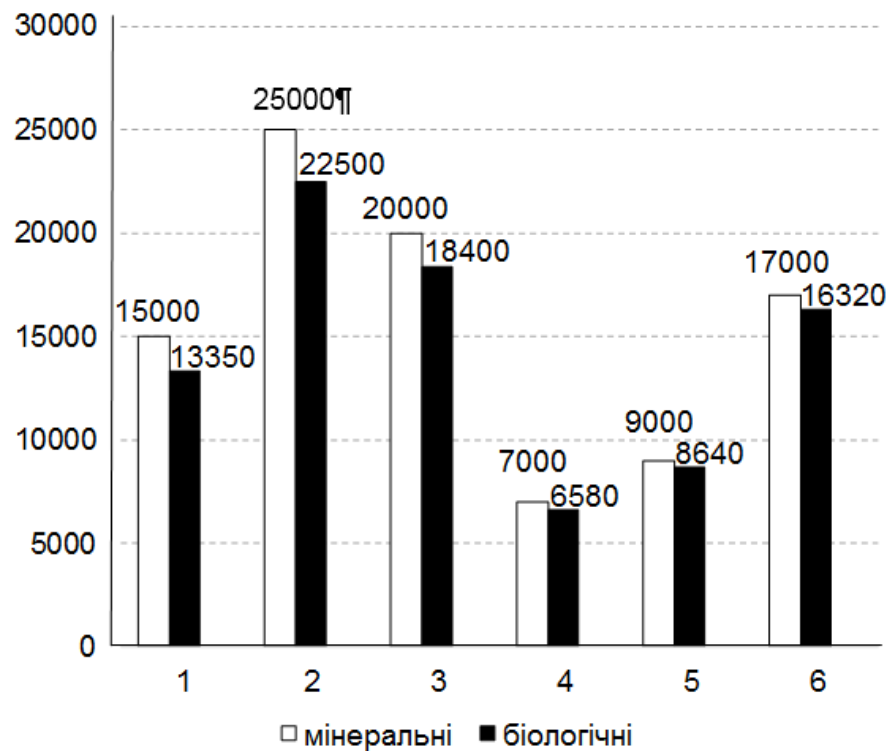


Рис. 2. Середні ресурси функціональних систем СГТ при роботі на різних видах ПММ, мото-год: 1 – дизельний двигун, 2 – трансмісія, 3 – ходова частина, 4 – гідрообладнання, 5 – електрообладнання, 6 – механізм управління.

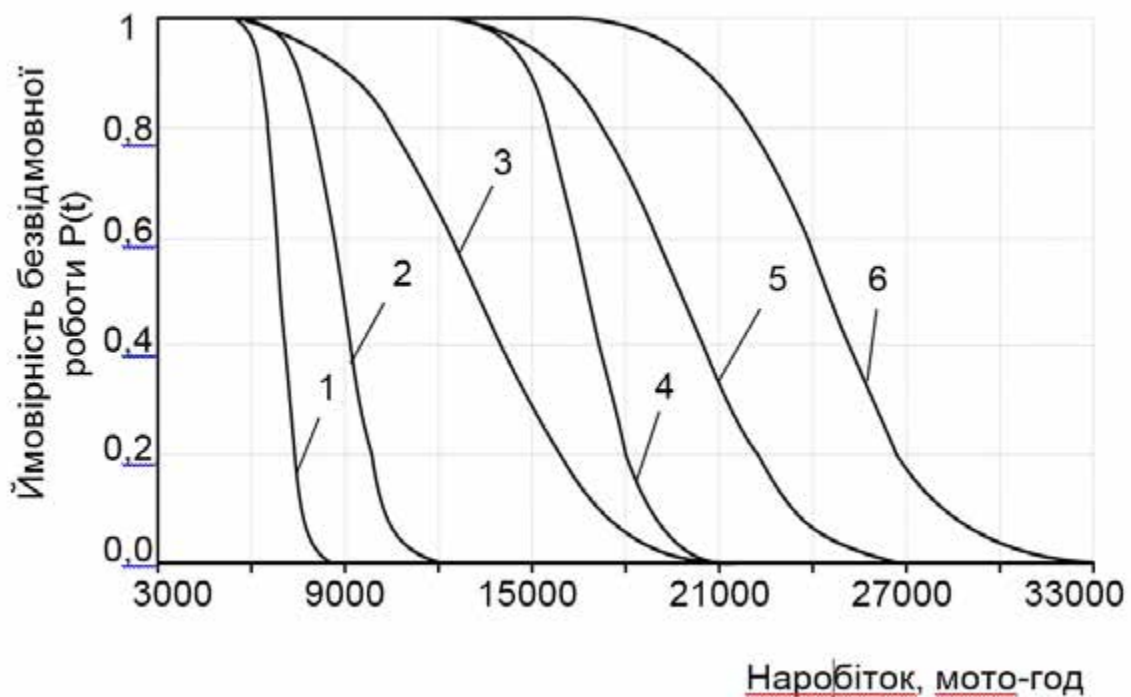


Рис. 3. Ймовірності безвідмовної роботи функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних ПММ: 1 – гідрообладнання; 2 – електрообладнання; 3 – дизельний двигун; 4 – механізм управління; 5 – ходова частина; 6 – трансмісія.

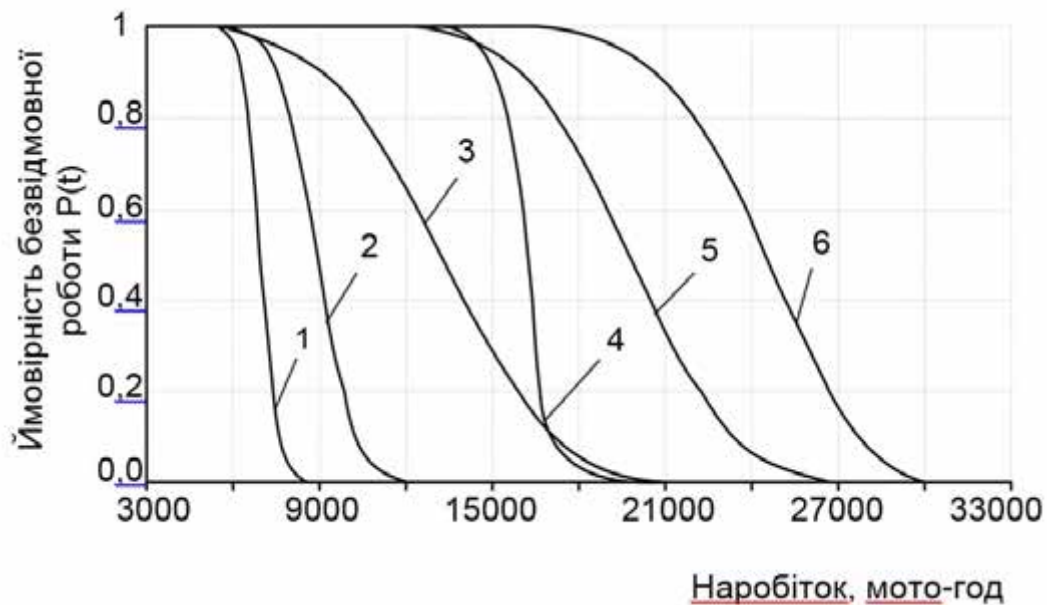


Рис. 4. Ймовірності безвідмовної роботи функціональних систем СГТ на біологічних ПММ: 1 – гідрообладнання; 2 – електрообладнання; 3 – дизельний двигун; 4 – механізм управління; 5 – ходова частина; 6 – трансмісія.

Коефіцієнти готовності функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних і біологічних ПММ наведені на рис. 5.

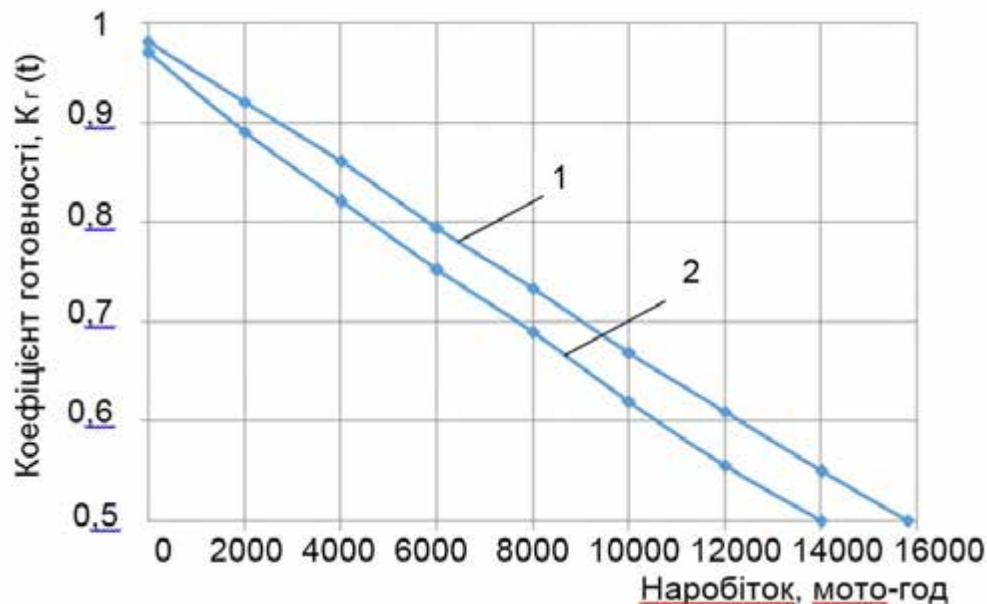


Рис. 5. Коефіцієнти готовності функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних і біологічних ПММ: 1 – мінеральні ПММ; 2 – біологічні ПММ.

Таким чином встановлено, що коефіцієнт готовності функціональних систем СГТ при роботі на мінеральних ПММ вище

чим при роботі на біологічних ПММ. При досягненні числового значення $K_r(t)=0,5$, при якому подальша експлуатація СГТ не доцільна, наробіток її становить: на БПММ – 14000 мото-год., а на мінеральних 16000 мото-год. Для збільшення $K_r(t)$, необхідно підвищити надійність спржень вузлів і агрегатів СГТ шляхом виявлення і усунення «слабкої ланки».

Висновки

1. На підставі графів стану вузлів і агрегатів функціональних систем СГТ отримані математичні моделі надійності, які дозволили виявити їх "слабкі ланки" при роботі на БПММ. А саме, для: дизельного двигуна – паливна система; гідравлічної системи – гідронасос; гідростатичної трансмісії – насос підпитки; механічної трансмісії – ущільнення. Встановлено, що показники надійності функціональних систем СГТ при роботі на БПММ нижчі на 1202 мото-години; дизельного двигуна – на 1650 мото-годин; паливної системи – на 4325 мото-годин; гідросистеми – на 950 мото-годин; трансмісійних систем: гідростатичної – на 290 мото-годин, механічної – на 600 мото-годин.

2. Встановлено, що зниження ресурсу елементів і систем СГТ при роботі на біологічних ПММ пояснюється активним впливом метанолу біодизельного пального і вільних жирних кислот біооливи на матеріали основних елементів дизельного двигуна, системи змащення, гідростатичних і механічних трансмісій, гідросистем. Це призводить до руйнування поверхонь і збільшенню зносів деталей трибоспрень.

Список літератури

1. Дидур В. А., Журавель Д. П. Надежность мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биологических топливо-смазочных материалов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 69–78.
2. Журавель Д. П. Методологія оцінки надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів. Суми. 2016. Вип. 10/3(31). С. 66–71.
3. Журавель Д. П. Вплив забрудненості абразивом біопаливо-мастильних матеріалів на енергоємність поверхневих шарів металів вузлів і агрегатів мобільної техніки. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Херсон. 2017. Вип. 5. С. 56–65.
4. Журавель Д. П. Методология обеспечения надежности мобильной техники при использовании биологических ТСМ. Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України: матеріал VI Міжнародної науково-технічної конференції. Мелітополь. 2015. С. 8–10.
5. Журавель Д. П. Забезпечення надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів. Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доповідей XVII Міжнародної наукової конференції. Суми. 2016. С. 163–164.

6. Журавель Д. П. Підвищення ефективності експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки при використанні біопаливо-мастильних матеріалів. Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2017: збірник тез доповідей XIII Міжнародної наукової конференції. Київ. 2017. С. 155–156.
7. Бойко А. І. Напрями забезпечення надійності складної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Харків. 2009. Вип. 80. С. 13–16.
8. Роговский Иван. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Tom 16. №3. P. 296–302.

References

1. Didur, V. A., Zhuravel, D. P. (2016). Reliability of mobile farm machinery while using biological fuel and lubricants. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 251. 69–78.
2. Zhuravel, D. P. (2016). Methodology of assessing the reliability of mobile agricultural machinery for use on various types of fuel and lubricants. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes. Vol. 10/3(31). 66–71.
3. Zhuravel, D. P. (2017). Influence of contamination with an abrasive biofuels and lubricants in the energy intensity of surface layers of metals of units and aggregates of mobile equipment. Bulletin of Ukrainian branch of International Academy of agrarian education. Kherson. Vol. 5. 56–65.
4. Zhuravel, D. P. (2015). Methodology to ensure the reliability of mobile equipment in the use of biological SCI. Of power supply of technological processes in the agro-industrial complex of Ukraine: the material Minamo VI scientific-technical conference. Melitopol. 8–10.
5. Zhuravel, D. P. (2016). Reliability of mobile agricultural machinery for use on various types of fuel and lubricants. Modern problems of agricultural mechanics: book of abstracts of XVII International scientific conference. 163–164.
6. Zhuravel, D. P. (2017). Improving the efficiency of the operation of mobile agricultural equipment in the use of biofuels and lubricants. Rational use of energy in technology. TechEnergy 2017: book of abstracts of the XIII International scientific conference. Kiev. 155–156.
7. Boyko, A. I. (2009). Ways of providing of reliability of complex agricultural machinery. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture. Kharkov. Vol. 80. 13–16.
8. Rogovskii Ivan. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Tom 16. № 3. 296–302.

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОТОПЛИВНО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. П. Журавель

Аннотация. В статье рассмотрена методология повышения долговечности функциональных систем сельскохозяйственной техники при использовании биотопливо-смазывающих

материалов. Рассматривая функциональные системы современных тракторов и сельскохозяйственных машин, как сложные технические системы, которые склонны к разным видам отказов, нами были предложены модели надежности, которые позволяют по статистическим характеристикам наработки на отказ их элементов получать нормируемые в технических условиях фактические показатели ресурсов. Сельскохозяйственная техника состоит из комплекса сложных функциональных систем, которые подразделяются на нерезервированные, резервированные, восстанавливаемые и невосстанавливаемые. На конкретном примере функциональных систем тракторов, при работе на биотопливо-смазывающих материалах нами был реализован один из основополагающих принципов повышения долговечности технических систем, сущность которого заключается в определении и устранении "слабого звена". При обработке экспериментальных данных использовали методы математической статистики, в частности статистики случайных процессов. Для построения математического описания процесса изменения параметров руководствовались теорией случайных функций и теорией вероятностей, учитывая принципы функциональных взаимодействий для системного подхода и используя теории надежности. Методы теории моделирования сложных функциональных систем являются базой для формирования имитационной модели процесса технической эксплуатации машин. В процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники из-за изнашивания ее деталей и нарушения герметичности изменяются параметры, которые характеризуют работоспособность узлов и агрегатов в целом.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, надежность функциональных систем, моделирование, коэффициент готовности, параметры распределения, вероятность безотказной работы, средний ресурс

IMPROVING DURABILITY OF FUNCTIONAL SYSTEMS OF AGRICULTURAL MACHINERY WHEN USING BIOFUEL AND LUBRICANTS

D. P. Zhuravel

Abstract. In the article methodology of expansion of longevity of functional systems of agricultural equipment is described with the use of biological materials. Examining the functional systems of modern tractors and agricultural machines, as complex technical systems that are apt to the different types of failures, we offered models of reliability, that allow in statistical data of work on the failure of their elements to get the actual

indexes of rationed resources for technical requirements. An agricultural mechanism consists of the set of difficult functional systems, that is subdivided into unresisted, reserved, refurbishable and unrefurbishable. On the certain example of the functional tractor's system, working on biological materials we realized one of basic principles of increasing longevity of the technical systems, essence of which lies in determination and removal of "weak link". In processing of experimental data the methods of mathematical statistics, in particular statisticians of casual processes, was used. For the construction of mathematical description of process of change of parameters followed the theory of casual functions and theory of chances, taking into account principles of functional cooperations for approach of the systems and using the theories of reliability. Methods of theory of design of the difficult functional systems are a base for forming of simulation model of process of technical exploitation of machines. In the process of exploitation of agricultural technical parameters that characterize the capacity of knots and aggregates on the whole change from the wear of details and violation of impermeability.

Key words: *agricultural equipment, reliability of functional systems, design, coefficient of readiness, parameters of distribution, probability of faultless work, middle resource*

УДК 631.362.36

ВПЛИВ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТРАНСПОРТЕРА-СЕПАРАТОРА НА ЧІТКІСТЬ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА

**С. М. Мороз, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-5101-8460**

**О. М. Васильковський, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-9590-742**

**Ю. В. Мачок, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-5328-7859**

О. В. Анісімов, ORCID 0000-0001-5997-2902

**Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: serhii_moroz@ukr.net**

Анотація. *Робота присвячена дослідженню впливу конструктивних та кінематичних параметрів транспортера-сепаратора зерноочисної машини загального призначення на технологічну ефективність розділення зерна.*

© С. М. Мороз, О. М. Васильковський, Ю. В. Мачок, О. В. Анісімов, 2018

Метою досліджень є встановлення впливу конструктивних параметрів та режиму роботи транспортера–сепаратора зерноочисної машини загального призначення, яка була розроблена на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету на якісні показники очищення зерна.

Після проведення ранжування, було встановлено найважливіші фактори, що здійснюють вплив на процес очищення зерна на решеті транспортера-сепаратора: діаметр поперечних перетинків решета, кут нахилу решітної поверхні до горизонту, швидкість руху робочої гілки та подача зернового матеріалу.

Для встановлення ступеня впливу найбільш значущих факторів на чіткість сепарації було розроблено експериментальну установку і складено методику лабораторних дослідів. В ході проведення досліджень реалізовано матрицю повного факторного експерименту типу 2^4 . Основний рівень та інтервали варіювання факторів обрані на основі аналізу результатів теоретичних досліджень та попередніх даних експериментальних досліджень.

Одержані закономірності зміни чіткості сепарації зерна від діаметра поперечних перетинків решета, кута нахилу решітної поверхні до горизонту, швидкості руху робочої гілки та подачі зернового матеріалу наведені у вигляді тримірних поверхонь.

Отримані результати дозволили встановити раціональні параметри транспортера-сепаратора для забезпечення потрібної чіткості сепарації зерна.

Ключові слова: зерноочисна машина, транспортер-сепаратор, чіткість сепарації, якість, очищення зерна, рівняння регресії, критерії оцінювання результатів експериментів, поверхня відгуку

Постановка проблеми. Ринок сільськогосподарської техніки постійно розвивається й оновлюється новими моделями машин. Переважна частина вітчизняних виробників досить часто копіює кращі зразки машин відомих світових брендів. Незначна кількість українських машинобудівників проводить розробку власних конструкцій, випробування та усунування недоліків. Ще менша частина виробників створює оригінальні конструкції машин і механізмів на основі проведення наукових досліджень. Однак, саме остання категорія виробників сільськогосподарської техніки має довготривалі перспективи створення дійсно конкурентоздатної продукції на світовому ринку.

Найбільш важливими показниками технологічної ефективності роботи зерноочисних машин є продуктивність та якість виконання

робіт, причому остання складається з кількох категорій - повноти розділення, чіткості сепарації тощо. Дослідження показників продуктивності і повноти розділення зерна завжди представляє інтерес науковців, при цьому мало приділяється уваги чіткості сепарації – важливому показнику, який характеризує втрати (винесення) повноцінного зерна у фуражні відходи. Тому встановлення закономірностей впливу основних параметрів на чіткість розділення зернових сумішей дозволить оптимізувати роботу зерноочисної техніки і забезпечити отримання максимального технологічного і економічного ефекту.

Аналіз останніх досліджень. Проблемі підвищення показників технологічної ефективності роботи зернових сепараторів присвячено праці багатьох вітчизняних вчених [1–8], на основі яких створено конструкції вискоефективних машин. Однак будь-яка з машин потребує використання додаткових робочих органів для завантаження.

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету, шляхом проведення наукових досліджень [9–14] було створено кілька конструкції зерноочисних машин загального призначення. Одним з основних робочих органів кожної конструкції є транспортер-сепаратор [15–17], який встановлюється на початку технологічного циклу роботи машини і дозволяє очищати зернову масу від крупних домішок ще на етапі завантаження. Під час теоретичних та експериментальних досліджень були встановлені залежності впливу значень його конструктивних параметрів та режимів роботи на повноту розділення зерна [18–22], однак чіткості сепарації, яка характеризує вміст повноцінного зерна у крупних домішках не було приділено достатньої уваги.

Мета досліджень. Встановлення впливу конструктивних параметрів та режиму роботи запропонованого транспортера-сепаратора на чіткість розділення зерна, що дасть підстави встановити їх раціональні значення, за умов забезпечення агротехнічних вимог щодо вмісту повноцінного зерна у відходах.

Результати досліджень. Для встановлення впливу досліджуваних факторів на чіткість сепарації та визначення напрямку руху до тієї частини поверхні відгуку, де умови протікання процесу оптимальні була реалізована матриця типу 2^4 [23–25]. Незалежні змінні, інтервали варіювання та матриця планування представлені в табл. 1.

Основний рівень та інтервали варіювання факторів обрані на основі аналізу результатів теоретичних досліджень та попередніх даних експериментальних досліджень.

1. Планування експерименту при вивченні процесу сепарації.

Досліджуваний фактор	α , град	d , мм	v , м/с	q_B , кг/(м×с)		
Основний рівень	30	3	1	11		
Інтервал варіювання	± 10	± 2	$\pm 0,5$	± 3		
Кодові позначення	x_1	x_2	x_3	x_4	Y_u	S_u^2
Дослід 1	+	+	–	+	16,10	0,012
2	+	–	+	–	3,91	0,012
3	–	+	–	–	1,03	0,0031
4	+	–	+	+	8,95	0,0052
5	–	–	–	+	4,13	0,0031
6	+	+	+	–	6,05	0,0043
7	–	–	+	+	6,08	0,011
8	+	+	+	+	20,10	0,280
9	–	–	–	–	0,15	0,0019
10	–	–	+	–	1,50	0,0013
11	–	+	+	+	11,2	0,317
12	–	+	+	–	4,90	0,210
13	+	+	–	–	4,10	0,0077
14	–	+	–	+	7,80	0,0067
15	+	–	–	+	9,10	0,280
16	+	–	–	–	1,85	0,0037

Після проведення дослідів було отримане рівняння регресії, що описує локальну ділянку поверхні відгуку, яка характеризує чіткість:

$$Y = 6,864 + 2,086x_1 + 2,226x_2 + 1,152x_3 + 3,748x_4 + 0,592x_1x_2 - 0,169x_1x_3 + 1,044x_1x_4 + 0,501x_2x_3 + 1,142x_2x_4 - 0,002x_3x_4.$$

Статистичне оцінювання отриманих результатів включало перевірку на адекватність моделі за критерієм Кохрена, яке становить $f_u=0,274$. Оскільки отримане значення менше табличного 0,332, то моделі властива відтворюваність, таким чином при плануванні можна передбачити очікувані результати експерименту.

Перевірку адекватності отриманої моделі (табл. 1) проводили за критерієм Фішера (F -критерію). Розрахункове значення F -критерію, яке становить $F=0,211$, менше табличного значення $F_T=2,561$ (обрано для $p=0,95$; $f_{ad}=11$; $f_y=32$). Таким чином, гіпотеза про адекватність лінійного рівняння підтверджується і його можна використовувати для опису процесу.

Значущість отриманих коефіцієнтів перевіряли за критерієм Стюдента (t -критерій) для забезпечення надійності оцінки – 0,95 та числа ступенів свободи $f_t=15$. Аналіз довірчого інтервалу показує, що в досліджуваному інтервалі статистично незначущі коефіцієнти регресії b_1b_2 , b_1b_3 , b_2b_3 та b_3b_4 . До статистично вагомих коефіцієнтів входять всі коефіцієнти крім коефіцієнтів b_1b_2 , b_1b_3 , b_2b_3 та b_3b_4 .

Поверхні відгуку та карти ліній рівного виходу (рис. 1 – рис. 3) дозволяють виявити сумісний вплив факторів на чіткість сепарації та й визначити напрям руху до раціональних конструкторсько-технологічних параметрів досліджуваного робочого органа.

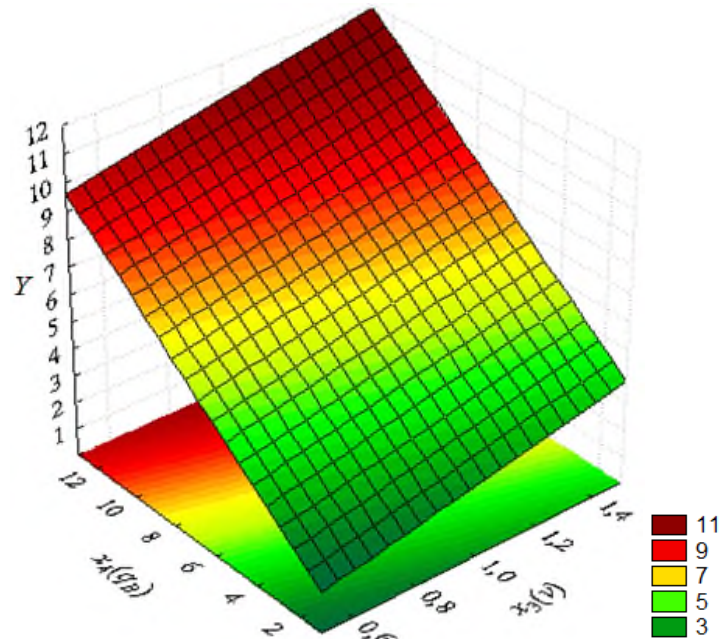


Рис. 1. Залежність чіткості сепарації від початкової швидкості руху матеріалу та подачі матеріалу.

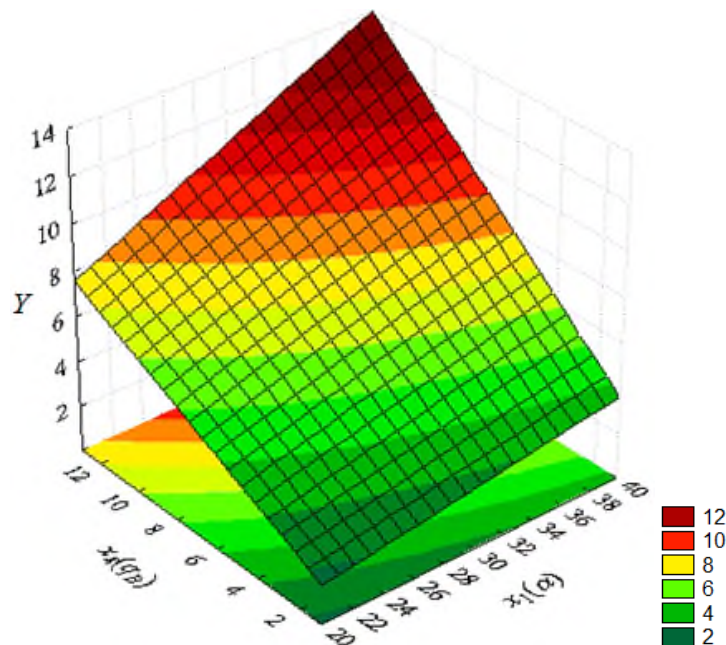


Рис. 2. Залежність чіткості сепарації від кута нахилу решета та подачі матеріалу.

Аналіз експериментальних даних дав можливість виявити характер зміни факторів та проаналізувати їх взаємний вплив на

критерій оптимізації. При збільшенні питомого зернового навантаження $x_4(q_B)$ чіткість сепарації пропорційно знижується. Виявлено, що збільшення кута нахилу решета $x_1(\alpha)$, діаметра його перетинок $x_2(d)$ та початкової швидкості руху зернового матеріалу $x_3(v)$ обумовлюють зменшення чіткості сепарації.

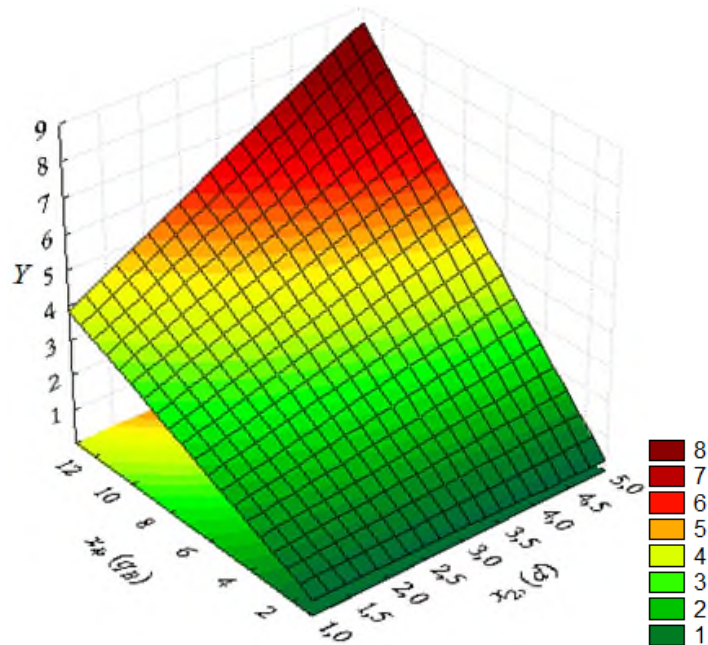


Рис. 3. Залежність чіткості сепарації від діаметра поперечної перетинки решета та подачі матеріалу.

Висновок. Встановлено, що питоме зернове навантаження $x_4(q_B)$ не повинне перевищувати 7 кг/(м×с), початкова швидкість зернового матеріалу $x_3(v)$ знаходиться на рівні 0,5–1,2 м/с, а кут нахилу решета $x_1(\alpha)$ – у межах 20–30°. При вказаних вище чинниках раціональний діаметр перетинок решета $x_2(d)$ не повинен перевищувати 1–3 мм. За таких параметрів вдається досягти чіткості сепарації на граничному рівні 2%.

Список літератури

1. Котов Б. І., Калініченко Р. А., Степаненко С. П., Швидя В. О., Лісецький В. О. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (сепарація, сушіння, активне вентилування, охолодження). Ніжин. ПП Лисенко М.М. 2017. 552 с.
2. Stepanenko S. P. Research pneumatic gravity separation grain materials. International scientific jorنال. Mechanization in agriculture, conserving of the resources. Scientific technical union of mechanical engineering industry-4.0 Bulgarian association of mechanization in agriculture. Issue 2. Bulgarian. 2017. S. 54–56.
3. Котов Б. І., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 33. Кіровоград. 2003. С. 53–59.

4. *Заїка П. М., Михайлов А. Д., Бакум М. В., Козій О. Б., Козій Д. О.* Про можливість доочищення та сортування насіння пшениці на віброфрикційному сепараторі. Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. Вип. 5. Харків. 2009. С. 181–190.
5. *Тищенко Л. Н., Пивень М. В.* Экспериментальное исследование работы модернизированного виброцентробежного решета. Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ. НАУ. 1999. Том 5. С. 231–233.
6. *Тищенко Л. М., Бредихин В. В.* Тенденции совершенствования вибропневматических центрифуг для разделения зерновых смесей. Конструювання та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 31. Кіровоград. 2001. С. 92–96.
7. *Пивень М. В.* Численное решение задачи о стационарном потоке сыпучей среды на наклонном решете. Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Харків. ХДТУСГ. 2002. Вип. 9. С. 40–48.
8. *Бредихин В. В.* Изыскание способов повышения эффективности вибропневмоцентробежного разделения зерновых смесей. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2001. Вип. 1. Том. 1. С. 45–49.
9. *Nesterenko O. V., Leshchenko S. M., Vasylykovskiy O. M., Petrenko D. I.* Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH. Agricultural Engineering. Vol. 53. N 3. 2017. P. 65–70.
10. *Васильковский М. И., Васильковский А. М., Косинов М. М., Мороз С. М.* К созданию нового поколения зерноочистительных машин общего назначения. Вісник Харківського державного технічного університету сільськогосподарського господарства. Харків. ХДТУСГ. 2003. Вип. 22. С. 28–32.
11. *Васильковский М. И., Мороз С. Н., Косинов М. М., Киселев Р. В., Булей И. А.* Совершенствование технологий и рабочих органов зерноочистительных машин. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград. КДТУ. 2000. Вип. 29. С. 36–39.
12. *Васильковский О. М., Петренко Д. І.* Аналіз закономірності руху частки по прутковому барабану відцентрово-пневматичного сепаратора зерна з врахуванням повітряного опору середовища. Вісник Харківського національного технічного університету імені Петра Василенка. Харків. 2007. Вип. 59. С. 177–186.
13. *Лещенко С. М., Васильковский О. М., Васильковский М. І., Гончаров В. В.* Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей. Збірник наукових статей. Сільськогосподарські машини. 2009. Вип. 18. С. 230–234.
14. *Мороз С. М., Васильковский О. М., Анісімов О. В.* Технічні засоби для одночасного завантаження та розділення зернового вороху за розмірами. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград. КНТУ. 2014. Вип. 27. С. 181–186.
15. *Патент 48337 А U* Україна, МПК В07В 13/07 (2006.01), А01D 41/12 (2006.01), В07В 1/00. Решітний сепаратор. Васильковский М. І., Васильковский О. М., Мороз С. М. (Україна), заявник і патентотримач Кіровоградський державний технічний університет. №99126856, заявл. 16.12.1999, опубл. 15.08.2002. Бюл. 8.
16. *Патент 65162 U* Україна, МПК В65G 47/14 (2006.01). Транспортер-очисник. Васильковский М. І., Васильковский О. М., Лещенко С. М., Мороз С. М., Непик А. В., Петренко Д. І. (Україна), заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет. №u201106289, заявл. 19.05.2011, опубл. 25.11.2011. Бюл. 22.

17. Патент 101096 У Україна, МПК А01F 12/44 (2006.01), В65G 47/14 (2006.01). Сепаратор зерна. Васильковський О. М., Васильковська К. В., Лещенко С. М., Мороз С. М., Петренко Д. І., Шабленко Д. А., заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет. №u201502182, заявл. 12.03.2015, опубл. 25.08.2015. Бюл. 16.
18. Мороз С. М., Васильковський М. І., Васильковський О. М., Гончаров В. В. Аналіз багатошарового руху зерна на нерухомій похилій робочій поверхні. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. КНТУ. 2011. Вип. 41 (2). С. 203–207.
19. Мороз С. М. Аналіз експериментальних досліджень транспортера–сепаратора зерноочисної машини. Перспективні напрями наукових досліджень 2015. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Київ. Центр навчальної літератури. 2015. Том 2. С. 168–169.
20. Мороз С. М., Васильковський М. І., Васильковський О. М. До визначення довжини пруткового решета. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. КДТУ. 2003. Вип. 33. С. 121–124.
21. Мороз С. М., Васильковський М. І., Васильковський О. М. Обґрунтування діаметрів стержнів пруткового решета. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград. КНТУ. 2004. Вип. 14. С. 72–78.
22. Мороз С. Н., Васильковский А. М. Определение параметров решет зерноочистительной машины МЗПИ-10 «ДЕЛЬТА». Материалы международного научно-практического симпозиума «Достижения и перспективы в агроинженерии и автотранспорте». Volumul 45. Lucrări științifice FIATA. Chisinau: UASM. 2015. С. 44–47.
23. Васильковський О. М., Лещенко С. М., Васильковська К. В., Петренко Д. І. Підручник дослідника. Кіровоград. Мачулін. 2016. 204 с.
24. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. Москва. Колос. 1973. 199 с.
25. Вуколов Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов Statistica и Excel. Москва. Форум. 2008. 464 с.

References

1. Kotov, B. I., Kalinichenko, R. A., Stepanenko, S. P., Shvydia, V. O., Lisetskyi, V. O. (2017). Modeling of technological processes in the model objects post-harvest processing and grain storage (separation, drying, aeration, cooling). Nizhyn. PE Lysenko. 552.
2. Stepanenko S. P. (2017). Research pneumatic gravity separation of grain materials. International scientific jornal. Mechanizianion in agriculture, conserving of the resources. Scientific technical union of mechanical engineering industry-4.0 Bulgarian association of mechanizianion in agriculture. Issue 2. Bulgarian. 54–56.
3. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P., Pastushenko, M. H. (2003). Trends in development of designs of machinery and equipment for cleaning and grading thermomineral. Design, production and operation of agricultural machinery. Kirovograd. Vol. 33. 53–59.
4. Zaika, P. M., Mykhailov, A. D., Bakum, M. V., Kozij, O. B., Kozij, D. O. (2009). About the possibility of post-treatment and sorting of seeds wheat wprotection separator. Bulletin of APV CNS Kharkiv region. Vol. 5. Harku. 181–190.

5. *Tischenko, L. N., Piven, M. V.* (1999). Experimental study of the operation of the modernized fibrocartilage sieve. *Mechanization of agricultural production*. Kiev. NAU. Volume 5. 231–233.
6. *Tischenko, L. M., Bredihin, V. V.* (2001). Tendencies of improvement of vibropneumotables centrifuges for the separation of grain mixtures. *Construction and exploitation of agricultural machines*. Kirovograd. Vol. 31. 92–96.
7. *Piven, M. V.* (2002). Numerical solution of the problem of steady flow of the granular medium on the inclined sieve. *Modern trends in technology and mechanization of processes of processing and food industries*. Bulletin of Kharkov state technical University of agriculture. Kharkov. HSTOUCH. Vol. 9. 40–48.
8. *Bredykhyn, V. V.* (2001). Finding ways to improve the efficiency vibropneumotables separation of grain mixtures. *Works of Tavria State Agrotechnical Academy*. Melitopol. Vol. 1. Tom. 1. 45–49.
9. *Nesterenko, O. V., Leshchenko, S. M., Vasylovskiy, O. M., Petrenko, D. I.* (2017). Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of multilayer grain feeding. *INMATEH. Agricultural Engineering*. Vol. 53. No 3. 65–70.
10. *Vasylovskiy, M. Y., Vasylovskiy, A. M., Kosynov, M. M., Moroz, S. M.* (2003). To create a new generation of grain cleaning machines, General purpose. *Bulletin of Kharkov State Technical University of Agriculture*. Kharkov. Vol. 22. 28–32.
11. *Vasylovskiy, M. Y., Moroz, S. N., Kosynov, M. M., Kyselev, R. V., Bulei, Y. A.* (2000). Improvement of technologies and working bodies of grain cleaning machines. Design, production and operation of agricultural machinery. The national interdepartmental scientific-technical collection. Kirovograd. KNTU. Vol. 29. 36–39.
12. *Vasylovskiy, O. M., Petrenko, D. I.* (2007). Analysis of the laws of motion of particles in the rotary drum of the centrifugal pneumatic separator of grain including air resistance of the medium. *Bulletin of Kharkov National Technical University named after Petro Vasylenko*. Kharkov. Vol. 59. 177–186.
13. *Leshchenko, S. M., Vasylovskiy, O. M., Vasylovskiy, M. I., Honcharov, V. V.* (2009). Improving the efficiency of precleaning grain mixtures. *Collection of scientific articles. Agricultural machines*. Vol. 18. 230–234.
14. *Moroz, S. M., Vasylovskiy, O. M., Anisimov, O. V.* (2014). Technical means for simultaneous loading and separation of grain heap size. *Technology in agricultural production, industrial engineering, automation*. Kirovograd. KNTU. Vol. 27. 181–186.
15. *Patent 48337 Ukraine, IPC B07B NO 13/07 (2006.01), A01D 41/12 (2006.01), B07B 1/00*. Sieve separator. Vasylovskiy M. I., Vasylovskiy O. M., Moroz S. M. (Ukraine), the applicant and pantomimic Kirovohrad State Technical University. No 99126856, Appl. 16.12.1999, publ. 15.08.2002. Bull. 8.
16. *Patent 65162 Ukraine, IPC B65G 47/14 (2006.01)*. The conveyor-cleaner. Vasylovskiy M. I., Vasylovskiy O. M., Leshchenko S. M., Moroz S. M., Nepyk A. V., Petrenko D. I. (Ukraine), the applicant and pantomimic Kirovohrad National Technical University. No u201106289, Appl. 19.05.2011, publ. 25.11.2011. Bull. 22.
17. *Patent 101096 Ukraine, IPC A01F 12/44 (2006.01), B65G 47/14 (2006.01)*. The grain separator. Vasylovskiy O. M., Vasylovska K. V., Leshchenko S. M., Moroz S. M., Petrenko D. I., Shablenko D. A., appellant and pantomimic Kirovohrad National Technical University. No u201502182, Appl. 12.03.2015, publ. 25.08.2015. Bull. 16.
18. *Moroz, S. M., Vasylovskiy, M. I., Vasylovskiy, O. M., Honcharov, V. V.* (2011). Analysis of multi-layered movement of grain on a fixed inclined working surface. Design, production and operation of agricultural machinery. Kirovograd. KNTU. Vol. 41 (2). 203–207.

19. Moroz, S. M. (2015). Analysis of experimental researches of the conveyor–separator grain cleaning machine. Promising research directions 2015. Materials of international scientific-practical conference. Kiev. Centre of educational literature. Volume 2. 168–169.
20. Moroz, S. M., Vasylovskiy, M. I., Vasylovskiy, O. M. (2003). Determination of the length of the bar sieve. Design, production and operation of agricultural machinery. Kirovograd. KNTU. Vol. 33. 121–124.
21. Moroz, S. M., Vasylovskiy, M. I., Vasylovskiy, O. M. (2004). Study of the diameters of the rods, rotary sieve. Technology in agricultural production, industrial engineering, automation. Kirovograd. KNTU. 2004. Vol. 14. 72–78.
22. Moroz, S. N., Vasylovskiy, A. M. (2015). Determination of parameters of sieves grain cleaning machines, MSPI-10 DELTA. Materials of the international scientifically-practical Symposium "Achievements and prospects of Agroengineering and motor vehicles." Volumul 45. Lucrări științifice FIATA. Chisinau: UASM. 44–47.
23. Vasylovskiy, O. M., Leshchenko, S. M., Vasylovska, K. V., Petrenko, D. I. (2016). Textbook of the researcher. Kirovograd. Maculinea. 204.
24. Vedenyapin, G. V. (1973). General method of experimental research and processing of experimental data. Moscow. Kolos. 199.
25. Vukolov, E. A. (2008). Bases of the statistical analysis. Workshop on statistical methods and operations research using the packages Statistica and Excel. Moscow. Forum. 464.

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТРАНСПОРТЕРА-СЕПАРАТОРА НА ЧЕТКОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ЗЕРНА

С. Н. Мороз, А. М. Васильковский, Ю. В. Мачок, А. В. Анисимов

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния конструктивных и кинематических параметров транспортера-сепаратора зерноочистительной машины общего назначения на технологическую эффективность разделения зерна.

Целью исследований является исследование влияния конструктивных параметров и режима работы транспортера-сепаратора зерноочистительной машины общего назначения, которая была разработана на кафедре сельскохозяйственного машиностроения Кировоградского национального технического университета на качественные показатели очистки зерна.

После проведения ранжирования, были определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс очистки зерна на решетке транспортера-сепаратора: диаметр поперечных перегородок решета, угол наклона решетной поверхности до горизонта, скорость движения рабочей ветви и подача зернового материала.

Для определения степени влияния наиболее значимых факторов на четкость сепарации была разработана экспериментальная установка и составлена методика лабораторных опытов. В ходе проведения исследований реализовано матрицу полного факторного эксперимента типа 2^4 .

Основной уровень и интервалы варьирования факторов выбраны на основе анализа результатов теоретических исследований и предварительных данных экспериментальных исследований.

Полученные закономерности изменения четкости сепарации зерна от диаметра поперечных перегородок решета, угла наклона решетной поверхности к горизонту, скорости движения рабочей ветви и подачи зернового материала приведены в виде трехмерных поверхностей.

Полученные результаты позволили установить рациональные параметры транспортера-сепаратора для обеспечения нужной четкости сепарации зерна.

Ключевые слова: зерноочистительная машина, транспортер-сепаратор, четкость сепарации, качество, очистка зерна, уравнение регрессии, критерии оценки результатов экспериментов, поверхность отклика

INFLUENCE OF MAIN PARAMETERS OF VEHICLE-SEPARATOR WORK ON CHANGE OF GRAIN CLEANING

S. M. Moroz, O. M. Vasylovskyi, Yu. V. Machok, O. V. Anisimov

Abstract. The work is devoted to the investigation of the influence of constructive and kinematic parameters of the conveyor-separator of a universal cleaning machine on the technological efficiency of grain separation.

The purpose of the research is to establish the influence of the design parameters and the mode of operation of the conveyor-separator of a general-purpose grain cleaning machine, which was developed at the Department of Agricultural Machinery of Kirovohrad National Technical University, on qualitative indicators of grain purification.

After the ranking, the most important factors influencing the process of grain purification on the conveyor-separator sieve were determined: diameter of cross-section of the sieve, angle of inclination of the grid surface to the horizon, speed of the working branch and feeding of grain material.

To establish the degree of influence of the most significant factors on the clarity of separation, an experimental installation was developed and a methodology for laboratory experiments was developed. During the research, the matrix of the full factor-type experiment of type 24 was implemented. The basic level and intervals of the variation of factors were chosen based on the analysis of the results of theoretical studies and preliminary data of experimental research.

The regularities of changing the clarity of separation of grain from the diameter of the cross-section of the sieve, the angle of the slab surface

to the horizon, the speed of the working branch and the supply of grain material are given in the form of three-dimensional surfaces.

The obtained results allowed to establish rational parameters of the conveyor-separator to provide the necessary grain separation clarity.

Key words: grain cleaning machine, conveyor-separator, separation clarity, quality, grain purification, regression equation, criteria for evaluating results of experiments, response surface

УДК 631.33.024.2:621.791.763

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ В ҐРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

**Ю. В. Мачок, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-5328-7859**

**О. М. Васильковський, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-9590-742**

**С. М. Мороз, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-5101-8460**

**Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: machokuv@ukr.net**

Анотація. В статті розглянуто питання підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин. Зазначено, що при незначному напрацюванні деякі робочі органи машин втрачають працездатність, оскільки піддаються впливу абразивних часток. Проаналізовано перспективність використання композиційних кераміко-металевих матеріалів в якості зносостійких покриттів на ґрунторізальних елементах робочих органів ґрунтообробних та посівних машин. Зазначено твердість матриці і необхідну різницю в мікротвердостях армуючих і зв'язуючих фаз. Сформовано передумови проведення теоретичного дослідження.

На основі проведення теоретичного аналізу визначено величини нормального та дотичного напружень, що діють на частки керамічного наповнювача при швидкому та повільному охолодженні і встановлено умови запобігання їх руйнуванню. Обґрунтовано розмір керамічного наповнювача та його об'ємний вміст в композиційному покритті з урахуванням коефіцієнтів термічного розширення матриці і керамічного наповнювача та різниць температур нагрівання і охолодження.

© Ю. В. Мачок, О. М. Васильковський, С. М. Мороз, 2018

Встановлено, що зносостійкість отриманого покриття характеризується не тільки складом, металевої матриці та розміром керамічного наповнювача, а й його об'ємним вмістом у композиційному покритті.

Шляхом вирішення аналітичних виразів наведено графічну тривимірну залежність, яка дозволяє формувати об'ємний вміст керамічного наповнювача залежно від співвідношення розмірів його часток і розмірів абразивних часток ґрунту.

Використання результатів даного дослідження дозволить підвищити ресурс робочих органів сільськогосподарських машин, що працюють у ґрунтовому середовищі і отримати позитивний економічний ефект у реальних господарствах.

Ключові слова: *ґрунтове середовище, композиційний матеріал, композиційне покриття, металева матриця, керамічний наповнювач*

Постановка проблеми. Ґрунтове середовище володіє високими абразивними властивостями, через що, деякі ґрунторізальні елементи робочих органів ґрунтообробних та посівних машин втрачають свою працездатність навіть при незначному напрацюванні. Підвищення зносостійкості ґрунторізальних елементів досягають трьома основними шляхами. Перш за все це вдосконалення конструкції; другий шлях пов'язаний з пошуком і використанням більш зносостійких матеріалів; третій – поєднуючи переваги першого та другого, був спрямований на створення зміцнених шарів на різальних елементах.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш ефективним шляхом підвищення зносостійкості ґрунторізальних елементів ґрунтообробних і посівних машин є використання зносостійких покриттів нанесених різними технологічними способами. В якості матеріалів покриттів використовують сплави, псевдосплави, керамічні, порошкові матеріали тощо.

Серед сучасних матеріалів найбільш перспективними є композиційні матеріали (КМ), в основу яких покладено поєднання в одному об'ємі матеріалів різних класів (метал, кераміка, полімер), які володіють різними вихідними властивостями і забезпечують ті чи інші показники надійності та споживчої якості механізмів техніки, що працює у безпосередньому контакті з абразивним середовищем [1, 4, 6–14].

Завдяки тому, що КМ можна конструювати і отримувати їх з заданими фізико-механічними і механіко-технологічними характеристиками, вони володіють унікальними властивостями в порівнянні з традиційними матеріалами.

На особливу увагу заслуговують композиційні кераміко-металеві матеріали та створені на їх основі зносостійкі покриття, оптимальні властивості яких потрібно адаптувати під конкретні умови середовищ, де планується їх застосування.

Мета досліджень. Теоретичне обґрунтування оптимального значення розмірів та об'ємного вмісту керамічного наповнювача у композиційному покритті для забезпечення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних та посівних машин.

Результати досліджень. Властивості кераміко-металевих КМ та покриттів залежать в основному від якісного та кількісного співвідношення керамічної (наповнювач) та металевої (матриця) складових. Для забезпечення абразивної зносостійкості кераміко-металевого покриття твердість матриці повинна знаходитись в межах 4,0...6,0 ГПа, а різниця в мікротвердостях армуючих і зв'язуючих фаз повинна дорівнювати приблизно 5,0 ГПа. В якості зносостійких наповнювачів можна використати тверді матеріали: алмаз, оксиди, карбіди, нітриди, бориди і деякі інші сполуки [2, 6].

Необхідні фізико-механічні властивості кераміко-металевого матеріалу та композиційного покриття (КП) сформованого на її основі забезпечуються правильним вибором розміру керамічного наповнювача та його об'ємним вмістом в матеріалі [2, 6].

Вибір максимального розміру керамічного наповнювача залежить від гранулометричного складу ґрунту, коефіцієнтів термічного розширення компонентів композиційного матеріалу та способу нанесення зносостійкого покриття. З метою збереження вихідних властивостей компонентів КМ найкраще наносити його в твердій фазі контактним наварюванням. Причому, КМ попередньо необхідно сформувати у вигляді стрічки необхідних параметрів (товщини та ширини) шляхом прокочування його в прокатному стані, спіканням в інертному середовищі та наступним повільним охолодженням. В процесі наварювання КМ піддається термомеханічній дії, яка супроводжується інтенсивним нагріванням, зменшенням в об'ємі, а потім швидким охолодженням.

В даному випадку важливим фактором, який забезпечує можливість формування працездатного КП є термомеханічна сумісність фаз матеріалу. Її можна забезпечити за умови близькості значень коефіцієнтів термічного розширення складових КП при відповідних розмірах керамічного наповнювача [6].

При нагріванні чи охолодженні як металева, так і керамічна фази КМ збільшуються або зменшуються пропорційно значенню коефіцієнта термічного розширення:

$$\Delta V_m = 3\alpha_m \cdot \Delta T \cdot V_m, \quad (1)$$

$$\Delta V_k = 3\alpha_k \cdot \Delta T \cdot V_k, \quad (2)$$

де: V_M , V_K , ΔV_M , ΔV_K – відповідно об'єми та зміни об'єму матриці та керамічного наповнювача при охолодженні; α_M , α_K – коефіцієнт термічного розширення матриці і керамічного наповнювача; ΔT – різниця температур нагрівання і охолодження.

Оскільки металева матриця керамічного покриття може являти собою сплав декількох компонентів, то для визначення коефіцієнта її термічного розширення скористаємось правилом адитивності, згідно якого останній можна представити як суму добутків наступних елементів:

$$\alpha_M = c_1 \cdot \alpha_1 + c_2 \cdot \alpha_2 + \dots + c_i \cdot \alpha_i, \quad (3)$$

де: α_1 , α_2 , α_i – відповідно коефіцієнти термічного розширення компонентів матриці, c_1 , c_2 , c_i – відповідно об'ємний вміст компонентів матриці.

Відмінність в коефіцієнтах термічного розширення матриці і наповнювача при нагріванні чи охолодженні викликає в КП деформацію, яка в керамічному наповнювачі обумовлює виникнення нормальних напружень.

$$\varepsilon = \Delta V_M - \Delta V_K = 3(\alpha_M - \alpha_K)\Delta T. \quad (4)$$

При швидкому охолодженні під час наварювання величину нормальних напружень можна оцінити за виразом:

$$\sigma_K = 3E_K(\alpha_M - \alpha_K)\Delta T, \quad (5)$$

де: E_K – модуль пружності керамічного наповнювача.

У випадку повільного охолодження після спікання внаслідок перерозподілу напружень нормальні напруження будуть значно меншими:

$$\sigma = \sigma_K \exp\left(-\frac{G_{zc} \cdot t}{\eta}\right), \quad (6)$$

де: G_{zc} – модуль зсуву; t – тривалість охолодження; η – коефіцієнт зсувної в'язкості.

Таким чином, врахувавши двоетапність формування КП, маємо:

$$\sigma_K = 3E_K(\alpha_M - \alpha_K) \exp\left(-\frac{G_{zc} \cdot t}{\eta}\right) \Delta T. \quad (7)$$

Крім нормальних напружень на керамічну частинку діють також і тангенціальні напруження τ . При цьому умову руйнування керамічної частинки з урахуванням зазначених видів напружень можна подати у вигляді:

$$\sigma_K \cdot F_s \leq \tau \cdot S, \quad (8)$$

де: F_s , S – площа поперечного перерізу та поверхні частинки.

Розв'язавши вираз (7) (8) відносно τ , отримаємо:

$$\tau \geq 3 \frac{F_s}{S} E_\kappa (\alpha_m - \alpha_\kappa) \exp\left(-\frac{G_{3c} \cdot t}{\eta}\right) \Delta T. \quad (9)$$

Отриманий вираз справедливий для опису процесу повільного охолодження. У випадку швидкого охолодження, маємо:

$$\tau \geq 3 \frac{F_s}{S} E_\kappa (\alpha_m - \alpha_\kappa) \Delta T. \quad (10)$$

Виходячи з (10) умову руйнування керамічної частинки можна подати у вигляді:

$$(\alpha_m - \alpha_\kappa) \geq \frac{\tau}{3 \frac{S}{F_s} E_\kappa \Delta T}. \quad (11)$$

Припустимо, що компоненти матриці і керамічного наповнювача мають сферичну форму однакового діаметру d , тоді їх об'єми можна визначити за формулою:

$$\Delta V_m = \Delta V_\kappa = \frac{1}{6} \pi d^3. \quad (12)$$

Зміна об'ємів фаз КП, з урахуванням (1), (2) та (12), відповідно дорівнює:

$$\Delta V_m = \frac{1}{6} \pi d^3 \alpha_m \Delta T. \quad (13)$$

$$\Delta V_\kappa = \frac{1}{6} \pi d^3 \alpha_\kappa \Delta T. \quad (14)$$

З урахуванням змін об'ємів (13) і (14), маємо загальну зміну об'єму:

$$\Delta V_m = \frac{1}{6} \pi d^3 (\alpha_m - \alpha_\kappa) \Delta T. \quad (15)$$

В зв'язку з цим вираз набуде вигляду:

$$\varepsilon = \frac{1}{6} \pi d^3 (\alpha_m - \alpha_\kappa) \Delta T. \quad (16)$$

З урахуванням вищевикладеного, вираз (5) для нормальних напружень дещо перетвориться:

$$\sigma = \frac{1}{6} \pi d^3 E_\kappa (\alpha_m - \alpha_\kappa) \Delta T. \quad (17)$$

Для тангенціальних напружень з урахуванням релаксаційних процесів:

$$\tau = \frac{1}{6} \pi d^3 E_\kappa (\alpha_m - \alpha_\kappa) \exp\left(-\frac{G \cdot t}{\eta}\right) \Delta T. \quad (18)$$

Аналогічно умові (11), щоб при швидкому охолодженні не спостерігалось руйнування керамічної частинки, маємо:

$$(\alpha_m - \alpha_\kappa) \leq \frac{6\tau_\kappa}{\pi d^3 E_\kappa \Delta T}. \quad (19)$$

Отже, можна бачити, що чим менший розмір частинки керамічного наповнювача, тим менша імовірність його руйнування і

тим більшою може бути різниця коефіцієнтів термічного розширення складових матриці і керамічного наповнювача.

Розв'язавши вираз (19) відносно d отримаємо діаметр керамічної частинки:

$$d \leq \sqrt{\frac{6\tau_{\kappa}(\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa})}{\pi E_{\kappa} \Delta T}}. \quad (20)$$

Тобто $d \leq d_{\text{max}}$, де

$$d_{\text{max}} = \sqrt{\frac{6\tau_{\kappa}(\alpha_{\text{м}} - \alpha_{\kappa})}{\pi E_{\kappa} \Delta T}}. \quad (21)$$

Зносостійкість отриманого покриття характеризується не тільки складом, металевої матриці та розміром керамічного наповнювача, а й його об'ємним вмістом в КП, оскільки при недостатній його кількості інтенсивному зношуванню буде піддаватися матриця аж до втрати суцільності і, як результат, до викришування наповнювача, і навпаки, при надлишковому вмісту також матиме місце порушення суцільності матриці через підвищену пористість, що також може викликати його викришування при контакті з частинками ґрунту.

Таким чином, об'єм зносостійкої керамічної фази розміру $\bar{d}_{\kappa}$ повинен бути таким, щоб у КП відстань між її частинками $\bar{\lambda}$ не перевищувала б середнього діаметру часток абразивної суміші розміром $\bar{d}_a$ в середовищі якої працює КП, що запобігало б «заклинюванню» абразиву між керамічними частинками, активному зношуванню матеріалу матриці (рис. 1).

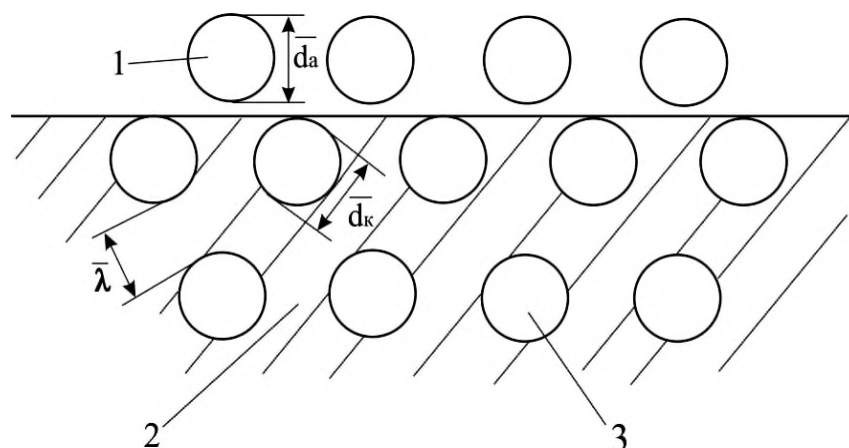


Рис. 1. Схема до розрахунку об'ємного вмісту керамічного наповнювача в композиційному покритті: 1 – абразивна частинка ґрунту; 2 – матриця; 3 – керамічний наповнювач.

Для розрахунку об'ємного вмісту керамічного наповнювача в КМ скористаємося виразом [2]:

$$\bar{\lambda} \leq \frac{2\bar{d}_\kappa(1-c_\kappa)}{3c_\kappa}, \quad (22)$$

де: c_κ – об'ємний вміст керамічного наповнювача

Розв'язавши нерівність (22) відносно c_κ , маємо:

$$c_\kappa \geq \frac{1}{\frac{3\bar{d}_a}{2\bar{d}_\kappa} + 1}. \quad (23)$$

Отриманий вираз дає можливість розрахувати об'ємний вміст керамічного наповнювача в КП для конкретних умов його роботи.

За даними [5] більше 40% гранулометричного складу чорноземів звичайних складають частинки розміром більше 50 мкм. Вони володіють найвищою здатністю до зношення.

З практичної точки зору доцільно провести даний розрахунок для змін гранулометричного складу ґрунту d_a (50...500 мкм) при значеннях розмірів керамічного наповнювача d_κ (50...450 мкм). Отримана графічна залежність зазначених параметрів (рис. 2).

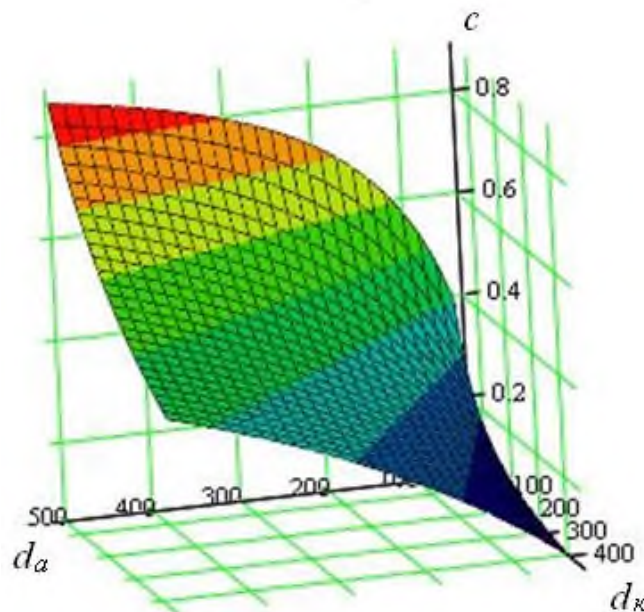


Рис. 2. Залежність об'ємного вмісту керамічного наповнювача від розмірів його часток і розмірів абразивних часток ґрунту.

Її аналіз дозволяє встановити, що з урахуванням припущення, що $\bar{d}_a \approx \bar{\lambda}$ оптимальне значення об'ємного вмісту керамічного наповнювача в КП знаходиться в межах 30...40%.

Висновки

1. Для забезпечення якісного формування кераміко-металевого КП необхідно, щоб коефіцієнти термічного розширення компонентів, що входять до його складу були максимально близькими.

2. Діаметр керамічного наповнювача КМ обмежується максимальним значенням при якому настає ймовірність його руйнування при контактному наварюванні.

3. Об'ємний вміст керамічного наповнювача залежить від гранулометричного складу ґрунту та повинен бути таким, що забезпечує запроектовані фізико-механічні властивості КП.

4. Використання отриманих результатів дослідження дозволить підвищити ресурс робочих органів сільськогосподарських машин, що працюють у ґрунтового середовищі і отримати позитивний економічний ефект у реальних господарствах.

Список літератури

1. Аулін В. В., Мачок Ю. В., Барановський Д. М. Довговічність полозу полозкового сошника зернових сіялок. Проблеми трибології (Problems of Tribology). 2009. № 1. С. 75–80.
2. Астахов А. С., Буклагин Д. С., Голубев И. Г. Применение технической керамики в сельскохозяйственном производстве. Москва. Агропромиздат. 1988. 64 с.
3. Белоусов В. Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами. Львов. Вища школа. 1984. 180 с.
4. Бойко А. И., Балабуха А. В. Упрочнение лезвий, как метод управления их геометрической формой при изнашивании. Вісник Харківського технічного університету сільського господарства. Харків. ХДТУСГ. 2000. Вип. 4. С. 49–56.
5. Тихоненко Д. Г. Ґрунтознавство. Київ. Вища освіта. 2005. 703 с.
6. Кислый П. С., Боднарчук Н. И., Боровиков М. С. Керметы. Київ. Наукова думка. 1985. 272 с.
7. Мачок Ю. В., Лузан П. Г. Вибір компонентів композиційних стрічок для створення зносостійких покриттів контактним наварюванням. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. Кіровоград. КІСМ. 1997. С. 243–244.
8. Мачок Ю. В., Черновол М. І., Солових Є. К., Аулін В. В. Вплив характеру формування самозагострюваного ґрунторізального елемента на тяговий опір полозкових сошників. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. КДТУ. 2004. Вип. 34. С. 164–167.
9. Мачок Ю. В., Аулін В. В., Солових Є. К., Солових І. К. Обґрунтування конструкції полозкового сошника з самозагострюваним лезом полозу. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. 2011. Вип. 41, ч. 1. С. 297–300.
10. Мачок Ю. В. Підвищення зносостійкості різальних елементів полозкових сошників зернових сіялок композиційними матеріалами. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград. КДТУ. 2002. Вип. 11. С. 216–219.
11. Новицький А. В. Оцінка надійності засобів для приготування і роздавання кормів в залежності від умов і режимів їх експлуатації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212, ч. 1. С. 141–147.
12. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету

біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 264. – С. 293–303.

13. Солових Є. К., Мачок Ю. В., Аулін В. В. Зміцнення як метод отримання самозагострюваного леза. Інженерія поверхності і реновация изделий: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. 28-30 мая 2002 г. Ялта. 2002. С. 174–175.

14. Черновол М. И., Златопольский Ф. И., Лопата Л. А. Современные материалы для восстановления и упрочнения деталей машин. Кировоград. 1994. 83 с.

References

1. Aulin, V. V., Machok, Yu. V., Baranovskiy, D. M. (2009). Durability of the skid shoe grain drills. The problems of tribology (Problems of Tribology). No 1. 75–80.
2. Astakhov, A. S., Buklahyn, D. S., Golubev, Y. G. (1988). Application of technical ceramics in agricultural production. Moscow. Agropromizdat. 64.
3. Belousov, V. I. (1984). Durability of machine parts with composite materials. Lions. High school. 180.
4. Boyko, A. I., Balabuha, A. V. (2000). Hardening of blades, as a method of control their geometrical shape when you wear. Bulletin of Kharkov Technical University of Agriculture. Kharkov. Vol. 4. 49–56.
5. Tikhonenko, D. G. (2005). Soil Science. Kiev. Higher education. 703.
6. Kyslyi, P. S., Bodnaruk N. S., Borovikov, N. C. (1985). Cermet. Kiev. Scientific thought. 272.
7. Machok, Yu. V., Luzan, P. H. (1997). Choice of components of the composite tapes to create wear-resistant coatings by the contact welding. Problems of design, production and operation of agricultural equipment. Kirovograd. 243–244.
8. Machok, Yu. V., Chernovol, M. I., Solovykh, Ye. K., Aulin, V. V. (2004). Influence of the nature of the formation samozaposljavanja grundartangi object on skid traction resistance Coulter. Design, production and operation of agricultural machinery. Kirovograd. Vol. 34. 164–167.
9. Machok, Yu. V., Aulin V. V., Chernovol, M. I., Solovykh, Ye. K. (2011). Rationale for the construction of skid samosavank opener with blade of snake. Design, production and operation of agricultural machinery. Kirovograd. Vol. 41, part 1. 297–300.
10. Machok, Yu. V. (2002). Improvement of wear resistance of cutting elements skid openers of grain drills composite materials. Technology in agricultural production, industrial engineering, automation. Kirovograd. Vol. 11. 216–219.
11. Novitsky, A. V. (2015). Assessment of the reliability of funds for the preparation and distribution of feed, depending on conditions and modes of operation. Scientific Bulletin of National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture. Kiev. Vol. 212, part 1. 141–147.
12. Novitsky, A. V., Novitsky, Y. A. (2017). Technical evaluation of consumer qualities of agricultural machinery. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture. Kiev. Vol. 264. 293–303.
13. Solovykh, Ye. K., Machok, Yu. V., Aulin V. V. (2002). Strengthening as a method of obtaining samozaposljavanja blade. Surface engineering and renovation of products: materials of the 2nd Intern. scientific.-pract. Conf. 28-30 may 2002, Yalta. 174–175.
14. Chernovol, M. I., Zlatopolsky, F. Y., Lopata, L. A. (1994). Modern materials for the restoration and hardening of machine parts. Kirovograd. 83.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ В ПОЧВЕННОЙ СРЕДЕ

Ю. В. Мачок, А. М. Васильковский, С. М. Мороз

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин. Отмечено, что при незначительной наработке некоторые рабочие органы машин теряют работоспособность, поскольку подвергаются воздействию абразивных частиц. Проанализированы перспективность использования композиционных керамико-металлических материалов в качестве износостойких покрытий на почворежущих элементах рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин. Указано твердость матрицы и необходимую разницу в микротвердости армирующих и связующих фаз. Сформированы предпосылки проведения теоретического исследования.

На основе проведения теоретического анализа определены величины нормального и касательного напряжений, действующих на частицы керамического наполнителя при быстром и медленном охлаждении, а также установлены условия предотвращения их разрушения. Обоснованы размеры керамического наполнителя и его объемное содержание в композиционном покрытии с учетом коэффициентов термического расширения матрицы, керамического наполнителя и разниц температур нагрева и охлаждения.

Установлено, что износостойкость полученного покрытия характеризуется не только составом, металлической матрицы и размером керамического наполнителя, но и его объемным содержанием в композиционном покрытии.

Путем решения аналитических выражений приведена графическая трехмерная зависимость, которая позволяет формировать объемное содержание керамического наполнителя в зависимости от соотношения размеров его частиц и размеров абразивных частиц почвы.

Использование результатов данного исследования позволит повысить ресурс рабочих органов сельскохозяйственных машин, работающих в почвенной среде и получить положительный экономический эффект в реальных хозяйствах.

Ключевые слова: почвенная среда, композиционный материал, композиционное покрытие, металлическая матрица, керамический наполнитель

PROVIDING FACILITATION OF COMPOSITE COVERING IN SOIL ENVIRONMENT

Yu. V. Machok, O. M. Vasylovskiy, S. M. Moroz

Abstract. The article deals with the issues of increasing the wear resistance of working bodies of agricultural machines. It is noted that in

case of insignificant workout some working bodies of machines lose their working capacity as they are exposed to the abrasive particles. The prospects of using composite ceramic-metal materials as wear-resistant coatings on soil-forming elements of working bodies of soil-tilling and seeding machines have been analyzed. The hardness of the matrix and the required difference in the microhardness of the reinforcing and coupling phases are indicated. Preconditions for conducting theoretical research have been formed.

On the basis of theoretical analysis, the values of normal and tangential stresses acting on the particles of ceramic filler at fast and slow cooling are determined and conditions for preventing their destruction are determined. The size of the ceramic filler and its volume content in the composite coating are substantiated, taking into account coefficients of thermal expansion of the matrix and ceramic filler, and the differences of heating and cooling temperatures.

It was established that the wear resistance of the obtained coating is characterized not only by the composition, metal matrix and the size of the ceramic filler, but also its volumetric content in the composite coating.

By solving analytical expressions, a graphical three-dimensional dependence is provided that allows the formation of the volumetric content of the ceramic filler, depending on the ratio of the size of its particles and the size of the abrasive particles of the soil.

Using the results of this study will increase the resource of working machines of agricultural machines working in the soil environment and gain a positive economic effect in real economy.

Key words: *soil medium, composite material, composition coating, metal matrix, ceramic filler*

УДК 631.171.075.3

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ МІЦНОСТІ ЗЕРЕН АЛМАЗОНОСНОГО ШАРУ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ

**О. В. Сушко, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616**

**Таврійський державний агротехнологічний університет
e-mail: Olgasova1960@gmail.com**

Анотація. Проблема ефективності обробки синтетичних надтвердих матеріалів (НТМ) залишається на даний момент

© О. В. Сушко, 2018

досить актуальною. З метою підвищення роботоздатності алмазних кругів було поставлено задачу виявити оптимальне поєднання марок, зернис-тостей, концентрацій алмазних порошків з типом металевої зв'язки, які забезпечують мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів (з точки зору визначення умов максимального збереження цілісності зерен). У даній роботі наведена методика визначення динамічної міцності зерен алмазоносного шару шліфувальних кругів з метою вибору оптимальних складів зв'язок та підвищення ефективності алмазного шліфування.

Ключові слова: *надтверді матеріали, шліфувальні круги, алмазні зерна, динамічна міцність, алмазно-металеві композиції*

Постановка проблеми. Процес лезвійної обробки загартованих сталей різцями з НТМ завдяки високій якості є конкурентоздатним абразив-ній обробці. Багатократні переваги утворюються за рахунок меншого технологічного часу, значного скорочення циклу обробки деталей при одночасному збільшенні швидкості обробки, зменшенні шорсткості поверхні та значному збільшенні зносостійкості інструменту [1].

Методологія вибору оптимального поєднання властивостей міцності алмазних зерен та металевих зв'язок стосовно до обробки конкретного матеріалу відсутня до цього часу. Рекомендації стосовно застосування тих чи інших алмазних зерен, що є в джерелах, носять дуже загальний характер та мають дуже великі діапазони. Такі рекомендації, з урахуванням високої вартості алмазних зерен приводять до низької ефективності їх використання і, як наслідок, високої собівартості процесу алмазного шліфування, що суттєво стримує його застосування в процесах обробки [2].

Традиційна концентрація алмазних зерен (25, 50, 100, 150, 200 %), яка застосовується в існуючих алмазних кругах, що випускаються, потребує значного уточнення. При цьому повинна вирішуватися задача оптимального поєднання властивостей міцності металевої зв'язки та алмазних зерен з точки зору збереження їх цілісності в процесі спікання алмазних кругів [3].

Тому з метою підвищення роботоздатності алмазних кругів необхідно виявити оптимальне поєднання марок, зернистостей, концентрацій алмазних порошків з типом металевої зв'язки, які забезпечують мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів (з точки зору визначення умов максимального збереження цілісності зерен).

Для вирішення цієї проблеми було поставлено ряд задач:

– визначити методологію теоретичних досліджень впливу міцності елементів систем «алмазне зерно-металева зв'язка» на інтенсивність їх руйнування;

– на підставі моделювання напружено-деформованого стану спеченого алмазоносного шару круга виявити вплив властивостей міцності металевої зв'язки, алмазних зерен та їх концентрації на цілісність зерен в абразивному інструменті та надати рекомендації щодо оптимального складу спечених алмазно-металевих композицій, що забезпечило б мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів.

Аналіз останніх досліджень. У теперішній час з синтетичних алмазів у відповідності з ДСТУ 9206 виготовляють шліфпорошки, мікропорошки та субмікропорошки 14 марок. Це дозволяє використовувати алмази диференційовано [3].

Більшість дослідників схиляється до переваги використання для вивчення та описання процесів руйнування крихких неметалевих матеріалів (зокрема, і при абразивній обробці) кінетичної теорії руйнування. Причому, при фінішній обробці (полірування, доводка) превалюючим при руйнуванні буде термо-флуктуаційний механізм розриву зв'язків. У разі силового шліфування (чорнові та напівчистові операції обробки конструкційних матеріалів, що супроводжуються зняттям значного припуску) процес руйнування матеріалу при формоутворенні можна умовно вважати таким, який здійснюється за рахунок виникнення та розвитку магістральних тріщин під дією механічних сил (сил різання) [4]. Формування в обробленому матеріалі так званого дефектного шару є наслідком порушення суцільності матеріалу при різанні, розвитку та перетину мікротріщин. Виходячи з основних положень теорій руйнування, глибина поширення цих тріщин буде залежати від ступеня напружено-деформованого стану в обробленому тілі та визначається енергетичними умовами процесу обробки [5].

При визначенні питомого зносу та коефіцієнту використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен шліфувальних кругів досліджено рекуперацію алмазних зерен з алмазоносного шару круга. Визначено якість та розміри зерен з метою подальшого виявлення оптимального поєднання марок, зернистостей, концентрацій алмазних порошків з типом металевої зв'язки, які забезпечують мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів [6]. Нами встановлено, що в експлуатацію потрапляють шліфувальні круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених у маркуванні. Тобто, круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених у маркуванні та не можуть реалізовувати необхідні показники алмазно-абразивної обробки. Виявлено, що

алмазні шліфувальні круги на металевих зв'язках мають вихідну дефектність у вигляді зруйнованих у процесі спікання алмазних зерен, у результаті чого кількість зерен основної і крупної фракцій зменшується на 19 % і 4 % відповідно [7, 8]. Отже, для визначення умов виго-товлення алмазних кругів з максимальною цілісністю зерен необхідно провести дослідження динамічної міцності зерен алмазоносного шару.

Мета досліджень. В роботі наведена методика визначення динамічної міцності зерен алмазоносного шару шліфувальних кругів з метою виявлення умов їх виготовлення з максимальною цілісністю зерен.

Результати досліджень. Показник динамічної міцності характеризує здатність алмазного порошку протистояти ударним, динамічним навантаженням, які зазнають алмази при роботі алмазного інструменту. Цей технологічний показник застосовується переважно для характеристики якості шліфпорошків марок AC50 та більше та зернистостей 200/160 та вище [1]. Динамічну міцність можна визначити різними методами, але найбільш поширеним є метод випробувань алмазів при вібраційному навантаженні на пристроях типу «Фрайтестер» (рис. 1) [2].

Пробу порошку масою 2 карати завантажують у вузький сталевий циліндр із сталеву кулькою, що вільно переміщається усередині циліндра. Циліндр встановлюють на вал електромотору в спеціальний пристрій. При його обертанні забезпечується зворотно-поступове переміщення шарика в капсулі вздовж її осі. Пристрій фіксує по кількості обертів кількість циклів навантаження проби кулькою. При випробуванні зерна трощаться. Після визначеної кількості циклів пробу вивантажують, просіюють на ситах та визначають відсотковий вміст зерен на контрольних ситах. В результаті випробувань визначають кількість ударів кульки по зернах, які необхідні для руйнування 50 % зерен проби порошку. Проводиться, як правило, не менше двох випробувань. Зафіксована кількість циклів характеризує динамічну міцність порошку (індекс по Фрайтестеру F_i).

Результати кореляційного співставлення показників F_i та міцності на розплющення зерен деяких марок вітчизняних синтетичних алмазів наведені в таблиці 1 та на рис. 2 [3].

У закордонній практиці динамічну міцність порошку після одиничного ударного навантаження в приладі Фрайтестер протягом заданого часу оцінюють показником, який дорівнює відсотковому вмісту зерен, які зберегли початковий розмір.

При проведенні контролю на установці "Friatester" необхідно враховувати наступне. Оскільки застосування частоти вібрацій капсули призводить до отримання різних результатів, то пристрій

сконструйований таким чином, щоб можна було забезпечувати постійність визначеної частоти вібрацій з точністю до 0,1 %. Маса кульки та форма капсули також дуже впливають на результати контролю. Все це зумовлює складність апаратного оформлення установки та її високу вартість. З врахуванням сказаного було розроблено експрес-метод визначення динамічної міцності зерен порошку на базі іншого, відмінного від описаного апарату, в якому руйнування зерен відбувалося б більшою кількістю тіл, що трощать. Можна очікувати, що в цьому випадку стабільність контролю буде вищою. Тому був вибраний вихровий апарат, сконструйований в ІНМ НАН України сумісно з НДІ «Емальхіммаш» для спеціальної обробки алмазних порошків.



Рис. 1. Прилад для визначення динамічної міцності алмазних порошків типу Фрайтестер.

1. Діапазон зміни показника міцності F_i порошків різних марок, встановлений на приладі Фрайтестер (данні ІНМ).

Марка алмазу	Показник F_i , відносн. один.	Зернистість порошку		
		400/315	315/250	250/200
AC50	$F_i \min$	22	35	45
	$F_i \max$	65	77	81
	$F_i \text{ cp}$	35	47	54
AC65	$F_i \min$	26	45	59
	$F_i \max$	48	76	97
	$F_i \text{ cp}$	39	58	73
AC80	$F_i \min$	31	44	63
	$F_i \max$	70	88	104
	$F_i \text{ cp}$	50	64	81

Вихровий апарат призначений для процесів диспергування багатокомпонентних систем, змішування сухих сипучих матеріалів,

вибіркового дроблення, корегування форми та овалізації зерен порошкових матеріалів, включаючи мікропорошки у сухому повітрі або в рідині. Матеріал в апараті обробляється шляхом впливу змінного магнітного поля на суміш оброблюваного матеріалу та феромагнітних часточок. Робоча камера апарату являє собою ємність у виді циліндру, виготовленого з міцного немагнітного матеріалу (ситалу). Камера встановлюється у пристрій, який створює магнітне поле, що обертається, з величиною магнітної індукції 0,15 Тл. До неї одночасно завантажуються нерівновісні феромагнітні частинки та навіска оброблюваного матеріалу в співвідношенні не більше 1:10. Під впливом електромагнітного поля феромагнітні частинки набувають обертального руху з частотою обертання 3000 об/хв. та частотою коливань 1000 Гц відносно вектору магнітної індукції. Суміш феромагнітних частинок та часточок оброблюваного матеріалу знаходяться у зваженому стані з утворенням великої кількості зустрічних потоків. Оброблювані частинки на великих швидкостях співударяються між собою, а також із феромагнітними частинками та стінками робочої камери, в результаті чого відбувається інтенсивне подрібнення продукту.

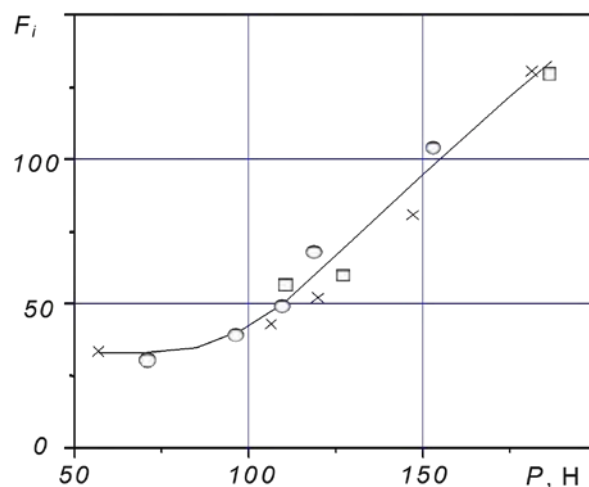


Рис. 2. Залежність між показниками, отриманими на приладах Фрайтестер та ДА-2М для шліфпорошку алмазу зернистістю 315/250: ○ – AC50; × – AC65; □ – AC80.

Для рівномірного подрібнення матеріалу на протязі всієї довжини робочої камери конструкцією апарату передбачено її зворотно-поступове переміщення у напрямку, паралельному її вісі. Робочими тілами є шматки сталевого дроту діаметром 2–2,1 мм та довжиною 18–20 мм, які рухаються хаотично під дією магнітного поля, що обертається. Робоча камера складається з набору п'яти циліндричних ячіюк діаметром 80 та довжиною 30 мм, у кожній з яких можна проводити одночасно незалежні випробування. Ступінь

руйнування зерен порошку контролюється за допомогою аналізу на 120-міліметрових ситах. Цим же визначалася й вага навіски порошку – 50 карат, яка є оптимальною для сит такого діаметру. Зменшення об'єму проби можливо тільки при зменшенні перерізу полотна сита та підвищенні стабільності віброапарату. При виборі навіски робочих тіл виходили з того, що інтенсивність обробки зерен порошку повинна бути досить високою, щоб зменшити час контролю динамічної міцності. З іншого боку, руйнування повинно йти не дуже інтенсивно, для того, щоб можна було проводити вивчення кінетики цього процесу. Попередні випробування показали, що найбільш оптимальною для цих цілей є навіска робочих тіл масою 15г. Випробування проводилися з п'ятьма марками алмазних шліфувальних порошоків (АС2 – АС20) зернистістю 125/100 та з сьома марками (АС15 – АС100) зернистістю 315/250.

Обробка даних за методом найменших квадратів дає наступну апроксимацію залежності між статичною міцністю P_{cm} , динамічною міцністю P_{ϕ} , отриманою на установці "Friatester", та коефіцієнтом k . Отриманим на вихровому апараті конструкції ІНМ:

$$P_{cm} = 4069 + 11144/K; \quad (1)$$

$$P_{\phi} = 23,05 + 75,14/K. \quad (2)$$

Причому, коефіцієнт кореляції між P_{cm} и k^{-1} , P_{ϕ} и k^{-1} відповідно дорівнює 0,987 й 0,988. Ступінь відхилення експериментальних значень від розрахованих за формулою 2 для P_{cm} не перевищує 9 %, а для P_{ϕ} – 6 %. Значення статичної міцності P_{cm} , динамічної міцності P_{ϕ} , отриманої на установці «Friatester», та коефіцієнта k , отриманого на вихровому апараті для алмазних порошоків АС50 – АС100 зернистістю 315/250, наведені в таблиці 2.

2. Значення статичної P_{cm} , динамічної P_{ϕ} міцностей та коефіцієнту k .

Марка порошку	P_{cm} , Н	P_{ϕ} , число циклів	$k \times 10^3$, 1/с
АС100	11110	70	1,56
АС80	9300	60	2,44
АС65	8360	50	3,17
АС50	6460	40	3,00

Таким чином, з проведених досліджень можна зробити висновок, що міцність алмазних шліфпорошків можна контролювати на основі вимірювання коефіцієнту k , який визначається за формулою (2). У якості апарату, який використовується для механічної обробки порошоків, може слугувати вихровий апарат ІНМ, а також типу АВС.

Для отримання високоміцних алмазів використана ростова система Ni-Mn-C [2]. При оптимальних значеннях тиску та температури в ній утворюються правильні, гарно ограничені кристали, середній вміст яких в продукті синтезу досягає 25–30%, а

максимальний – 40%. Відомо, що в алмазній сировині, яка вилучена з продуктів синтезу, звичайно містяться зерна, які відрізняються за геометричними параметрами, а також зростки [4]. Для виділення високоякісних кристалів застосовується технологічна схема, яка включає вибіркоче (механічне та ультразвукове) дроблення алмазної сировини, розділення її за розмірами та формою зерен, а також сепарацію за шорсткістю їх поверхні. Механічне дроблення здійснюється в роторній дробарці безперервної дії, яка забезпечує вибіркочий процес руйнування зростків та дефектних зерен. Для класифікації за розмірами зерен застосовуються вібросита конструкції ІНМ з вібруючою нахиленою декою, яка оснащена спеціальним покриттям. При цьому досягається вміст частинок основної фракції в порошку кожної зернистості не менше 80 %.

Динамічна міцність шліфпорошків нових марок наведена в таблиці 3.

3. Динамічна міцність шліфпорошків нових марок.

Зернистість порошку	АС50	А С 65	АС80
500/400	15	20	25
400/315	25	30	35
315/250	40	45	70
250/200	45	60	80
200/160	50	70	90
160/125	60	80	100
125/100	70	90	110
100/80	80	100	120

З урахуванням вказаних властивостей алмазним шліфпорошкам АС50, АС80 присвоєна вища категорія якості. Ці порошки призначені для виготовлення інструментів на металевих зв'язках, які застосовуються при обробці будівельних матеріалів, кераміки, кварцового скла, виробництва геологорозвідницьких коронки. Порошки вказаних марок можуть бути рекомендовані для виготовлення виправного інструменту різноманітних видів, а також для використання при виготовленні високоефективних композиційних матеріалів.

Висновки

Таким чином, з проведених досліджень можна зробити висновок, що міцність алмазних шліфпорошків можна контролювати на основі вимірювання коефіцієнту k , який визначається за формулою 2. У якості апарату, який використовується для механічної обробки порошків, може слугувати вихровий апарат ІНМ, а також типу АВС.

Особливості порошків АС50, АС80 (тобто, підвищена міцність, висока ізометричність, переважно гладкі грані кристалів та ін.) обумовлюють необхідність створення нових зв'язок, які забезпечили

б надійне утримання зерен в інструменті, а також проведення досліджень з вибору оптимальних складів зв'язок для кожної з вказаних марок.

Алмазні зерна, що випускаються фірмою Де Бірс, за прийнятою в Україні класифікацією можуть досягати міцності порядку АС200-АС250. Такі міцні алмазні зерна разом із запропонованим способом формування на них різального субмікрорельєфу, можуть відкрити широкі перспективи підвищення ефективності алмазного шліфування надтвердих матеріалів.

Список літератури

1. Семко М. Ф., Грабченко А. И., Раб А. Ф., Узунян М. Д., Пивоваров М. С. Основы алмазного шлифования. Киев. Техника. 1978. 192 с.
2. Федорович В. А. Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: Дисс. доктора технических наук. 05.03.01. Харьков. 2003. 394 с.
3. Сушко О. В. Аналіз властивостей алмазних зерен в абразивних інструментах. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2016. Вип. 17. Т. 2. С. 77–81.
4. Новиков Н. В., Андросов И. М., Майстренко А. Л. Методика определения прочности и трещиностойкости поликристаллических сверхтвердых материалов. Сверхтвердые материалы. 1982. № 2. С. 33–37.
5. Тарасенко В. В., Сушко О. В. Аналіз існуючих теорій руйнування крихких матеріалів. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 131–139.
6. Сушко О. В. Методика рекуперації алмазного порошку з алмазоносного шару шліфувальних кругів. Праці ТДАТУ. Мелітополь. 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 117–124.
7. Сушко О. В. Визначення питомого зносу та коефіцієнту використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен шліфувальних кругів. Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 21–23.
8. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.

References

1. Semko, N. F., Grabchenko, A. S., Rab, A. F., Uzunyan, N. D., Pivovarov, M. S. (1978). Fundamentals of diamond grinding. Kiev. Technique. 192.
2. Fedorovich, V. A. (2001). Development of scientific bases and methods of practical implementation of control adaptability at diamond grinding of superhard materials]. doctor of technical Sciences. 05.03.01. Kharkov. 394.
3. Sushko, O. V. (2016). Analysis of the properties of the diamond grains in the abrasive tools. Labour TNATU. Melitopol. Vol. 17. Iss. 2. 77–81.
4. Novikov, N. V., Androsoy, S. M., Maystrenko, A. L. (1982). Method of determining the strength and fracture toughness of polycrystalline superhard materials. Superhard materials. No 2. 33–37.
5. Tarasenko, V. V., Sushko, O. V. (2016). Analysis of the existing theories of the fracture of brittle materials. Labour TNATU. Melitopol. Vol. 16. Iss. 2. 131–139.

6. *Sushko, O. V. (2017). Methodology of recuperation of diamond powder from diamond layer of the grinding wheels. Labour TNATU. Melitopol. Vol. 17. Iss. 3. 117–124.*
7. *Sushko, O. V. (2017). Determination of the specific wear and coefficient of utilization potential of cutting properties of the diamond grains on grinding wheels. Materials XI International scientific-practical conference "problems of design, production and operation of agricultural equipment". Kropyvnyts'ke: CSTS. 21–23.*
8. *Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.*

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЗЕРЕН АЛМАЗОНОСНОГО СЛОЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

О. В. Сушко

Аннотация. Проблема эффективности обработки синтетических сверхтвердых материалов (СТМ) остается на данный момент достаточно актуальной. С целью повышения работоспособности алмазных кругов была поставлена задача выявить оптимальное сочетание марок, зернистостей, концентраций алмазных порошков с типом металлической связки, обеспечивающих минимальную дефектность спеченных шлифовальных кругов (с точки зрения определения условий максимального сохранения целостности зерен). В данной работе приведена методика определения динамической прочности зерен алмазноносного слоя шлифовальных кругов с целью выбора оптимального сочетания связок и повышения эффективности алмазного шлифования.

Ключевые слова: *сверхтвердые материалы, шлифовальные круги, алмазные зерна, динамическая прочность, алмазно-металлические композиции*

TECHNIQUE OF DEFINITION OF DYNAMIC STRENGTH GRAINS OF DIAMOND-BEARING LAYER

O. V. Sushko

Abstract. *The problem of the effectiveness of processing synthetic super hard materials remains to this day very relevant. In order to increase the robustness of diamond circles, the task was to find the optimal combination of grades, grains, concentrations of diamond powders with the type of metal bond, which ensure the minimum defect of sintered grinding wheels (in terms of determining the conditions for maximum preservation of the integrity of the grains). In this paper, the method of determining the dynamic strength of grains of the diamond-bearing layer of grinding wheels is given in order to select the optimal composition of the bond and increase the effectiveness of diamond grinding.*

Key words: *superhard materials, grinding wheels, diamond grain, dynamic strength of diamond-metal compositions*

ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ МАШИНИ ДЛЯ МУЛЬЧУВАННЯ ПРИСТОВБУРНИХ СМУГ У БАГАТОРІЧНИХ ПЛОДОВИХ НАСАДЖЕННЯХ

І. В. Тимошок, кандидат технічних наук

ORCID: 0000-0003-3830-0407

Інститут садівництва НААН України,

Р. В. Шатров, кандидат технічних наук

ORCID: 0000-0002-3596-0146

Національний університет біоресурсів і

природокористування України

e-mail: sad-institut@ukr.net, RVSatrov@outlook.com

Анотація. Відмічено недоліки існуючих технологій утримання ґрунту в багаторічних плодових насадженнях із застосуванням гербіцидів, обґрунтовано доцільність і переваги укриття пристовбурних смуг мульчею у вигляді сипкого субстрату. Сформульовано мету, представлено методику та програму експериментальних досліджень і наведено їх результати. Досліджено протікання процесу транспортування та розподілу мульчі по поверхні ґрунту. Визначено оптимальні конструктивні параметри та режим роботи складових механізмів машини, дотримання яких забезпечує необхідну якість виконання даної технологічної операції.

Ключові слова: *пристовбурні смуги, гербіцидний пар, мульчування, машина, транспортери, режим роботи, розподіл мульчі, продуктивність, норма внесення, якісні показники*

Постановка проблеми. Найбільш поширеними методами утримання ґрунту в садах є задерніння міжрядь і чорний пар у пристовбурних смугах шириною 1,0–1,6 м. При застосуванні останнього в перші 2 роки після посадки рекомендується проводити механічний обробіток ґрунту, а в подальшому використовувати гербіциди 2–3 рази за сезон [1, 2].

Однак застосування гербіцидного пару, поряд із позитивними моментами, характеризується рядом істотних недоліків: швидка втрата вологи у посушливий період з незахищеної поверхні; утворення після дощу поверхневої кірки, що перешкоджає збагаченню ґрунту повітрям; необхідність регулярного підживлення рослин мінеральними добривами через відсутність поповнення його

© І. В. Тимошок, Р. В. Шатров, 2018

поживними речовинами за рахунок розкладу рослинних решток, яке відбувається, наприклад, при використанні механічних засобів обробітку; забруднення навколишнього середовища хімічними речовинами, котрі, потрапляючи на листя дерев, можуть пригнічувати їх розвиток, а накопичуючись у плодах, зашкодити здоров'ю споживачів та ін. [3, 4].

На сьогоднішній день альтернативним способом підтримання ґрунту в оптимальному стані з точки зору фізіології рослин, зменшення забруднення навколишнього середовища та підвищення якості плодів є укриття міжстовбурних смуг мульчувальним субстратом. Матеріалом для цього можуть бути тирса, стружка, треста льону, подрібнені гілки, трава, солома або їх суміш, використані грибний субстрат, підстилка для утримання тварин і т. ін.

Мульча зменшує випаровування вологи, захищає корені рослин від підмерзання взимку, сприяє покращенню структури ґрунту, підсилює мікробіологічні процеси в ньому, послаблює добові коливання температури, пригнічує проростання бур'янів і як результат поліпшує товарну якість плодів, позитивно впливає на їх зберігання і т. д. [5–12].

Однією з причин, які стримують розповсюдження даної технології, є відсутність в Україні спеціальних засобів механізації для її реалізації.

Метою досліджень було підвищити продуктивність та якість внесення мульчувального субстрату у пристовбурні смуги багаторічних плодових насаджень шляхом розробки ефективного засобу механізації та обґрунтування оптимальних параметрів його роботи при виконанні даної операції.

Результати досліджень. Лабораторно-польові досліді проводилися з урахуванням агротехнічних технологічних і техніко-економічних вимог, апріорної інформації та висновків, зроблених на підставі інженерних розрахунків. Обробку та аналіз отриманих даних виконували із застосуванням методів математичної статистики.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося визначення: продуктивності живильного та поперечного транспортерів, геометричних параметрів останнього, відстані укладання мульчі у валок в залежності від висоти його розміщення над поверхнею ґрунту і швидкості обертання приводного барабана, норми внесення мульчі при зміні режиму роботи агрегату і його складових механізмів.

Для проведення досліджень було розроблено та виготовлено дослідний зразок машини, яка монтується на розкидач твердих органічних добрив типу РОУ-6 (рис. 1). Машина складається з приймального бункера 1, стрічкового поперечного транспортера 2,

навішувального пристрою 3, механізму передачі крутного моменту 4 та допоміжного обладнання, а розкидач – із кузова 5, повздовжнього ланцюгово-планкового (живильного) транспортера з барабаном його зрушення 6, подрібнювально-дозувального механізму 7 і механізму приведення в дію робочих органів 8.

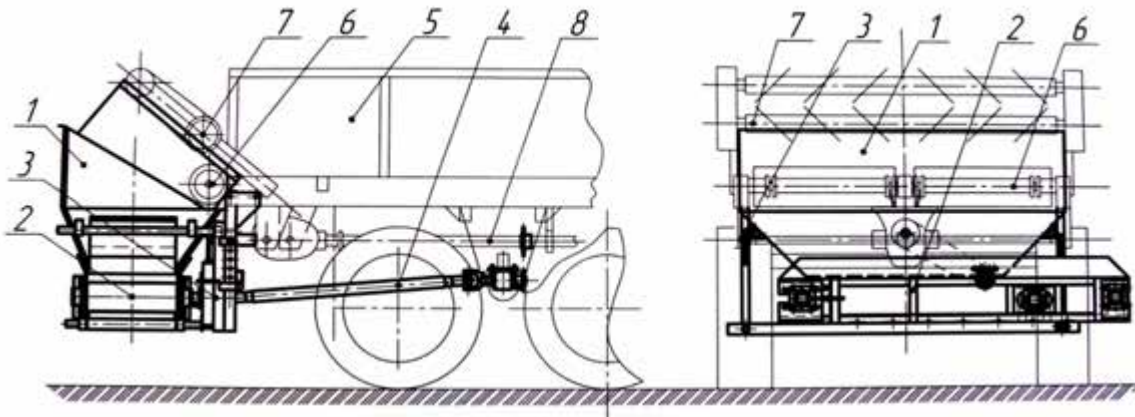


Рис. 1. Схематичне зображення агрегату для внесення мульчувального субстрату у пристовбурні смуги багаторічних плодових насаджень.

Конструкція навішувального пристрою дозволяє без особливих зусиль навішувати і демонтувати машину, що робить розкидач більш універсальним у використанні.

У процесі роботи агрегату мульча живильним транспортером подається через подрібнювально-дозувальний механізм у бункер машини. Потім подрібнена маса стрічковим транспортером переміщується в зону розташування стовбурів дерев де з неї формується валок потрібних розмірів.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що продуктивність живильного та поперечного транспортерів може змінюватись у межах від 1,2 до 9,0 і від 2,0 до 5,3 м³/хв. Відповідно при збільшенні швидкості обертання валу відбору потужності (ВВП) трактора, а також при переміщенні регулятора храпового механізму на вищу позначку (перший транспортер) і зміні положення дозувальної заслінки (другий) (рис. 2, рис. 3).

Отже, для запобігання не бажаному зайвому накопиченню субстрату у прийомному бункері машини продуктивність живильного транспортера не повинна перевищувати 5 м³/хв., що можливо при відповідному положенні храпового механізму.

Відстань укладання мульчі у валок відносно поперечного транспортера (рис. 4) може змінюватися від 0,40 до 1,30 м в залежності від висоти розміщення останнього над поверхнею ґрунту і швидкості обертання ВВП трактора. Цю залежність можна

використовувати для компенсації можливих відхилень траєкторії руху агрегату відносно осьової лінії ряду дерев у процесі виконання операції з тим, щоб забезпечити необхідну точність укладання валка.

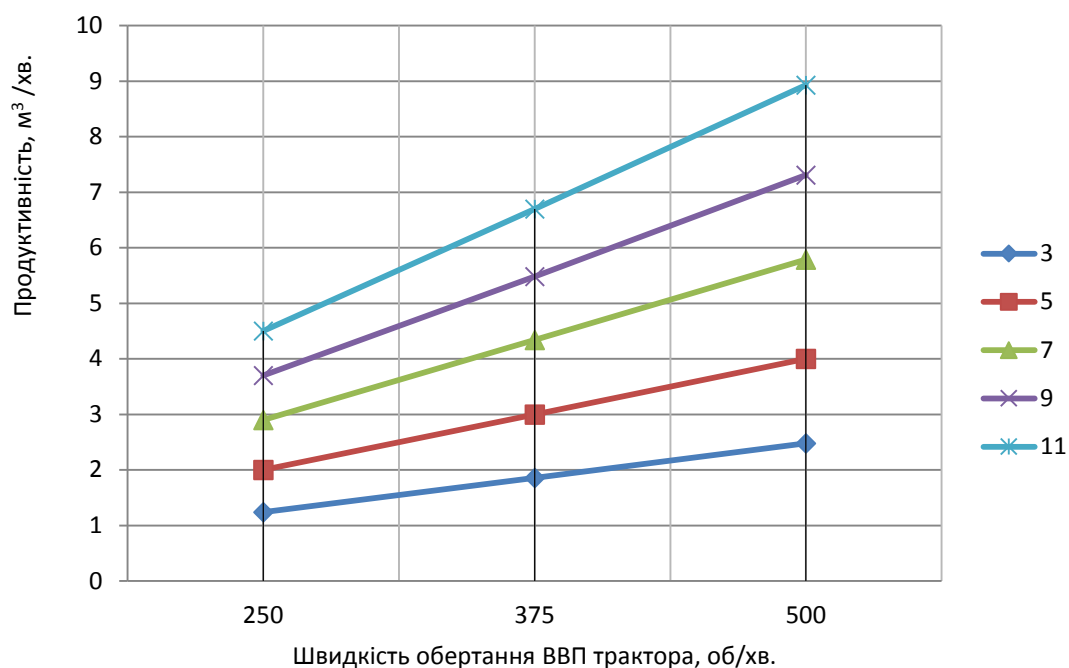


Рис. 2. Зміна продуктивності живильного транспортера базової машини в залежності від положення храпового механізму та швидкості обертання ВВП трактора. 3, 5, 7, 9, 11 – положення ексцентрика храпового механізму.

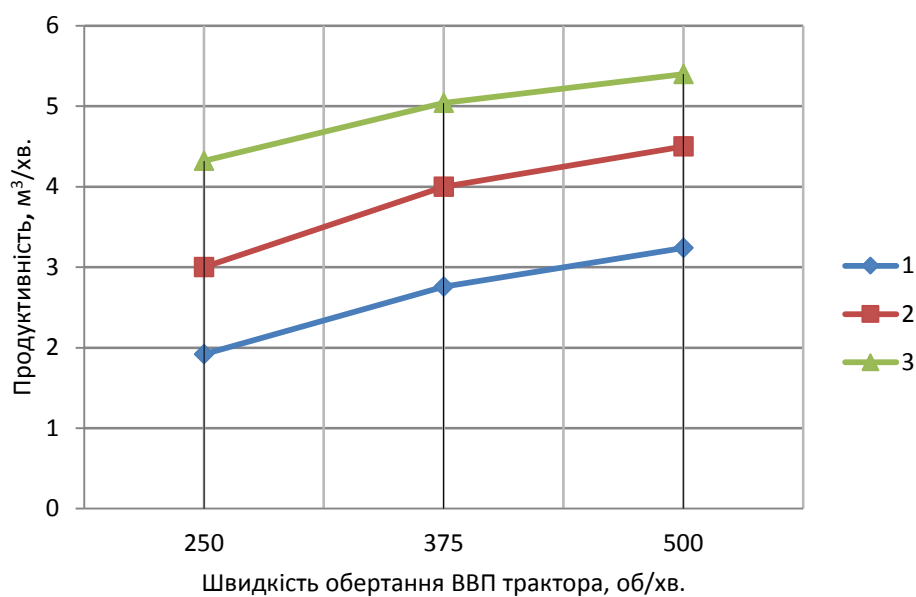


Рис. 3. Зміна продуктивності поперечного транспортера машини в залежності від положення дозувальної заслінки та швидкості обертання ВВП трактора. 1, 2, 3 – позиції зміни положення заслінки.

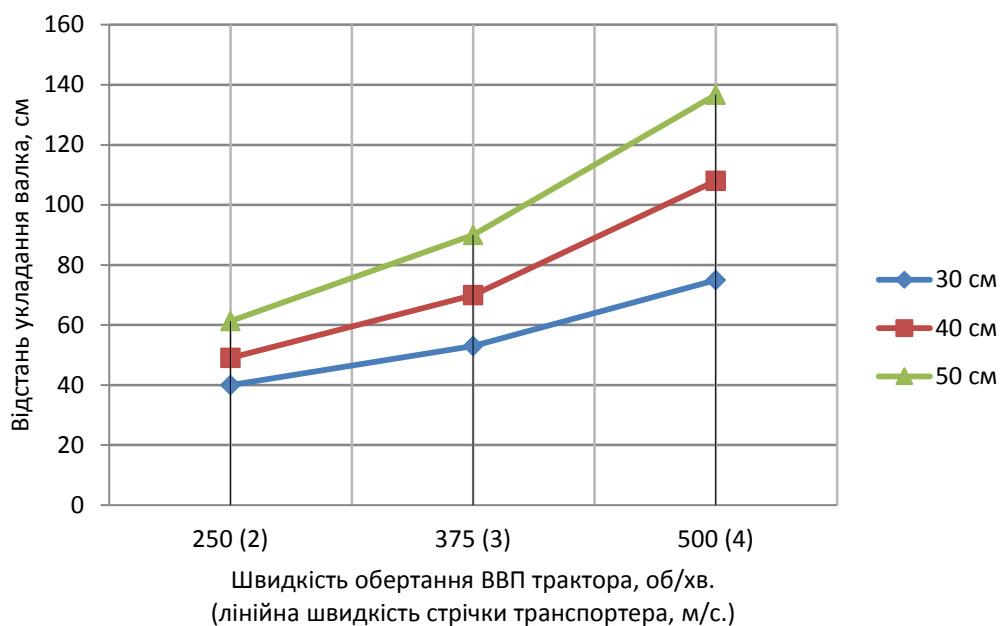


Рис. 4. Зміна відстані укладання валка відносно поперечного транспортера в залежності від висоти розміщення його над поверхнею ґрунту і швидкості обертання ВВП трактора. 30, 40, 50 см – висота розміщення транспортера.

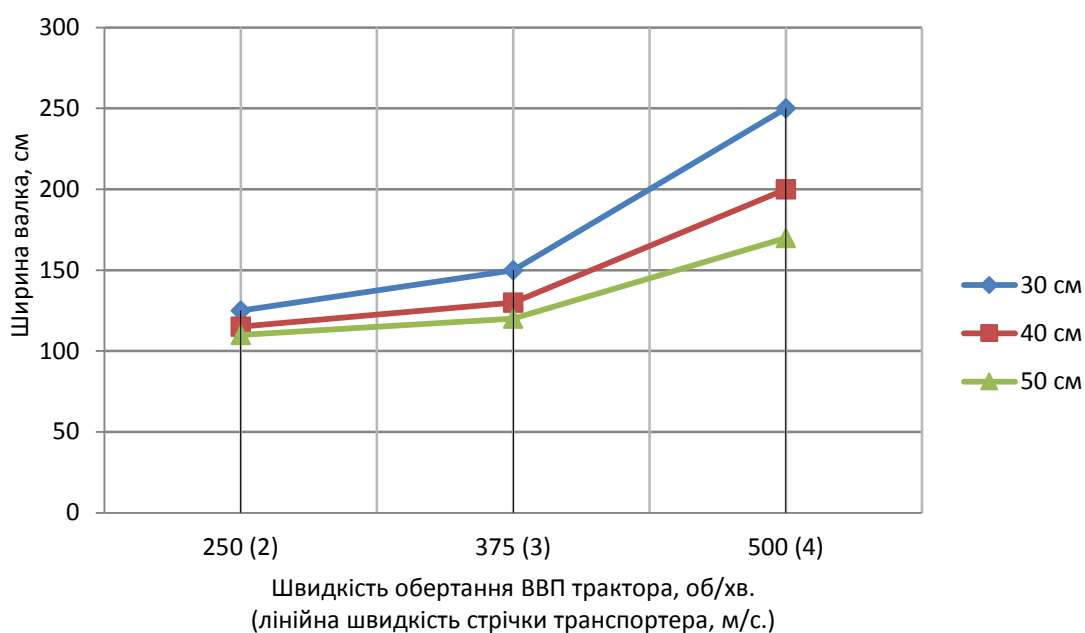


Рис. 5. Зміна ширини валка субстрату в залежності від швидкості обертання ВВП трактора та висоти розміщення поперечного транспортера над поверхнею ґрунту. 30, 40, 50 см – зміна висоти розміщення транспортера над поверхнею ґрунту.

Від зміни швидкості ВВП трактора, а значить і від швидкості руху стрічки поперечного транспортера залежить і ширина валка. Остання

може коливатися в інтервалі від 0,8 до 2,5 м при зміні швидкості обертання ВВП від 250 до 500 об/хв. (рис. 5). При цьому ширина валка збільшується при зменшенні висоти розміщення транспортера над поверхнею ґрунту і збільшенні частоти обертання ВВП трактора. Беручи до уваги чинні агротехнічні вимоги (ширина валка не повинна перевищувати 1,5 м), рекомендована швидкість руху стрічки транспортера має становити 2,0–3,0 м/с. Це відповідає швидкості обертання ВВП трактора з частотою 250–375 хв⁻¹.

Необхідна норма внесення субстрату (рис. 6) забезпечується підбором оптимальної робочої швидкості руху агрегату і продуктивності живильного транспортера і може становити 0,03–0,25 м³/м², причому зміна тих же параметрів дозволяє в залежності від потреб змінювати висоту валка в межах 0,05–0,15 м.

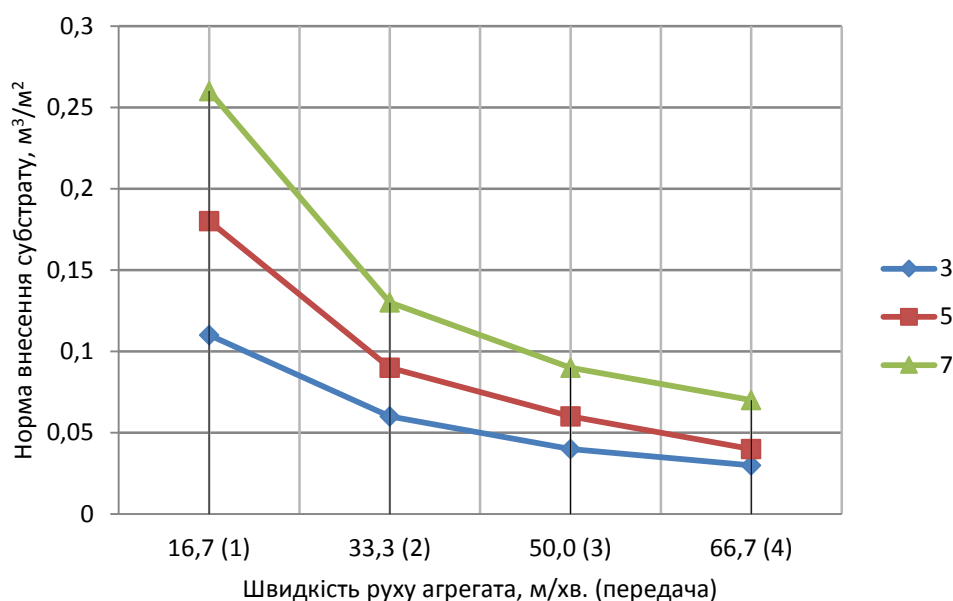


Рис. 6. Зміна норми внесення субстрату в залежності від положення ексцентрика храпового механізму та швидкості руху агрегату. 3, 5, 7 – положення ексцентрика.

Виробничі випробування (рис. 7) проводились у садових насадженнях Інституту садівництва НААН з шириною міжрядь 5,0 м на площі 0,5 га.

Як субстрат використовували три різні за фізичними властивостями речовини:

- свіжу тирсу вологістю та насипною щільністю відповідно 30% і 250 кг/м³;
- злежану тирсу з відповідними показниками 48% і 470 кг/м³;
- використаний грибний субстрат (відповідно 65% та 590 кг/м³).

Агрегат працював у 2-х режимах з нормами внесення субстрату 0,05 та 0,10 м³/м². Вони забезпечувалися швидкістю руху агрегату відповідно 1,2 та 0,5 м/с і продуктивністю живильного транспортера базової машини близько 2,5 м³/хв. Остання досягалась встановленням регулятора храпового механізму приводу вказаного транспортера в районі п'ятої позначки.

За даними випробувань, відхилення фактичної норми внесення від заданої не перевищувало 12 %, середня ширина й висота укритого валка склали відповідно 1,30 та 0,048 м при першому та 1,10 та 0,095 м при другому режимі роботи.

З усіма згаданими типами субстратів машина працювала стабільно. Пошкоджень дерев не відбувалось.



Рис. 7. Макетний зразок машини для внесення сипкого субстрату в пристовбурні смуги саду у процесі проведення виробничих випробувань

Продуктивність машини за годину основного часу становила близько 2,0, змінного – 0,5 га. При цьому коефіцієнт надійності виконання технологічного процесу становив 0,99, а використання змінного часу – 0,40. Експлуатаційно-технологічні показники визначалися, виходячи з умов роботи машини в саду з шириною міжряддя 5,0 м, робочій швидкості 4,2 км/год при нормі внесення субстрату 160 м³/га.

Втрати субстрату за будь-якого режиму роботи агрегату не перевищували 0,5%.

Висновок. Дослідження показали, що дотримання визначених робочих діапазонів та оптимального режиму робочих органів машини та агрегату в цілому забезпечує виконання технологічної операції

відповідно до чинних агровимог з високими якісними показниками. Так, відхилення фактичних норм внесення субстрату, а також ширини та висоти укривного валка від заданих не перевищує відповідно 12, 10 і 15%.

Список літератури

1. Анциферов Ф. Е., Ярошенко Л. И., Теплинский И. В. Машины для садоводства. Ленинград. Лениздат. 1990. С. 303.
2. Кутейников В. К., Лосев Н. П., Четвертаков А. В. Механизация работ в садоводстве. Москва. Колос. 1983. С. 317.
3. Славінський В. Особливості поверхневого обробітку ґрунту в садах за інтенсивною технологією із застосуванням крапельного зрошення. Техніка АПК. 2008. №9, 10. С. 37–38.
4. Пчелкина Н. Г. Раундап в интенсивном яблоневом саду на юге Украины. Садоводство и виноградарство. 2004. № 4. С. 12.
5. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Rogovskiy I. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
6. Дадыкин В. Накормить сад. Наука и жизнь. 2003. № 5. С. 122–127.
7. Лисанюк В. Г. Якщо про яблуньку по-батьківськи подбаєш, вона віддячить щедрим урожаєм. Сад, виноград і вино України. 2005. № 8. С. 12–25.
8. Федосеев Р. У ліс по ... добрива. Новини захисту рослин. Щоквартальний додаток до журналу „Пропозиція”. 1999. С. 11.
9. Клименко С. В. Кто не поважає мульчу, той не знає ціни гумусу. Дім, сад, город. 2004. №5. С. 12–14.
10. Грошавень Е. Зачем саду «мясорубка»? Приусадебное хозяйство. 2006. № 5. С. 20–21.
11. Соломахин А. А., Алиев Т. Г. Перспективная обработка приствольных полос в семечковых садах. Садоводство и виноградарство. 2006. №5. С. 10–12.
12. Тітова Л. Л., Rogovskiy I. Л. Аналіз періодичності техобслуговування машин для лісотехнічних робіт. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 322–328.

References

1. Antsiferov, F. E., Yaroshenko, L. S., Teplinskaya, S. V. (1990). Machines for garden. Leningrad. Lenizdat. 303.
2. Kuteinikov, V. K., Losev, N. P., Chetvertakov, A. V. (1983). Mechanization of work in horticulture. Moscow. Ear. 317.
3. Slavinsky, V. (2008). Peculiarities of surface cultivation of soil in gardens on intensive technology using drip irrigation. Technique APK. No 9, 10. 37–38.
4. Pchelkina, N. (2004). The city of roundup in the intensive apple orchard in the South of Ukraine. Horticulture and viticulture. No 4. 12.
5. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.
6. Dadykin, V. (2003). Feed the garden. Science and life. No 5. 122–127.
7. Lisanyuk, V. G. (2005). If about Apple tree paternal care, it will pay back with a generous harvest. Garden, grapes and wine of Ukraine. No 8. 12–25.

8. Fedoseev, G. (1999). In the woods for ... fertilizer. News of plant protection. Quarterly Supplement to "the Proposal". 11.
9. Klimenko, S. V. (2004). Who does not respect the mulch, he does not know the value of humus. The house, garden, kitchen garden. No 5. 12–14.
10. Groshaven, E. (2006). Why the garden "grinder"? Garden land. No 5. 20–21.
11. Solomakhin, A. A., Aliev, T. G. (2006). Promising treatment around trunks in the seed gardens. Horticulture and viticulture. No 5. 10–12.
12. Titova, L. L., Rogovskii, I. L. (2015). Analysis of frequency of maintenance of machinery for forestry work. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 212. Part 1. 322–328.

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ МАШИН ДЛЯ МУЛЬЧИРОВАНИЯ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ВО МНОГОЛЕТНИХ ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

И. В. Тимошок, Р. В. Шатров

Аннотация. *Отмечены недостатки применения нынешней технологии содержания почвы во многолетних плодовых насаждениях под гербицидным паром, и обоснованы целесообразность и преимущества укрытия её мульчей в виде сыпучего субстрата в приствольных полосах. Сформулирована цель, и представлены методика и программа экспериментальных исследований процесса транспортирования и распределения мульчи по поверхности почвы, и приведены их результаты. Определены оптимальные конструктивные параметры и режимы работы составляющих механизмов машины для выполнения данной технологической операции, соблюдение которых обеспечивает высокое качество работ.*

Ключевые слова: *приствольные полосы, гербицидный пар, мульчирование, машина, транспортёры, режим работы, распределение мульчи, производительность, норма внесения, качественные показатели*

QUALITATIVE PERFORMANCE OF MACHINES FOR MULCHING ROUND-OF-TRUNK BELTS IN PERENNIAL FRUIT PLANTINGS

I. V. Tymoshok, R. V. Shatrov

Abstract. *The authors have noted the drawbacks of the present technology for the soil management in perennial fruit orchards using the herbicide fallow and substantiated the expediency and advantages of covering it with mulch in the form of dispersible substrate in round-of-trunk belts. The purpose has been formulated as well as the methods and program of experimental researches and their results presented. The optimum constructive parameters and regime of the work of the machine*

components have been determined. Following those parameters and regime ensures high quality.

Key words: *round-of-trunk belts, mulching, machine, conveyors, work regime, mulch distribution, productivity, qualitative indices*

УДК 658.382(075.8)

ANALYSIS OF STATISTICAL ASSESSMENT OF DOMESTIC FACTORS OF ENVIRONMENT BY STUDENTS IN PERIOD OF GROWTH OF EMERGENCY SITUATION OF SOCIO-POLITICAL CHARACTER

L. E. Piskunova, Ph.D., ORCID 0000-0002-6957-1619

T. O. Zubok, Ph.D., ORCID 0000-0002-6957-1620

Yu. V. Sukhomlin, student, ORCID 0000-0002-6957-1621

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

e-mail: tanyzubok@gmail.com

Abstract. *To identify transformation of values and prioritization of young people, social survey was conducted by questioning students of various faculties of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. With help of statistical assessment, the damaging factors of the environment were determined during a period of growing social and political emergencies. The influence of prolonged action of dangerous and harmful factors on human life is considered. The distribution of the orientation of values of modern Ukrainian youth relative to the priority of various types of factors in the distribution of points relative to the statistical assessment of dangerous and harmful factors for human life is investigated. Grades given by students have been processed and thus deduced into an average assessment of certain factor. Also, the relative share for each harmful and dangerous factor in total number of others is calculated. A separate unit explored the "Loss of health in hazardous production" factor, which made it possible to identify certain changes in distribution of priority regarding production hazards through years. The attitude to harmful and dangerous factors is analyzed, depending on place of residence, gender and direction of students' preparation. The advantage in giving points to individual factors among groups of students from different faculties has been revealed and patterns of selection of highest and lowest ratings for certain factors have been traced.*

© L. E. Piskunova, T. O. Zubok, Yu. V. Sukhomlin, 2018

Key words: *damaging factors, dangerous and harmful factors, statistical evaluation, sociological survey*

Introduction. On his way of life, a person is constantly in danger. Any sphere related to the environment and social reality is potentially dangerous. Emergencies can be of a different nature. They are caused by various striking factors that have a natural, technogenic, socio-political basis [3].

Formulation of problem. Analysis of Emergencies (NA) shows that 75-80% of cases are related to human activities and are caused by reasons of social nature. Socio-political dangers – the result of existing contradictions in society itself [3].

Analysis of recent research results. The cause of emergency socio-political is an imbalance of social, economic, political, ethnic, religious relations, causing social tension – unemployment, corruption, inflation, food problems, social and domestic disorder and, as shown by recent researches in the East of our country, mas prolonged exposure to these factors leads to physiological and mes disorder, government crises, terrorism, war [1–4].

Intal fatigue of people, depression, suicide, or attempts to sublimate the accumulated negative energy going to active participation in the socio-political and military conflicts [1].

Purpose of research. The purpose of our work was to study and identify the dangerous and harmful factors for human life through sociological survey of students depending on various factors using the score system. We paid special attention to the most urgent (on the background of recent events in our country): the threat to the NA – the socio-political situation that arises as a result of the emergence of dangerous contradictions in the field of social relations, which has already caused human casualties, caused damage to people's health, entailed one million losses.

Results of research. Students were asked to evaluate the danger to life of the inhabitant of Ukraine of the 35 factors listed in Table 1 on the following scale: the most dangerous factor (in the student's opinion) was estimated at 35 points, followed by 34,33,32 and the last, which is considered the least dangerous – in 1 point.

During the study, a special questionnaire was used, the components of which were various risk factors: man-made, social, natural, ecological, household.

Of course, having a different life experience, students evaluate the risk of this or that factor differently, so the results should be statistically processed. For each factor, the number of points that students have given are divided by the number of respondents, and the resulting value is an

average estimate of the danger of a factor: what is more, the more dangerous it is. An average assessment of the dangers of the n/a factor to the number of interviewed students. Assuming that the listed factors cover all the dangers to human life, one can also estimate the relative share (in percentages) of each factor in the total number of undesirable consequences. The results are entered in the questionnaire.

1. Statistical estimation of dangerous and harmful factors for human life [1].

No	Factors	Individual score	Average score	Comparative quota
1	Necessary medical aid			
2	Welfare			
3	Safety of own property			
4	Provision of information			
5	Protection from arbitrariness of local government			
6	Unemployment			
7	Consumption of alcoholic beverages			
8	Loss of health in hazardous production			
9	Usage of food with low quality			
10	Lack of needed food			
11	Infectious diseases			
12	Smoking			
13	Medicines			
14	Narcotic substances			
15	Presence of radioactive substances in air, water, soil			
16	Presence of radioactive substances in food			
17	Presence of chemicals in the air, water, soil			
18	Presence of chemicals in food			
19	Air transport			
20	Automobile transport			
21	Nuclear power engineering			
22	National conflicts			
23	Domestic injuries			
24	Rising prices			
25	Fires			
26	Suicide			
27	AIDS			
28	Sports and mass events			
29	Natural disasters			
30	Personal concerns and concerns			
31	Terrorism			
32	Unprofessional medical care			

End of table 1

No	Factors	Individual score	Average score	Comparative quota
33	Surgical intervention			
34	Diseases associated with the presence of radioactive substances in the environment			
35	Diseases related to the presence of chemicals in the environment			

Interviewed students of different faculties: economic, juridical, forestry, water bioresources, veterinary, technical, agrobiological, plant protection, pedagogical. In this work we used data from research 2007-2008 [2] for comparison. Over the years, students have put the highest scores at risk such as: AIDS, narcotics, and the consumption of alcoholic beverages. Among the man-made hazards are the presence of radioactive and chemical substances in the air, water and soil, road transport.

Already in those years there was a difference in providing the highest points to the dangers of students from different faculties. In the departments of land management, juridical, economic, veterinary dangerous factors that have received the highest marks – narcotic substances, medical drugs, suicide. At the forestry, technical, agrobiological, the most dangerous factors – the use of alcoholic beverages, narcotics, natural disasters. There was also a difference in the comparative assessment of students, depending on their place of living. Students living in Western Ukraine exhibited high marks for unemployment, suicide, students living in the East - narcotic substances, alcohol use, murder and intentional injuries.

Results from researches in 2017–2018 suggest that, if you do not take into account gender, age, year of research, man-made and social dangers are pointed by students as the most dangerous. In the first place among the man-caused hazards: road transport, the presence of radioactive and chemical substances in the air, water and soil. Among the social - the use of alcohol, unemployment, suicide, national conflicts.

The results obtained in 2017 are highlighted. Students highlighted with the highest points national conflicts, terrorism. Such assessments, of course, explain the events of the present.

As a separate unit was investigated the factor "Loss of health in hazardous production". The data obtained show that during 2016–2018, students radically changed their minds: for this factor the points significantly increased comparing to the statistical estimate of 2007–2008 and amounted to 28–31 points, while the points for previous years were 12–18. Such a striking change in the assessment of students can be explained by the great contribution to the development of the concept of

the orientation of the values of the individual, which brought new conditions for the economic development of Ukrainian society, in particular of young people, which predetermined early employment with the subsequent acquisition of professional skills. The fact that the number of young people starting to work as a student, the perception of the dangers associated with production becomes more significant for many of them. There is a clear dependence on the awareness of the importance of maintaining health in hazardous production in the process of working life of working youth and young people who were not involved in any production process.

The next important factor that influenced the dynamics of points growth in assessing the risks associated with occupational risks is the easier availability of information space that expanded the vision of a modern student on such important issues as: fatigue, occupational injuries, occupational diseases. The availability of information sources enables students to identify certain occupational hazards and develop a plan to avoid them. So, the International Labor Organization (ILO-ILO) solemnized the International Labor Day on April 28, 2018 under the motto "Protected and Healthy Generation," which had a positive impact on student awareness when giving high scores during the assessment of "Loss of Health in Dangerous Production".

On the next stage of our work, we compared the statistical estimates of the striking factors of the students of various faculties. There is a striking difference between the various faculties in providing the highest points of danger. On the juridical, veterinary, economic, pedagogical, faculty of management, land management the highest points were received – suicide, terrorism, narcotic substances, medical preparations – 35, 34, 33, 32 respectively. At the forestry, agrobiological, technical, faculty of plant protection, water bioresources – national conflicts, alcohol use, unemployment, narcotic substances.

We draw attention to the fact that, for no secret, in such faculties as juridical, economic, etc. are studying students from more well-to-do families, but for some reason the most dangerous point was the factor of suicide.

Also, due to the large number of processed cards, we were able to compare the statistical estimates depending on the place of residence. Students living in Volyn, Transcarpathian, Rivne, Khmelnytsky regions identified the most dangerous factors – national conflicts, unemployment, natural disasters, increasing of prices.

Students from the Kharkiv, Lugansk, Donetsk, Zaporozhye oblasts scored the highest points – narcotic substances, alcohol use, killing and intentional injuries, domestic injuries. We paid particular attention to the fact that students did not seem to have taken into account at all some

factors like national conflicts or terrorism, and more precisely, for example, if students from the western regions - conflicts, terrorism were evaluated on average in 31–32 points, students from the eastern regions assessed these dangers in 14–16 points.

Also, there was a peculiarity in providing statistical assessments by women and men. At many faculties, students exhibit high scores for factors such as unemployment, price increase.

Conclusions. Returning to the results of the characteristics of factors done by students, depending on the year, let's note that, even in 2008-2009, such a factor as national conflicts began to increase sharply on the scale, although this danger in those years was not appropriate for Ukraine. In our opinion, the dangers of socio-political nature are determined by the conditions of people's lives. The worse they are, the higher the level of social discontent and the more difficult it is to stimulate it. The dangers of this are of a hidden nature and are manifested in the presence of certain unpredictable conditions that deepen them and transform them into extreme dangers. If this danger is not localized or predicted, it will turn into an emergency.

References

1. Yaremko, Z. M. (2005). Safety of life: teaching. Tutorial: Center for Educational Literature. 38–40.
2. Piskunova, L. E. (2008). Comparative characteristic of statistical estimations of hazardous and harmful environmental factors by students of National Agrarian University. Scientific herald of NAU. Issue 125. 111–115.
3. Prachominik, N. A., Klimenko, F. T. (2014). Emergencies of socio-political nature. Problems of labor protection, industrial and civil security. Collection of Materials of the Tenth All-Ukrainian Scientific and Methodological Conference. Kyiv. Osnova. 268–272.
4. Wacław Romaniuk, Victor Polishchuk, Andrzej Marczyk, Liudmyla Titova, Ivan Rogovskii, Kinga Borek. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. Vol. 22. № 1. 105–125. doi:10.1515/agriceng-2018-0010.

Список літератури

1. Яремко З. М. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник. Київ. Центр навчальної літератури. 2005. С. 38–40.
2. Піскунова Л. Е. Порівняльна характеристика статистичних оцінок небезпечних та шкідливих факторів довкілля студентами Національного аграрного університету. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2008. Вип. 125. С. 111–115.
3. Праховнік Н. А., Клименко Ф. Т. Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру. Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки. Збірник матеріалів десятої всеукраїнської науково-методичної конференції. Київ. Основа. 2014. С. 268–272.

4. Wacław Romaniuk, Victor Polishchuk, Andrzej Marczuk, Liudmyla Titova, Ivan Rogovskii, Kinga Borek. Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. Agricultural Engineering (wir.ptir.org). Krakow. Poland. 2018. Vol. 22. № 1. P. 105–125. doi:10.1515/agriceng-2018-0010.

АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНОЇ ОЦІНКИ УРАЖАЮЧИХ ФАКТОРІВ ДОВКІЛЛЯ СТУДЕНТАМИ В ПЕРІОД ЗРОСТАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ СОЦІАЛЬНО-ПОЛІТИЧНОГО ХАРАКТЕРУ

Л. Е. Піскунова, Т. О. Зубок, Ю. В. Сухомлин

Анотація. Для виявлення трансформації цінностей та розставлення пріоритетів у молоді, проводилось соціальне опитування шляхом анкетування студентів різних факультетів Національного університету біоресурсів і природокористування України. За допомогою статистичної оцінки визначались уражаючі фактори довкілля в період зростання надзвичайних ситуацій соціально-політичного характеру. Розглянуто вплив тривалої дії небезпечних та шкідливих чинників на життя людини. Досліджено розподіл орієнтації цінностей сучасної української молоді щодо пріоритетності різних видів чинників при розподілі за балами по відношенню до статистичної оцінки небезпечних і шкідливих чинників для життя людини. Оцінки, надані студентами, були оброблені і таким чином виведені в середню оцінку певного чинника. Також, обраховано відносну частку для кожного шкідливого та небезпечного чинника у сумарній кількості інших. Окремим блоком досліджувався чинник «Втрата здоров'я на небезпечному виробництві», що дало змогу виділити певні зміни у розподілі пріоритетності щодо виробничих небезпек упродовж років. Проаналізовано, залежно від місця проживання, статі та напряму підготовки студентів ставлення до шкідливих та небезпечних чинників. Виявлено перевагу у наданні балів окремим чинникам серед груп студентів із різних факультетів та прослідковано закономірності вибору найвищих та найнижчих оцінок певним факторам.

Ключові слова: уражаючі фактори, небезпечні та шкідливі чинники, статистична оцінка, соціологічне опитування

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ СТУДЕНТАМИ В ПЕРИОД РОСТА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ СОЦИАЛЬНО- ПОЛИТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА

Л. Е. Пискунова, Т. А. Зубок, Ю. В. Сухомлин

Аннотация. Для выявления трансформации ценностей и расстановка приоритетов у молодежи, проводился социальный

опрос путем анкетирования студентов различных факультетов Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. С помощью статистической оценки определялись поражающие факторы окружающей среды в период роста чрезвычайных ситуаций социально-политического характера. Рассмотрено влияние длительного действия опасных и вредных факторов на жизнь человека. Исследовано распределение ценностей ориентации современной украинской молодежи относительно приоритетности различных видов факторов при распределении по баллам по отношению к статистической оценки опасных и вредных факторов для жизни человека. Оценки, предоставленные студентами, были обработаны и таким образом выведены в среднюю оценку определенного фактора. Также, обчислено відносительную долю для каждого вредного и опасного фактора в суммарном количестве других. Отдельным блоком исследовался фактор «Потеря здоровья на опасном производстве», что позволило выделить определенные изменения в распределении приоритетности производственных опасностей на протяжении лет. Проанализированы, в зависимости от места проживания, пола и направления подготовки студентов отношение к вредным и опасным факторам. Выявлено преимущество в предоставлении баллов отдельным факторам среди групп студентов с различных факультетов и прослежены закономерности выбора самых высоких и самых низких оценок определенным факторам.

Ключевые слова: поражающие факторы, опасные и вредные факторы, статистическая оценка, социологический опрос

УДК 631.23.002

BASIC METHODOLOGICAL REQUIREMENTS TO TEST SET OF MACHINES FOR POULTRY

V. I. Rebenko, ORCID 0000-0001-6957-1367

I. L. Rogovskii, ORCID 0000-0002-6957-1616

**National University of Life and Environmental Sciences of Ukrainee-
e-mail: vicnb@ukr.net**

Abstract. The article summarizes the existing domestic, European and North American methodological requirements to test set of machines

© V. I. Rebenko, I. L. Rogovskii, 2018

for poultry. Characterized that the method of comparing the values of indicators in the subject of complex regulatory requirements and with relevant indicators for complex analog.

It is also established that the results of mathematical processing of measurement data used for comparison with the required values of technical specifications with the state acceptance tests (technical terms, if state periodic testing) for a decision on the conformity of the test complex technical requirements to technical specifications). There are two possible cases. Also, for comparison of parameters obtained in the prototype testing of complex equipment and complex analog calculate the significance of differences in means.

Recommendations from the results of testing complex take on the basis of results of comparison of values of indicators of the test of complex equipment technical requirements for supply, zootechnical requirements and values for complex analog.

Key words: *methodology, requirement, test, complex, machine for poultry*

Introduction. Poultry refers to those branches of agriculture, the development of which allows to rapidly improve the provision of the growing demand for high quality food products of animal origin [1].

Formulation of problem. The industry provides the population of energetically valuable food, is very attractive for investment, has a significant economic potential for development, but not actually used at full strength and needs state support, along with other livestock industries [2]. At the organizational echnologie features and timing of impact of capital investment the poultry industry is the most mobile compared to other livestock industries, is marked by precocity, high rates of reproduction of livestock and use of feed protein, relatively low power consumption, high level of mechanization and automation of production processes [3, 4].

Analysis of recent research results. Due to the high quality of products and a quick payback, this sector in all countries is a priority among livestock industries. Therefore, at the present stage the efficiency of production activities it is necessary to use the technical potential of the industry. The effective functioning and development of the poultry industry dedicated to scientific research of such domestic scientists [5–15]. The work of these scientists has made a significant contribution to the solution of practical aspects of this problem. But despite the rapid development of the poultry industry in the changing market environment, it is necessary to continue to study the specifics of functioning of the enterprises of the industry, to look for ways to improve its efficiency.

Purpose of research – to reveal the main methodological requirements to test a set of machines for poultry farming.

Results of research. Methods of energy evaluation. The energy assessment is carried out in accordance with ND 70.2.3. To register consumed electric energy is used three phase meters.

The test data was entered energy assessment will razrubanii forms.

Processing of results of direct measurements carried out by ND 70.2.3 with the requirements of DSTU 8.207.

A comparative assessment of electric machines is carried out according to ND 70.2.30 and 70.2.3.

The list of instruments used in energy assessment, is given in ND 70.2.3.

Methods of estimation of safety and ergonomics. Prior to testing carry out control of completeness of safety requirements in the design and operational documentation in accordance with DSTU 1.26, DSTU 2.607, ND 50-134.

The results of preliminary safety assessment when taking on complex tests make up the act which is agreed by the technical labour inspector of the Union.

Compliance safety and ergonomics set standards of the occupational safety and Schm, measured and valued according to the methods of the armed forces ND 76.2.33.

After completing operational tests to evaluate the persistence of fences, decals, painting, and finally determine the conformity of the complex safety requirements according to DSTU 12.2.042.

The results of the tests made according to ND 70.2.33.

When defining indicators of safety and ergonomics apply the devices recommended ND 70.2.33.

Methods of operational-technological diagnostics. Operational-technological evaluation result in the following production lines:

- feeding,
- loading and unloading birds,
- watering,
- removal of the placenta,
- the collection of eggs,
- creation of a microclimate,
- as well as on cellular equipment.

During the operational-technological evaluation determine:

- conditions and mode of operation,
- quality process execution,
- operational and technological indicators.

The main operational and technological indicators are:

- planting density (Goal./m²) for the whole complex,

- productivity per hour of basic, technological, replacement and maintenance time, respectively, on lines, t/h goal./h, t/h, 1000 eggs/h, m³/h, kJ,

- specific energy consumption, respectively, along the lines of kWh/ton, kWh/1000 goal., kWh/t kWh/1000 eggs kWh/m³, kWh/kJ,

- specific consumption of water, m³/1000 goal.

Additional operational and technological parameters are the coefficients:

- technology service,
- process reliability,
- preparation to work,
- every shift (daily) maintenance,
- use of shift time,
- use of operational time.

Operational and technological parameters is determined on the basis of the control changes using necessary normative-technical documentation.

For the control change receive period of the production line during the day. The duration of the control changes to production lines feeding, manure removal, egg collection, creating a microclimate at least 18 hours of shift time.

The number of control changes to the plant's watering – not less than 5. Timing observations carried out at the technological line as a whole.

To determine labor intensity and structure of labour costs carried out by the timing observations of the staff, when the subjects of the machines included in technological line, in comparison with analogues are fundamental structural changes concerning the automation of controls.

In the observation sheet indicate:

- number of staff by occupation,
- population served.
- the volume prepared and distributed to feed,
- the weight of the seized droppings,
- the number of eggs collected,
- the volume of submitted air,
- the main technological lines,
- time of operation of technological lines for elements,
- the amount spent of energy, materials, etc.

Productivity per 1 hour of time determined by the formula:

- for production lines feeding, manure removal, egg collection and the creation of a microclimate:

$$W_0 = \frac{F}{T_0}, \quad (1)$$

where: W_o – performance for hour regular time, in units of operating time, F – time processing line over a period of time observations, t, 1000 eggs, m^3 , kJ, T_o – main work for the period of time of observations, h,

- technological lines for watering:

$$W_{OK} = \frac{K}{T_{оп}}, \quad (2)$$

K – the number of accepted birds goal., $T_{ок}$ – time main job for the period of time of observation, hours.

The main technological lines of watering is determined by the formula:

$$T_{OK} = T_c \cdot T \sum_{i=1}^n t_i, \quad (3)$$

where: T_c – duration days, hours, n – the number of control changes, t_i – duration of i-th breakdowns (technological, technical, etc.) that caused the interruption of the technological process, during the period of time of observation, hours.

Productivity per 1 h of technology, replacement and operational time determined by the formula:

$$W_{Tex} = W_{o(OK)} \cdot K_{Tex}, \quad (4)$$

where: W_{Tex} – performance hour technological time, t, goal., 1000 eggs, m^3 , kJ, K_{Tex} – utilization of technological time.

$$W_{CM} = W_{o(OK)} \cdot K_{CM}, \quad (5)$$

where: W_{CM} – продуктивність за годину змінного часу, т, гол., 1000 шт. яєць, m^3 , кДж, K_{CM} – коефіцієнт використання змінного часу.

$$W_{EK} = W_{o(оп)} \cdot K_{EK}, \quad (6)$$

where: W_{EK} – productivity per hour of operating time, t, goal., 1000 eggs, m^3 , kJ, K_{EK} – utilization of operational time.

Utilization technology of time determined by the formula:

$$K_{Tex} = \left(\frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} - 1 \right)^{-1}, \quad (7)$$

where: K_2 – coefficient technology services, K_3 – coefficient of reliability of technological process.

The utilization of shift time is determined by the formula:

$$K_{CM} = \left(\frac{1}{K_{Tex}} + \frac{1}{K_5} + \frac{1}{K_7} - 2 \right)^{-1}, \quad (8)$$

where: K_5 – coefficient preparation to work, K_7 – coefficient of every shift (daily) maintenance.

Utilization of operational time is determined by the formula:

$$K_{EK} = \left(\frac{1}{K_{CM}} + \frac{1}{K_9} + \frac{1}{K_{10}} - 2 \right)^{-1}, \quad (9)$$

where: K_9 – coefficient periodic maintenance, K_{10} – availability of technological line (take according to the evaluation of reliability).

The coefficient of technological services is determined by the formula:

$$K_2 = \left(1 + \frac{T_2}{T_0} \right)^{-1}, \quad (10)$$

where: T_2 – time of technological downtime for the period of time of observation, hours.

The reliability coefficient of the technological process of the K3 is determined by the formula:

$$K_3 = (1 + \frac{T_3}{T_0})^{-1}, \quad (11)$$

where: T_3 – time for elimination of technological failures over a period of time observation hours.

Coefficient preparation is to work K_5 is determined by the formula:

$$K_5 = (1 + \frac{T_5}{T_0})^{-1}, \quad (12)$$

where: T_5 – in the preparation of the technological line to work over a period of time observation hours.

Factor every shift (daily) maintenance of K_7 is determined by the formula:

$$K_7 = (1 + \frac{T_7}{T_0})^{-1}, \quad (13)$$

where: T_7 – time every shift (daily) maintenance for the period of time of observation, hours.

The coefficient of the periodic maintenance K_9 is determined by the formula:

$$K_9 = (1 + \sum_{i=1}^n \frac{T_{9i}}{T_{\text{пери}}})^{-1}, \quad (14)$$

where: T_{9i} – the time to conduct the i-th periodic maintenance for the period of time of observations, hours, $T_{\text{пери}}$ – periodicity of the i-th periodic maintenance, hours.

Specific energy consumption q_e , determined by the formula:

$$q_e = \frac{Q_e}{F}, \quad (15)$$

or

$$q_e = \frac{Q_e}{K \cdot 10^{-3}}, \quad (15)$$

where: Q_e – the energy consumption for the period by the timing observations, kWh.

The results of operational and technological assessment record in the form.

Methods of reliability assessment. For the complex as a whole define the average time to failure and availability.

The collection and processing of information for calculation of indicators is carried out by ND 70.2.8.

The average time to failure of the complex as a whole is determined by the formula:

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^k T_{0i}}{n}, \quad (16)$$

where: T_0 – the average time to failure with general facility hours, T_{0i} – the average time to failure of a technological line i ($i = 1, 2, \dots$), hours, n – the number of technological lines.

If on the production line was not a failure, for the mean time her refusal to accept the full value of the developments.

Under the production line to understand the group of machinery and equipment that performs in sequence a certain technological process (preparation and distribution of feed, watering, cleaning litter, etc.).

The availability of the processing line consists of several machines (hardware), determined by formulas (17), (18) depending on the structural scheme of the technological line.

Under the organization chart understand the logic, reflecting the order of interaction of its elements (machines). The interaction of machines in a process line is determined by way of their connections: serial, parallel and mixed.

Under the serial connection understand this interaction machines, when a failure of any of them leads to stopping the whole production line.

The parallel connection understand the interaction of the machines, when possible stop (repair and maintenance) of one of them without disturbing the process performed by the line.

When mixed connection in the production line of a machine with serial and parallel them.

At consecutive connection of elements in the block diagram of the technological line availability factor is determined by the formula:

$$K_{g1} = \prod_{i=1}^m K_{gi}, \quad (17)$$

where: K_{g1} – the availability of the line of a series connection of machines, K_{gi} – availability factor i individual machines included in technological lines, m – number of machines in the technological line, $\prod_{i=1}^m$ – work from 1 to m .

At parallel connection of elements in the block diagram of the technological line availability factor is determined by the formula:

$$K_{g2} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - K_{gi}), \quad (18)$$

When mixed connection of elements in the structural diagram of the availability factor is determined by calculating the coefficient of readiness in parallel connections and bringing the scheme to a structure with series-connected elements.

As the availability ratio of the complex take the minimum value from coefficients of readiness of production lines within the complex.

For individual cars included in the complex, the reliability is determined by ND 70.2.6, 70.2.8, 70.2.9, 70.2.10.

The availability factor according to DSTU define 4.57 based on organizational time and operational time.

When determining the causes of failures the assessment of the quality of materials, parts, broken, carried out by ND 70.2.22 and structural analysis of mechanisms and machines – ND 70.2.31.

In the section of the test report is also placed the results obtained by technical expertise, in accordance with the substance of the section of the protocol.

Accelerated testing of the individual machines is carried out by special working methods approved in the established order.

The results of the evaluation of the reliability of the complex draws on ND 70.2.1, 70.2.8, 70.2.9, 70.2.10.

To assess the effectiveness of machinery and equipment is the cost of labor, direct operating costs, specific capital investments and the costs determined in the calculations:

- for complex rearing 1,000 head of business exit birds (this is the denominator in formulas 30, 31, 32, 42, 43, 44, 45 multiplied by the yield factor of the business General young poultry),

- for a complex for the production of eggs per 1,000 eggs (the denominator in the formulas 30, 31, 32, 42, 43, 44, 45 multiplied by the average productivity of laying hens to one which is accepted according to economic accounting),

- complex for production of poultry meat 1 kg of products (the denominator in the formulas 30, 31, 33, 42, 43, 44, 45 multiplied by the performance of a single Tahoma for the year in kilograms and 10).

The annual economic effect and the limit price is determined in the presence of a complex analogue. Annual economic effect, taking into account changes in the quantity and quality of the resulting product determined according to DSTU 23729. The results of the economic evaluation are entered in form 2 application DSTU 23729.

Conclusions. The proposed synthesis of the main methodological requirements to test a set of machines for poultry farming allows to form the unified validity of the regulations.

References

1. *J. Liua, M. Abdalbasit, A. Gasmallaa, P. Lia, R. Yang.* (2016). Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application. Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol. 35. 184–193.
2. *Th. A. McKeon, D. L. Brandon, X. He.* (2016). Improved method for extraction of castor seed for toxin determination. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. Vol. 5. 56–57.
3. *Novitsky, A. V.* (2015). Assessment of the reliability of funds for the preparation and distribution of feed, depending on conditions and modes of operation. Scientific Bulletin of National University of life and environmental Sciences of Ukraine. Series: electronics and energetics, agriculture. Kiev. Vol. 212. 141–147.
4. *Modern methods for the preparation and distribution of feed.* (2018). Available at: <http://www.propozitsiya.com>.

5. Verkhovna Rada of Ukraine (1994). The Law of Ukraine "On ensuring the sanitary and epidemic well-being of the population", Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. Vol. 27. 218.
6. Ministry of Health Protection of Ukraine (1996). Order "On Approval of State Sanitary Rules and Norms", available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96> (Accessed 16 Jan 2017).
7. Lukin, V. A. (2011). Novye sanitarnye normy i pravila: pervye vpechatleniya [New sanitary norms and rules: first impressions]. Wireless Ukraine, vol. 7(1). 18-21, Available at: http://www.wireless.ua/templates/new_template/images/wu6.pdf (Accessed 16 Jan 2017).
8. conf.rd.asu.lt/index.php/rd/article/download/151/34.html.
9. Rogovskii, I. L. (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224–232.
10. Rogovskii, I. L. (2015). Methodologist technological operations recovery of agricultural machines with limited resources. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 212. Part 1. 314–322.
11. Rogovskii, I. L., Melnyk, V. I. (2016). Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 241. 387–395.
12. Rogovskii, I. L., Melnyk, V. I. (2016). Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 251. 400–407.
13. Rogovskii, I. L. (2016). Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 254. 424–431.
14. Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L. (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.
15. Rebenko, V. I., Rogovskii, I. L. (2017). Methodological requirements to test set of machines for poultry. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 275. 311–325.

Список літератури

1. J. Liua, M. Abdalbasit, A. Gasmallaa, P. Lia, R. Yang. Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2016. Vol. 35. P. 184–193.
2. Th. A. McKeon, D. L. Brandon, X. He. Improved method for extraction of castor seed for toxin determination. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2016. Vol. 5. P. 56–57.
3. Новицький А. В. Оцінка надійності засобів для приготування і роздавання кормів в залежності від умов і режимів їх експлуатації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. С. 141–147.
4. Сучасні засоби для приготування та роздавання кормів. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.propozitsiya.com>.

5. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). Київ. Парламентське вид-во. 1994. № 27. 218 с.
6. Наказ МОЗ України. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. № 239 від 01.08.96 р.
7. Лукин В. А. Новые санитарные нормы и правила: первые впечатления. Wireless Ukraine. 2011. № 7(1) С. 18–21. Режим доступу. http://www.wireless.ua/templates/new_template/images/wu6.pdf.
8. conf.rd.asu.lt/index.php/rd/article/download/151/34.html.
9. *Роговський І. Л.* Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.
10. *Роговський І. Л.* Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.
11. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 241. С. 387–395.
12. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 400–407.
13. *Rogovskii I. L.* Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.
14. *Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л.* Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
15. *Ребенко В. І., Роговський І. Л.* Методичні вимоги до випробування комплексу машин для утримання птиці. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 311–325.

ОСНОВНІ МЕТОДИЧНІ ВИМОГИ ДО ВИПРОБУВАННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ПТАХІВНИЦТВА

В. І. Ребенко, І. Л. Роговський

Анотація. *В статті узагальнено існуючі вітчизняні, європейські і північноамериканські методичні вимоги до випробування комплексу машин для утримання птиці. Охарактеризовано, що методика порівняння значень показників по випробовуваному комплексу з вимогами нормативної документації й з відповідними показниками по комплексу-аналогові.*

Також встановлено, що результати математичної обробки даних вимірювань використовують при порівнянні їх з необхідними величинами технічного завдання при державних приймальних випробуваннях (технічних умов при державних періодичних випробуваннях) для ухвалення рішення про відповідність випробовуваного комплексу вимогам (технічного завдання технічних умов). При цьому можливі два випадки. Також для порівняння показників, отриманих при випробуваннях дослідного зразка комплексу обладнання й комплексу-аналога підраховують значимість різниці середніх значень показник.

Рекомендацію з результатів випробувань комплексу приймають на підставі результатів порівняння значень показників випробовуваного комплексу обладнання з вимогами технічних умов на поставку, зоотехнічних вимог і значеннями показників по комплексу-аналогові.

Ключові слова: методика, вимога, випробування, комплекс, машина для утримання птиці

ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКСА МАШИН ДЛЯ ПТИЦЕВОДСТВА

В. И. Ребенко, И. Л. Rogovskiy

Аннотация. В статье обобщены существующие отечественные, европейские и североамериканские методические требования к испытаниям комплекса машин для содержания птицы. Охарактеризовано, что методика сравнения значений показателей по испытываемому комплексу с требованиями нормативной документации и с соответствующими показателями по комплексу-аналогу.

Также установлено, что результаты математической обработки данных измерений используют при сравнении их с требуемыми величинами технического задания при государственных приемочных испытаниях (технических условий при государственных периодических испытаниях) для принятия решения о соответствии испытываемого комплекса требованиям технического задания технических условий). При этом возможны два случая. Также для сравнения показателей, полученных при испытаниях опытного образца комплекса оборудования и комплексу-аналога подсчитывают значимость разницы средних показателей.

Рекомендации из результатов испытаний комплекса принимают на основании результатов сравнения значений показателей испытываемого комплекса оборудования требованиям

технических условий на поставку, зоотехническим требованиям и значениями показателей по комплексу-аналога.

Ключевые слова: *методика, требование, испытание, комплекс, машина для содержания птицы*

УДК 631.171;631.35

ОСОБЛИВОСТІ ПОШКОДЖЕННЯ ЗЕРНА В РОБОЧОМУ КАНАЛІ СКРЕБКОВОГО ЕЛЕВАТОРА ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

**В. І. Недовєсов, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616**

**Національний науковий центр «Інститут механізації та
електрифікації сільського господарства»**

Н. В. Матухно, ORCID 0000-0002-6957-1616

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

e-mail: n_matuhno@ukr.net

Анотація. *Фізика дробління зерна молотильним барабаном та відбійним бітером пов'язана з ударом зернин в жорстку поверхню або ударом по зерну жорсткою поверхнею робочих органів. При цьому швидкість ударів не очікується більшою за лінійну швидкість бичів барабану та лопатей відбійного бітера. Винятковим є випадок, коли зерно, яке штовхнув барабан б'ється по лопаті відбійного бітера, яка рухається в зворотньому напрямку відносно напрямку руху бичів барабану. Руйнівна швидкість удару різко відрізняється за культурою та сортом рослин, вологістю та строком збирання зерна, косий чи прямий удар, місцем удару по зерну, формою ударяючого пристрою, кількістю ударів, маса 1000 зернин, тощо.*

Руйнівна для зерна сила удару з моменту дотику жорсткої поверхні до зерна або дотику до жорсткої поверхні миттєво перетворюється в безліч різноманітних різноспрямованих тисків, що спричиняють об'ємні та поверхневі напруги в тілі та на тілі зернини. При цьому руйнування зернини можна розглядати як дію системи явищ, що включають: дію клину, зсув однієї частини зернини відносно іншої, злом з розриванням зернини, удар на протиударній жорсткій опорі, удар на протиударній в'язкій опорі, косий (ковзаючий) удар та інші.

© В. І. Недовєсов, Н. В. Матухно, 2018

Усвідомлюючи все це та бажаючи зменшення дробіння і пошкодження зерна, доцільно не тільки не перевищувати критичної швидкості удару робочих органів по зерну відповідної культурної рослини, але й удосконалювати технологічний процес та робочі органи молотильно-сепарувальних пристроїв стосовно пошкодження зерна. Разом з цим слід зауважити, що в будь-якому разі не можливо позбутися пошкодження зернин при наявності ударів по зерну. Це натякує на необхідність заміни барабанно-декових молотильно-сепарувальних пристроїв безударними або майже безударними відповідними пристроями.

Ключові слова: зерно, пошкодження, канал, скребок, елеватор, зернозбиральний комбайн

Постановка проблеми. Характерним у виробництві зерна є те, що збирання урожаю зернових культур залишається найзатратнішою технологічною операцією в процесі вирощування зерна в будь-якій країні, а з урахуванням збирання незернової частини урожаю затрати коштів, праці та енергії вдвічі і більше разів перевищують затрати на виконання всіх інших операцій, пов'язаних з виробництвом зерна [1–7].

Аналіз останніх досліджень. Скребки, що транспортують зерно в робочому каналі, розташовані відносно стінок каналу з щілинами, в яких зерно може стискуватись та пошкоджуватись тертям з двох сторін і навіть руйнуватись. В конструкціях цих елеваторів розміри щілини коливаються (змінюються при їх роботі в межах 0–15 мм за висотою скребка та – 0–9 мм) [1]. Розміри щілин змінюються у зв'язку, по-перше, з неоднаковим змінюючимся тиском на скребок зерен, що заклинюються в щілинах між скребком та корпусом елеватора; подруге, у зв'язку з вібрацією ланцюга зі скребками, генеруємої зірками з частотою, наприклад, для 7 зубових зірок з кроком 4,3 мм [2].

Причина вібрації – ланкова конструкція ланцюга (гнучка ланкова лінія). Гілки елеваторного ланцюга можуть коливатись, залишаючись паралельними вихідному положенню або змінюючи кут відносно вихідного положення. Високочастотні коливання ($\nu = 70\text{--}75\text{ с}^{-1}$) в елеваторах комбайнів сприяють пошкодженню зерна особливо в верхній частині елеватора біля ведучої зірки. При цьому щілини між рухомим скребком та корпусом елеватора то звужуються, то розширюються. Зерно в щілинах не тільки інтенсивно пошкоджується тертям, але може й руйнуватись та оголюватись (горох, гречка, соняшник, ріпак та інші культури) [3]. Випуклість скреbkів розширює щілини зверху під кутом, що сприяє заходу зерен в щілину і відповідно пошкодженню зерна.

Щілини розширюються зі збільшенням зносу периферійних

граней скребка (рис. 1), що сприяє ще більшому пошкодженню зерна. Допустимий ступінь зносу скребоків ще не визначена, хоча це питання важливе не тільки в аспекті руйнування зерна з причини енерговитрат. Бокові щілини шириною 0–9 мм можуть заторюватись зерном.

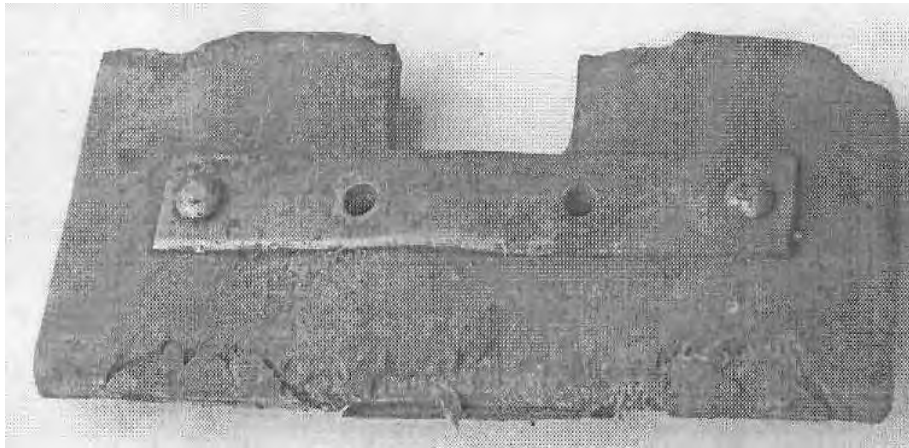


Рис. 1. Скребок зернового елеватора, що має зношені робочі кромки, які сприяють підвищенню рівня пошкодження зерна.

Причому, і саме головне, навколо рухомого скребка над щілинами утворюються на мить склепіння, які миттєво ж руйнуються і знов на мить утворюються. В цьому явищі миттєвих склепіння полягає фізична суть створення опору транспортуванню зерна, при якому сили, що проштовхують зерно, руйнують або пошкоджують заторене зерно. Ці явища характерні для скребкових елеваторів. Вони притаманні також гвинтовим транспортерам і елеваторам, бо зруйнується або пошкоджується лише те зерно, яке затримується (при появі склепіння) або стримується тертям на опорі при діючих на нього рухаючи сил.

Мета досліджень. Узагальнити існуючі метожологічні постулати особливостей пошкодження зерна в робочому каналі скребкового елеватора зернозбирального комбайна.

Результати досліджень. Руйнування зерна в спряженні зірок з ланцюгом елеватора. Як видно зі схеми елеватора начебто зупиненого в процесі роботи, зерно попадає в міжзубові простори обох зірок. Воно притискується в цьому просторі роликми ланцюга і невідверто руйнується, особливо на ведучій зірці, де до сили тяжіння ланцюга додається вага скребоків з зерном в вантажному каналі та сила подолання заорювань зерна. Кількість зерна, що потрапляє в кожний міжзубовий простір залежить від виду та сорту культури, зерно якої обмолочується. Очевидно, що цю кількість можна визначити для двох зірок за формулою:

$$D_z = 2a_z Z n_z, \quad (1)$$

де: D_3 – кількість зерен, що потрапили в міжзубову зону руйнування на протязі однієї секунди, c^{-1} ; α_3 – кількість зерен, що потрапляє в один між зубовий простір; Z – кількість зубців на зірці; n_z – частота обертання зірки, c^{-1} .

Наприклад, при обмолоті пшениці, при $\alpha_3 = 4$ од., $Z = 7$ од. зубців, $n_z = 10,7 c^{-1}$, $D_3 = 2 \cdot 4 \cdot 7 \cdot 10,7 = 599 c^{-1}$. Відносна (до продуктивності $g_{кз}$) кількість пошкодженого зерна можна визначити за рівнянням:

$$D = \frac{0,1 A_3 D_3}{g_{кз}}, \quad (2)$$

де: D – відносна до продуктивності $g_{кз}$ комбайна по зерну) кількість зруйнованого зерна, що потрапило в міжзубовий простір зірок (%); A_3 – маса 1000 зерен, г.

При попередніх даних до виразів (1) і (2) та значенні $A_3 = 40$ г для пшениці, одержимо:

$$D = \frac{0,1 \cdot 40 \cdot 599}{5000} = 0,48\%. \quad (3)$$

Це суттєва частина руйнування зерна відносно допустимої вихідними вимогами на комбайн кількості подрібненого зерна – 2 %.

Для зменшення руйнування зерна від розглянутого явища доцільно зірки робити тризубовими. В такому разі умови для стиснення зерна майже відсутні. Зерно може вислизувати з простору стиснення і пошкодження його зменшується, принаймні, вдвоє, бо кількість міжзубових просторів зменшена в 2,3 рази.

В спряженні зірка-ланцюг є також фізичні умови перерізання зерна при защемленні його пластинами ланцюга (“ножі”) та зіркою, як протирізом. Кількість перерізаних зерен можна буде підрахувати використовуючи залежності (1) та (2), якщо буде знайдено експериментально значення α_3 кількості зерен, що перерізається кожною парою пластин (щік) ланцюга.

Пошкодження зерна продовжується також при виході його з зернового елеватора, коли воно ковзає по кривій поверхні корпусу елеватора (над верхньою зіркою). Фізичне явище пошкодження зерна тертям по металу відбувається з тими ж закономірностями, як і в нижній частині елеватора. Для того, щоб зерно не мало кругообігу в елеваторі необхідна відповідна швидкість руху скребків ланцюга. Її можна визначити залежністю:

$$V'' \geq \frac{l_{ск}}{\sqrt{\frac{2h_{НБ}}{g}} - \sqrt{\frac{2h_{НК}}{g}}}, \quad (4)$$

де: l_{ck} – відстань між відповідними точками скребків, крок скребків на ланцюзі, (0,152 м); h_{NB} – висота падіння зерен від стелі вивантажувального каналу до подільного каналу зірки, м (0,186 м); h_{NK} – висота падіння зерен від стелі вивантажувального каналу до траєкторії верхньої точки скребка, м (0,076 м); g – прискорення земного тяжіння, м/с² (9,81 м/с²).

Підрахунки показали, що швидкість скребків, при якій відсутній кругообіг зерна в елеваторі, повинна бути 2,16 м/с, а фактичне значення її в комбайні Дон-1500 [5] – 1,34 м/с, що на 38% менше. Це означає, що в комбайнах Дон-1500 та “Славутич” частина зерна безперервно здійснює кругообіг в межах елеватора і, як наслідок, підвищує рівень пошкодження та дроблення зерна. За даними Бурлаки О.А. кругообіг зерна в елеваторі комбайна Дон-1500 становить 7–10% при подачі зерна (5,0–5,5 кг/с).

Подальше пошкодження зерна тертям продовжується завантажувальним похилим шнеком зернового бункера, вивантажувальними горизонтальним і поворотним шнеками. Після вивільнення зерна молотильним барабаном і до виходу його в транспортний засіб зерно знаходиться 10–12 с під дією робочих органів комбайна. Кожна зернина сприймає при цьому багаторазову дію тертя, сліди якого залишаються на її оболонці або на зародку.

На пошкодження зерна майже не звертають увагу, хоча воно не менш збиткове, в порівнянні із дробленням зерна. Пошкодження зерна ударним на нього навантаженням. Дещо раніше ми розглядали питання руйнування зерна молотильним барабаном, відбійним бітером, скребково-ланцюговим елеватором та шнеками (гвинтовими транспортерами). Фізика дробління зерна молотильним барабаном та відбійним бітером пов’язана з ударом зернин в жорстку поверхню або ударом по зерну жорсткою поверхнею робочих органів. При цьому швидкість ударів не очікується більшою за лінійну швидкість бичів барабану та лопатей відбійного бітера. Винятковим є випадок, коли зерно, яке штовхнув барабан б’ється по лопаті відбійного бітера, яка рухається в зворотньому напрямку відносно напрямку руху бичів барабану. Руйнівна швидкість удару різко відрізняється за культурою та сортом рослин, вологістю та строком збирання зерна, косий чи прямий удар, місцем удару по зерну, формою ударяючого пристрою, кількістю ударів, маса 1000 зернин, тощо. За даними Д. М. Бородіна руйнуються зерна пшениці при швидкості удару 12,5–31,2 м/с; ячменю – 20,8–21,8 м/с; рису – 15–17,2 м/с.

Щоб не перебільшувати рівень дробління зерна, допустимий вихідними вимогами, А. М. Пугачов пропонує для однобарабанних молотарок колові швидкості більшого барабану на обмолоті пшениці,

жита, ячменю, вівса 28–32 м/с, гречки – 14–17 м/с; гороху – 12–15 м/с; сої та бобів – 14–17 м/с; соняшника – 13–15 м/с; проса – 22–23 м/с; конюшини – 30–32 м/с люцерни – 28–30 м/с; кукурудзи – 8,6–11,5 м/с; тимофіївки (житниця) – 35 м/с рису – 28,8–34,5 м/с.

Руйнівні для зерна швидкості удару будуть дещо менші, бо запропоновані значення розраховані на виділення щуплого та недорозвиненого зерна. Руйнівна для зерна сила удару з моменту дотику жорсткої поверхні до зерна або дотику до жорсткої поверхні миттєво перетворюється в безліч різноманітних різноспрямованих тисків, що спричиняють об'ємні та поверхневі напруги в тілі та на тілі зернини. При цьому руйнування зернини можна розглядати як дію системи явищ, що включають: дію клину; зсув однієї частини зернини відносно іншої; злом з розриванням зернини; удар на протиударній жорсткій опорі; удар на протиударній в'язкій опорі; косий (ковзаючий) удар та інші.

Наслідки удару, як відомо залежать від імпульсу ударної сили:

$$P = mV_y(1 + \frac{V_{yo}}{V_y}), \quad (5)$$

де: m – маса зернини, кг; V_y – швидкість руху зернини по жорсткій поверхні, що ударяє по зернині, м/с; V_{yo} – швидкість підскакування зернини від точки удару, м/с.

За класифікацією Сахарного Н. Ф. (удари абсолютно пружні, абсолютно не пружні, не зовсім пружні) удари зернин по порівняно жорстким (металевим) поверхням та останніх по зернинам, особливо з урахуванням їх руйнування, зернини при обмолоті сприймають тільки косі та не зовсім пружні удари. В цьому разі значення V_{yo} в залежності (5) менші за V_y в різній мірі аж до нуля.

Залежність (5) має скоріше теоретичне значення для з'ясування впливу удару на руйнування зерна. Однак воно свідчить про те, що кожна зернина буде зруйнована повністю або суттєво пошкоджена, якщо значення V_y буде перебільшене за критичне для зерна, міцність якого залежить не тільки від культури та сорту рослин, але й від багатьох інших факторів (вологість, орієнтація наряду удару відносно центра тяжіння зернини та місця точки удару на зернині, фізико-механічних та геометричних параметрів зернини, тощо).

Ось чому Пугачев А. Н., посилаючись на дослідження багатьох авторів наводить приклади про залежність подрібнення та мікропошкодження зерна від урожаю культури, значення вагового відношення зерна до соломи, вологості зерна, розмірів зерна (довжини, товщини), маси 1000 зернин, вирівняності по масі зернин,

засміченості хлібостою, фази стиглості зерна. Способу збирання хлібів, регулювань молотарки (завантаження молотарки, частоти обертання барабана та стану його зношеності, молотильних зазорів), структури потоку технологічної маси, щодо розташування в ній колосків, конструкції молотильно-сепарувальних пристроїв (одно-двох та багатобарабанных, кількості бичів на барабані: чим більше бичів – менше пошкодження).

За даними Архангельського С. Ф., на пошкодження зерна впливають параметри рифів на билах, діаметр барабанів), конфігурації планок підбарабання і стан їх зношеності, густота прутків, що створюють решітку підбарабання, тощо.

Усвідомлюючи все це та бажаючи зменшення дробіння і пошкодження зерна, доцільно не тільки не перевищувати критичної швидкості удару робочих органів по зерну відповідної культурної рослини, але й удосконалювати технологічний процес та робочі органи молотильно-сепарувальних пристроїв стосовно пошкодження зерна. Разом з цим слід зауважити, що в будь-якому разі не можливо позбутися пошкодження зернин при наявності ударів по зерну. Це натякує на необхідність заміни барабанно-декових молотильно-сепарувальних пристроїв безударними або майже безударними відповідними пристроями. Їх перевірено багато, але прийнятних (високоєфективних та простих) ще не знайдено. Деякі достоїнства є у засобів очісування зерна на пні, але й вони не позбавлені ударних дій на зерно та ще й мають притаманні їм суттєві вади, які стримують розповсюдження використання очісування зерна на корені.

В цьому аспекті приваблює здогадка, як гіпотеза, доцільності видавлювання або витягування зерна з суцвіть по всій ширині захвату жниварки комбайна, де потік технологічної маси (стебел) порівняно тонкий:

$$K_{\Pi} = \frac{l_m}{L_{жс}}, \quad (6)$$

де: K_{Π} – коефіцієнт звуження потоку жниварки; l_m – ширина потоку, що потрапляє в молотильну камеру комбайна (ширина молотильного простору, м); $L_{жс}$ – ширина робочого захвату жниварки, м.

В цьому напрямку слід провести відповідні пошукові дослідження. Крім явищ ударного пошкодження зерна в молотарці є не менш складні й не менш руйнівні явища, пов'язані з транспортувальним процесом гвинтових транспортерів (шнеків).

Щодо пошкодження зерна шнеками зернозбирального комбайна. Шнекові транспортери є в кожному сучасному комбайні. Вони приваблюють простотою конструкції та надійністю в роботі. Однак, їм притаманні шкідливі щодо пошкодження зерна вади.

Дробіння зерна лише одним шнеком може змінюватись в межах від 0,1 до 14,4 % в залежності від його довжини, вологості зерна, діаметру, частоти обертання зазорів між витками та кожухом і багатьох інших факторів. В комбайні ж їх декілька (зерновий, колосовий, похилий та горизонтальний в бункері, поворотний розвантажувальний).

Основні фізичні явища, що визначають подрібнення та пошкодження зерна шнеками наступні.

1. Тертя та подряпання зерна відбувається в результаті ковзання його на витках шнека, а також при зскрібанні сукупності зерна, розташованого в жолобі або в трубі над рівнем зазору між витками шнека або внутрішньою поверхнею труби та крайкою витків шнека.

2. Подрібнення зерна та підвищена ступінь його пошкодження (більш глибокі подряпини та шеретування зерна) відбуваються в результаті заторювання (склепіння) зерна на вході його в зазор між крайкою витків та дном жолоба або внутрішньою поверхнею труби в закритих гвинтових транспортерах. Для цього явища характерне (притаманне) різночастотне для зерна різних культур утворення короточасного склепіння й руйнування його. У зв'язку з цим при певних умовах може траплятись прогин вісі шнека та поперекова вібрація його з можливістю резонансу цієї вібрації.

В руйнуванні зерна є особливо небезпечним (шкідливим) прогин вісі шнека, коли крайки зіскрябуючих витків наближаються до дна жолоба (труби) та віддаляються від нього з частотою обертання шнека. Навіть мізерні (лише 1 мм) стріли прогину шнеку можуть давати підвищення рівня руйнування та пошкодження зерна.

Вважаємо за очевидне (зайві докази), що пошкодження зерна шнековими транспортерами збільшується при збільшенні довжини транспортера, зменшення навантаження на нього (продуктивності), збільшенні частоти обертання шнека, збільшенні стрілки прогину вісі шнека. Вплив зазору між витками шнека та кожухом шнекового транспортера залежить від геометричних параметрів зернини. Тому цей зазор, в принципі, доцільно було б регулювати відповідно до розмірів зерна різних культур. В середньому він повинен дорівнювати сумі трьох товщин зерна, щоб уникнути склепіння зернин в щілинах між витками шнека та його кожухом. Однак регулювань зазорів не передбачено ні в одному з відомих нам комбайнів, бо суттєво ускладнює конструкцію шнекових транспортерів.

Згадані зазори, що установлені в шнекових транспортерах 5–10 мм можна вважати руйнівними для зернових, колосових, круп'яних, зернобобових культур та соняшника, що мають геометричні параметри зернин.

Висновки

Узагальнюючи викладене, приходимо до невтішного висновку, що всі без винятку робочі органи молотарок сучасних комбайнів в тій чи іншій мірі сприяють формуванню втрат урожаю та пошкоджують зерно. Особливо негативними в цьому аспекті є молотильно-сепарувальні та транспортуючі зернові пристрої (барабанно-декові) молотильні апарати та скребково-ланцюгові і шнекові транспортери. Принципи дії цих робочих органів практично залишаються незмінними, а відтак і якість обмолоту хлібів майже не покращується вже декілька десятиків років. Так буде продовжуватись й надалі, доки не покращаться принципи дії на технологічний матеріал при обмолоті зернових та їм подібних культур. Звідси можна зробити висновок про необхідність пошуку нових, більш ефективних принципів дії на технологічний матеріал, як при виділенні так і транспортуванні зерна в комбайні. Принаймні, слід скорочувати термін активної дії на технологічний матеріал та зерно.

Залишається також нез'ясованим питання збитковості від мікропошкодження зерна при комбайновому збиранні зерна та післязбиральній переробці його в порівнянні зі збитковістю від втрат, а також від дробління зерна комбайном. У зв'язку з тим, що на макро- та мікропошкодження зерна в значній мірі впливають властивості зерна, як об'єктів руйнування, були проведені відповідні з'ясування.

Мікропошкодження зерна здійснюється на всьому без винятку шляху руху вільного зерна, але особливо інтенсивно це діється в молотильно-сепарувальному пристрої, скребково-ланцюгових та шнекових елеваторах і транспортерах. Ці ж робочі органи руйнують (подрібнюють або шеретують) зерно в молотарці комбайна.

Список літератури

1. Матухно Н. В., Нєдовєсов В. І., Стратегії технічної політики в забезпеченні збирання хлібів в Україні вітчизняними зернозбиральними комбайнами. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 241. С. 358–371.
2. Нєдовєсов В. І., Матухно Н. В. Щодо питання пошкодження зерна зернозбиральними комбайнами. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 3-5 листопада 1997 р. Глеваха. 1997. С. 177–181.
3. Проспекти зернозбиральної техніки провідних фірм світу (Джон Дір, Інтернешнл Харвестер, Клас, Нью Холланд, Марсей Фергюсон, Дойц Фар, Сампо Розенлев, ВАТ "Ростсельмаш", Бізон, ЗАТ "Єнісей", Фортшрітт).
4. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
5. Роговський І. Л. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.

6. *Роговский Иван*. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Том 16. №3. Р. 296–302.
7. *Rogovskii I. L.* Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

References

1. *Matukhno, N. V., Nedovyesov, V. I.* (2016). Strategy and technical policy in the provision of grain harvesting in Ukraine domestic grain harvesters. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 241. 358–371.
2. *Nedovyesov, V. I., Matukhno N. V.* (1997). On the question of damage to the grain combine harvesters. Technical progress in agricultural production: materials of International Scientific-Technical Conference on November 3-5. Glevaha. 177–181.
3. Avenues of harvesting equipment of leading world companies. (2018). John Deere, international Harvester, Class, new Holland, Marsey Ferguson, Deutz Headlights, Sampo Rosenlew, JSC.
4. *Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L.* (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.
5. *Rogovskii, I. L.* (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224–232.
6. *Rogovskii Ivan*. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Том 16. № 3. 296–302.
7. *Rogovskii, I. L.* (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 262. 403–411.

ОСОБЕННОСТИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЗЕРНА В РАБОЧЕМ КАНАЛЕ СКРЕБКОВОГО ЭЛЕВАТОРА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

В. И. Недовесов, Н. В. Матухно

Аннотация. Физика дробления зерна молотильным барабаном и отбойным битером связана с ударом зерен в жесткую поверхность или ударом по зерну жесткой поверхностью рабочих органов. При этом скорость ударов не ожидается больше линейной скорости бичей барабана и лопастей отбойного битера. Исключительным является случай, когда зерно, которое толкнул барабан бьется по лопасти отбойного битера, которая движется в обратном направлении относительно направления движения бичей барабана. Разрушительная скорость удара резко отличается культурой и сортом растений, влажностью и сроком сбора зерна, косым или прямым ударом, местом удара по зерну, формой ударяющего устройства, количеством ударов, массой 1000 зерен, и тому подобное.

Разрушительная для зерна сила удара с момента прикосновения жесткой поверхности зерна или прикосновения к жесткой поверхности мгновенно превращается в множество разнообразных разнонаправленных давлений, вызывающие объемные и поверхностные напряжения в теле и на теле зернышка. При этом разрушение зерна можно рассматривать как действие системы явлений, включающих: действие клина, смещение одной части зерна относительно другой, излом с разрыванием зернышка, удар на противоударной жесткой опоре, удар на противоударной вязкой опоре, косой (скользящий) удар и другие.

Осознавая все это и желая уменьшить дробление и повреждение зерна, целесообразно не только не превышать критической скорости удара рабочих органов по зерну соответствующего культурного растения, но и совершенствовать технологический процесс и рабочие органы молотильных и сепарирующих устройств относительно повреждения зерна. Вместе с этим следует заметить, что в любом случае не возможно избавиться от повреждения зерен при наличии ударов по зерну. Это приведет к необходимости замены барабанных и дековых молотильных и сепарирующих устройств безударными или почти безударными соответствующими устройствами.

Ключевые слова: *зерно, повреждения, канал, скребок, элеватор, зерноуборочный комбайн*

FEATURES DAMAGE TO GRAIN IN WORKING CHANNEL OF SCRAPER ELEVATOR OF COMBINE HARVESTER

V. I. Nedovyesov, N. V. Matukhno

Abstract. *The physics of crushing, grain threshing drum and beater striker linked with shock granules in a hard surface or strike the grain surface hard working bodies. The speed bumps are expected more the linear velocity of the pests of the drum and blades of the cutting beater. Exceptional is the case when the grain which pushed the drum beats on the blade of the cutting beater, which moves in the opposite direction relative to the direction of movement of the whip of the drum. The devastating impact speed dramatically different culture and variety of plants, moisture and time of grain harvest, an oblique or a direct blow, spot blow to grain, form adaryukova the device, the number of blows, weight of 1000 grains, and the like.*

Destructive to grain impact force from moment of touching hard surface of grain or touching hard surface instantly turns into wide variety of countervailing pressures, causing the volume and surface of tension in the body and on the body of the seed. While the destruction of grain can

be considered as the system of phenomena, including: the effect of the wedge, the displacement of one part of the grain relative to another, the break with the tearing of the grain, the impact on shockproof hard support, shock on shock viscous support, oblique (sliding) punch and others.

Aware of all this and wanting to reduce crushing and damage of grain, it is advisable not only to exceed the critical velocity impact of the working bodies according to the respective grain crops, but also to improve the technological process and the working parts of the threshing and separating devices regarding damage to the grain. However, it should be noted that in any case it is not possible to get rid of damaged grains in the presence of attacks on the grain. This privedit to the replacement of the drum and the deck of the threshing and separating devices or almost unstressed unstressed corresponding devices.

Key words: *grain damage, channel, scraper, elevator, combine harvester*

УДК 631.31:64

МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАЦІЙ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ

Д. Ю. Калініченко, здобувач*
ORCID 0000-0002-3689-3467

І. Л. Роговський, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**
e-mail: irogovskii@gmail.com

Анотація. Застосовуючи розроблений математичний апарат, проведена апроксимація експериментальних даних, які характеризують технологічність процесів операцій контролю параметрів технічного стану досліджуваних комбайнів за цикл технічного обслуговування, за видами, окремими параметрами технічного стану і роботам, які виконуються окремими виконавцями прийнятими моделюючими функціями.

Результати оцінки похибок апроксимації показують, що для різних процесів можна використовувати різні функції з метою

*Науковий керівник – кандидат технічних наук І. Л. Роговський

© Д. Ю. Калініченко, І. Л. Роговський, 2018

отримання мінімальної похибки оцінки технічного стану зернозбиральних комбайнів.

Авторами представлені функції технологічності будувались на основі графіків трудонапруженості робіт, перелік подій і робіт, відповідних мережевих графіків.

Ключові слова: *аналіз, система, стратегія, технічне обслуговування, зернозбиральний комбайн*

Постановка проблеми. Європейський досвід забезпечення безвідмоності зернозбиральних комбайнів показав [1–10], що від того наскільки технічних об'єкт пристосований до технічного контролю параметрів технічного визначеними технічними засобами вимірювання значно залежить реалізація самого процесу забезпечення справного стану. Тому, не випадково, нормативні документи по контролепридатності передували нормативам по системам і процесам технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів, а показники ефективності ідентичні між собою.

Аналіз останніх досліджень. В основному всі технології технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів складаються із технологічних карт по оцінці складових частин комбайна. Аналіз технологій технічного обслуговування комбайнів показує, що число виконавців робіт коливається від одного до шести-семи. Разом з тим в технологіях не вказані роботи, що виконуються кожним конкретним виконавцем, хоча методичні рекомендації і вказівки про необхідність розподілення обов'язків між членами ланки виконавців є в наявності.

Заслуговує уваги праці вчених Вороніна Д. М. і Привалова П. В. по вибору численності виконавців первинних підрозділів на основі графіків узгодження послідовності робіт, які виконуються конкретними виконавцями. Практична реалізація такого підходу здійснена Федоровим С. П., який розробив технологію обслуговування із закріпленням виконавців за певним видом робіт. Однак, в двох роботах розглядалось лише щозмінне технічне обслуговування.

В праці Хмелевого М. М. дано лінійний графік послідовності технічного обслуговування комбайна при третьому номерному обслуговуванні на посту діагностування з розподіленням робіт між двома виконавцями. В рекомендаціях ГОСНИТИ пропонується розподілити спочатку всі роботи у відповідності за кваліфікацією робітників, а потім після розрахунку їх зайнятості перекласти частину робіт з найбільш перенавантажених членів ланки на менш зайнятих. Недоліком цих рекомендацій є невизначеність критерія при закріпленні робіт за виконавцями.

В роботі Бойко Ю. Ф. використовувані методи мережевого планування і управління для покращення технологій технічного

обслуговування. Автор розбиває роботи на залежні та незалежні, після чого послідовність залежних робіт встановлюється з врахуванням логічних зв'язків між ними, а незалежних – з використанням правила встановлення пріоритетів на основі критеріїв трудомісткості роботи, її позиційної ваги, сумарного бала, інформаційного навантаження працівника, мінімуму затрат часу.

Однак існуючі підходи не дозволяють скоротити тривалість процесу технічного обслуговування, що не дозволяє використовувати повний резерв скорочення тривалості забезпечення безвідмовності. Склад робіт не дозволяє оцінити вплив компонентів технічної системи відновлення. Крім того, більшість параметрів мережевої моделі ускладнює аналіз і порівняння технологій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів.

Мета досліджень узагальнити та виконати аналіз застосування математичного апарату опису моделювання операцій контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному обслуговуванні.

Результати досліджень. Результати оцінки похибок апроксимації зведені в табл. 1, які показують, що для різних процесів можна використовувати різні функції з метою отримання мінімальної похибки. Разом з тим, найбільш проста функція виду відмічена при незначній похибці охоплює всі розглянуті процеси технічного контролю. Для цієї функції визначені показники достовірності коефіцієнтів апроксимації, які наведені в табл. 2.

1. Результати оцінки похибок апроксимації процесів технічного контролю.

Процес	Функція	Значення				
TK1	с	0,09...0,29	0,01...0,09	0,01...0,03	0,01...0,04	0,07...0,25
	т	0,09...0,31	0,01...0,05	0,0...0,02	0,01...0,03	0,07...0,24
	п	0,11...0,30	0,01...0,07	0,0...0,07	0,01...0,02	0,07...0,24
TK2	с	0,06...0,14	0,0...0,09	0,0...0,94	0,0...0,01	0,40...2,18
	т	0,05...0,14	0,0...0,05	0,0...0,85	0,0...0,01	0,22...1,43
	п	0,07...0,14	0,0...0,04	0,0...0,52	0,0...0,01	0,18...0,82
TK3	с	0,05...0,18	0,01...0,04	0,71...1,72	0,0...0,86	0,65...1,32
	т	0,06...0,19	0,01...0,04	0,30...4,0	0,0...0,35	0,29...1,0
	п	0,04...0,19	0,01...0,04	0,38...0,86	0,0...0,44	0,44...0,91
Виконавці	с	0,05...0,13	0,0...0,02	0,35...0,82	0,0...0,35	0,34...0,84
	т	0,06...0,21	0,0...0,02	0,13...0,53	0,0...0,25	0,12...0,56
	п	0,04...0,16	0,0...0,01	0,10...0,45	0,0...0,20	0,12...0,43
Параметри	с	0,08...0,16	0,0...0,02	0,34...1,13	0,0...0,59	0,47...1,69
	т	0,06...0,10	0,0...0,03	0,26...0,85	0,0...0,48	0,27...0,81
	п	0,09...0,21	0,0...0,02	0,19...0,97	0,0...0,26	0,14...1,01

2. Середні значення коефіцієнтів апроксимації і показники їх достовірності.

Процес			№	Система			Комбайн			Прилад		
				ε	Sε	t05	ε	Sε	t05	ε	Sε	t05
TK1	Базова		10	1,07	0,02	2,31	0,66	0,02	2,31	0,41	0,02	2,31
	Операційна		11	1,6	0,04	2,26	1,02	0,03	2,26	0,59	0,02	2,26
TK2	Базова		25	1,33	0,03	2,07	0,90	0,02	2,07	0,54	0,02	2,07
	Операційна		29	1,7	0,02	2,05	1,03	0,01	2,05	0,65	0,01	2,05
TK3	Базова		32	1,54	0,02	2,04	0,73	0,015	2,04	0,81	0,015	2,04
	Операційна		35	2,33	0,02	2,04	1,13	0,02	2,04	1,2	0,01	2,04
Виконавці	Комбайнер	Баз.	26	0,5	0,01	2,06	0,39	0,01	2,06	0,11	0,01	2,06
		Опер.	26	0,74	0,01	2,06	0,54	0,01	2,06	0,20	0,01	2,07
	Слюсар	Баз.	24	0,35	0,01	2,07	0,20	0,01	2,07	0,25	0,01	2,07
		Опер.	19	0,78	0,01	2,11	0,51	0,01	2,11	0,37	0,01	2,11
	Майстер	Баз.	8	0,33	0,01	2,11	0,20	0,01	2,45	0,13	0,01	2,45
		Опер.	24	0,77	0,01	2,07	0,37	0,01	2,07	0,40	0,01	2,07
Окремі параметри			20	1,04	0,01	2,10	0,66	0,02	2,10	0,37	0,015	2,10

Із даних табл. 2 видно, що об'єм вибірок, тобто степінь розчленування процесу у відповідності з прийнятою методикою декомпозиції є достатнім. Критерій суттєвості коефіцієнтів апроксимації рівний і значно перевищує табличні дані при 5% рівні значущості, отже функція апроксимації є значущою.

Функції технологічності будувались на основі графіків трудонапруженості робіт, перелік подій і робіт, відповідних мережевих графіків. На рис 1. дані графіки трудонапруженості робіт по ТК1 комбайнів групи 1.

Прямокутниками в суцільних лініях зображені роботи по підготовчих, основних і заключних етапів для кожного технічного контролю параметру, а прямокутниками в пунктирних лініях – затрати праці по одному чи групі параметрів, що мають підготовчі і заключні роботи. Із графіка наочно видно трудонапруженість робіт по даному виду технічного контролю і по кожному параметру. Як видно, трудонапруженість параметру «тиск в шинах» аналогічна для всіх типів комбайнів, а відмінність трудонапруженості параметрів «натяг привідних пасів» і «рівень електроліту в акумуляторі» пояснюється конструктивними особливостями комбайнів (три паси, два акумулятори). Із графіку видно, що значну частку при оцінці натягу привідних пасів на комбайні № 1 і рівні електроліту в акумуляторах комбайнів №1 і №2 займають підготовчо-заключні роботи. Для цих параметрів побудовані криві трудонапруженості робіт на основі прийнятої по елементної декомпозиції, які показують, що кожний об'єкт характеризується, в основному, трьома ділянками (піками), що відповідають етапам робіт.

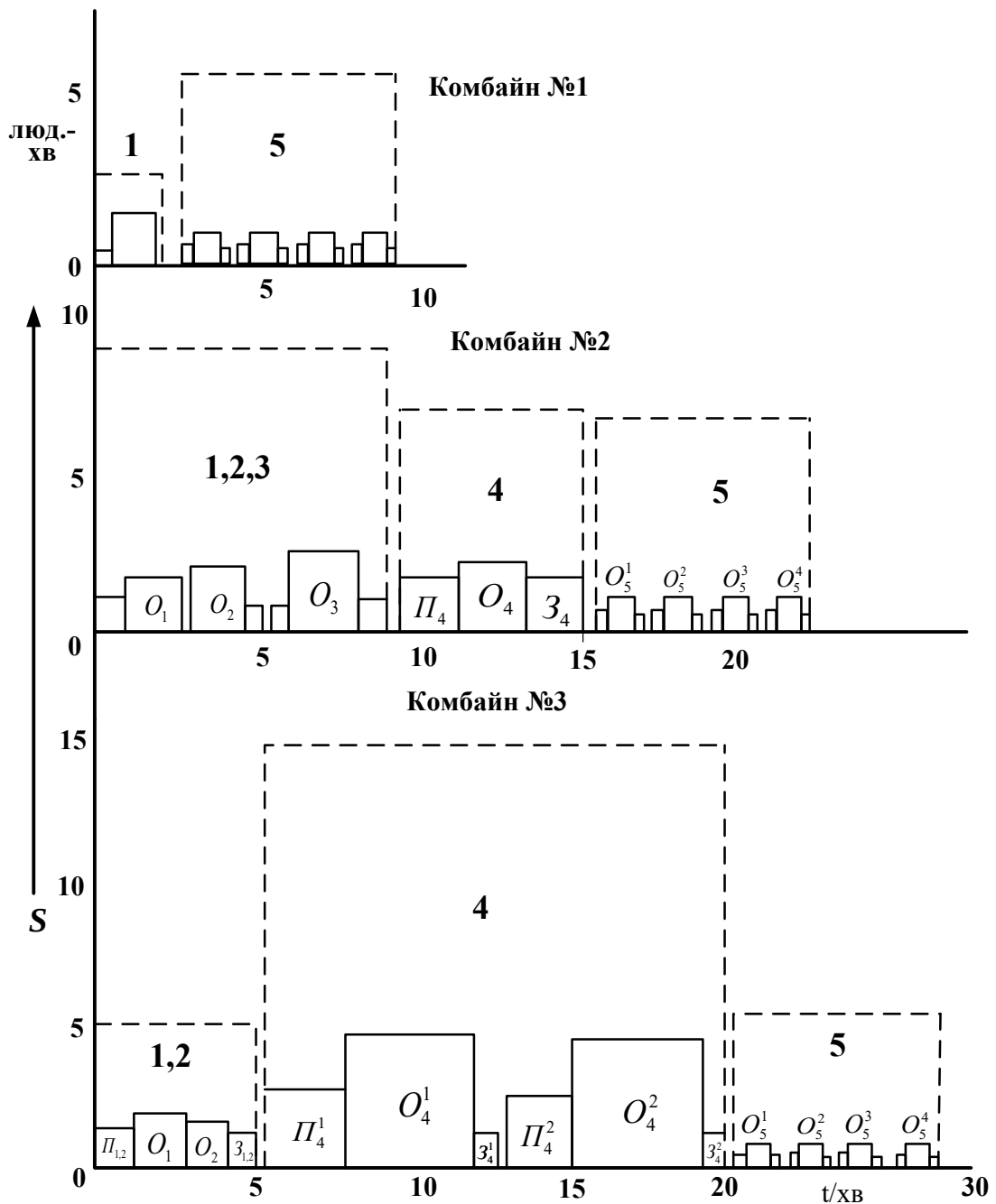


Рис. 1. Трудонапруженість робіт при ТК1 комбайнів. Параметри: 1, 2, 3 – відповідно натяжні реміні вентилятора, генератора, компресора; 4 – рівень електроліту в акумуляторі; 5 – тиск повітря в шинах. Етапи робіт: П – підготовчий; О – основний; З – заключний.

Крайні ділянки (рис. 1) яскраво виражені і свідчать про велику трудомісткість підготовчо-заключних робіт (допоміжних) робіт по комбайну, а середня ділянка – характеризує метод технічного контролю (основні роботи). Тобто, якщо крива, яка з'єднує точки-вершини підготовчих, основних і допоміжних робіт, буде увігнутою, то необхідно вдосконалювати конструкцію комбайна, якщо випуклою – метод технічного контролю. З цього випливає, що необхідно

покращувати доступність до акумуляторів і удосконалювати сам метод контролю рівня електроліту в акумуляторах, а по параметру «натяг пасу вентилятора» – удосконалювати в першу чергу конструкцію комбайна.

Операційні технології складались відповідно методики для двох виконавців, в результаті якої показники технологічності для ТК2 комбайнів №4, №1, №2, №3 збільшились до 1,5...1,8. При цьому інтенсивність роботи окремого виконавця збільшилась від 0,75 до 0,90. Удосконалення технологічності процесу ТК2 приведено на прикладі комбайна №2. В існуючій (базовій) технології використання робочого часу виконавцями є нерівномірним. Слюсар використовує менше ніж на половині тривалості процесу. Комбайнер простоє при оцінці майстром зазорів в клапанному механізмі і куту нахилу важеля муфти зчеплення. Майстер очікує момент створення необхідного режиму для перевірки гальмівної системи після оцінки технічного стану муфти зчеплення. В операційні технології включені параметри, передбачені нормативними документами. По можливості, застосовувались методи технічного контролю, які потребують мінімальних підготовчо-заклучних робіт. Тому при ТК3 здійснювалось з прив'язкою до режиму оцінки техніко-економічних показників гальмівним або парціальним методом. Це дає можливість проводити виміри на найбільш інформативному режимі таких параметрів, як тиск картерних газів, тиск наддуву, розрідження у впускному колекторі і за повітроочисником і ін., а також забезпечити перевірку параметрів паливного насосу без зняття його з комбайна.

Ефективність пропонованих заходів по вдосконаленню процесу технічного контролю оцінювалась по зміні функції технологічності і її показника. Функція технологічності базових технологій має значні скачки абсцис і ординат, які викликані великим об'ємом робіт окремих операцій і нераціональною їх послідовністю. Довжина вектора функції, який характеризує операційну технологію зменшилась, що свідчить про скорочення об'єму робіт, а його кут нахилу до осі ординат, тангенс якого дорівнює показнику технологічності – збільшився. В табл. 3. приведені значення показників технологічності процесу за видами і за цикл технічного контролю для всього об'єму робіт і приведені на одного виконавця.

Дані табл. 3 наочно показує підвищення рівня технологічності тобто інтенсивності технічного контролю, яке склало за ТК1 – в 1,5 рази, за ТК2 – в 1,8 рази, за ТК3 – в 1,53 і за цикл ТО – в 1,4 рази. Зміна показників технологічності, приведених до одного виконавця відповідно складає 0,86; 1,35; 2,12; 1,49. Зменшення приведенного показника за ТК1 пояснюється виконанням робіт двома виконавцями

замість одного. Однак, при цьому скоротилась тривалість процесу, що є одним із важливих показників ефективності технічного контролю.

3. Значення показників інтенсивності технічного контролю за базовими та операційними технологіями.

Комбайн і технологія	ТК1		ТК2		ТК3		Цикл ТО	
	ε	ε'	ε	ε'	ε	ε'	ε	ε'
Комбайн №1								
базова	0,97	0,97	1,29	0,65	1,42	0,47	1,29	0,63
операційна	1,6	0,8	1,5	0,75	2,49	0,83	1,95	0,80
Комбайн №2								
базова	0,96	0,96	1,25	0,63	1,51	0,38	1,39	0,50
операційна	1,43	0,72	1,7	0,85	2,39	0,8	2,05	0,80
Комбайн №3								
базова	0,97	0,97	1,3	0,65	1,46	0,49	1,30	0,65
операційна	1,67	0,83	1,8	0,90	1,98	0,66	1,83	0,73
Комбайн №4								
базова	0,98	0,98	1,29	0,65	1,32	0,26	1,21	0,59
операційна	1,77	0,88	1,7	0,85	2,1	0,7	1,88	0,80
Середнє значення								
базова	0,97	0,97	1,44	0,64	1,43	0,49	1,30	0,59
операційна	1,62	0,83	1,68	0,84	2,24	0,75	1,93	0,78

Висновок. В результаті виконаної роботи з удосконалення технологічності процесів операцій контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному обслуговуванні тривалість операційних технологій в порівнянні з базовими зменшилась, в середньому, за ТК1 на 40%, за ТК2 на 26,4%, за ТК3 на 56,6%, за цикл ТО – на 44,5%.

Список літератури

1. Калініченко Д. Ю., Rogovskiy I. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.
2. Калініченко Д. Ю., Rogovskiy I. Л. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.
3. Калініченко Д. Ю., Rogovskiy I. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.
4. Калініченко Д. Ю., Rogovskiy I. Л. Математичний апарат опису маршруту технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і

- природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 337–346.
5. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan*. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.
 6. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan*. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 103–114.
 7. *Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л.* Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
 8. *Роговський І. Л.* Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.
 9. *Роговський Іван*. Стохастические модели обеспечения работоспособности сельскохозяйственных машин. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2014. Том 16. №3. P. 296–302.
 10. *Rogovskii I. L.* Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

References

1. *Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L.* (2017). Analytical position determination of the coefficient of dynamic parameters of the technical condition of combine harvesters. Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnitske. Vol. 21 (35). 55–61.
2. *Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L.* (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 258. 380–390.
3. *Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L.* (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 262. 353–361.
4. *Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L.* (2017). Mathematical apparatus of the description of the route maintenance of combine harvesters in accordance with the detection of combinations of failures. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 275. 337–346.
5. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan*. (2017). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. Lublin. Vol. 19. No 3. 179–184.
6. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan*. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. 103–114.
7. *Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L.* (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.

8. Rogovskii, I. L. (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224–232.
9. Rogovskii Ivan. (2014). Stochastic models ensure efficiency of agricultural machinery. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Tom 16. № 3. 296–302.
10. Rogovskii, I. L. (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 262. 403–411.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Д. Ю. Калиниченко, И. Л. Роговский

Аннотация. Применяя разработанный математический аппарат, проведена аппроксимация экспериментальных данных, характеризующих технологичность процессов операций контроля параметров технического состояния исследуемых комбайнов за цикл технического обслуживания, по видам, отдельными параметрами технического состояния и работам, которые выполняются отдельными исполнителями принятыми моделирующими функциями.

Результаты оценки погрешностей аппроксимации показывают, что для различных процессов можно использовать различные функции с целью получения минимальной погрешности оценки технического состояния зерноуборочных комбайнов.

Авторами представлены функции технологичности строились на основе графиков трудонагруженности работ, перечень событий и работ, соответствующих сетевых графиков.

Ключевые слова: анализ, система, стратегия, техническое обслуживание, зерноуборочный комбайн

MODELING OF OPERATIONS OF CONTROL PARAMETERS OF TECHNICAL STATE OF COMBINE HARVESTERS DURING MAINTENANCE

D. Yu. Kalinichenko, I. L. Rogovskii

Abstract. Applying the mathematical apparatus, carried out approximation of experimental data characterizing the technological processes of the operations of the control parameters of the technical condition of the investigated combines a maintenance cycle, by types, certain parameters of the technical condition and work performed individual performers accepted modeling functions.

The results of the evaluation of the errors of approximation show that for different processes, you can use various functions with the aim of

obtaining the minimum error of estimation of technical condition of combine harvesters.

The authors present the functions of the technological was built on the basis of the graphs tradeplane works, a list of events and activities of their respective networks.

Key words: *analysis, system, strategy, technical maintenance, combine harvester*

УДК 631.3.004

МЕХАТРОННІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ СИНТЕЗУ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАННЬОЇ ДІАГНОСТИКИ ВНУТРІШНІХ ХВОРОБ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

**В. Д. Войтюк, доктор технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616**

**І. Л. Роговський, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: irogovskii@gmail.com**

Анотація. В результаті виконаної роботи обґрунтовані аналітичні моделі опису вихідного структурного стану досліджуваних реєстрів клінічних показників тварин в системах технічного забезпечення ранньої діагностики внутрішніх хвороб великої рогатої худоби. Авторами встановлені аналітичні моделі опису комп'ютерної обробки вимірювальної інформації в системах технічного забезпечення ранньої діагностики внутрішніх хвороб великої рогатої худоби. Також визначено аналітичні моделі опису оцінки адекватності обробки вимірювальної інформації в системах технічного забезпечення ранньої діагностики внутрішніх хвороб великої рогатої худоби.

В даному рішенні використовується синергетичний підхід, згідно з яким будь-яка взаємодія природних систем призводить до обміну між ними речовиною, енергією та інформацією. При цьому одна із систем (рання діагностика внутрішніх хвороб великої рогатої худоби) є випромінювачем, інша (технічна мехатронна система) – акумулятором. При раптовому скиданні синергетики першої із систем, інша система може накопичувати надлишкову

© В. Д. Войтюк, І. Л. Роговський, 2018

синергетику з одночасним раптовим підсиленням динаміки внутрішніх процесів, що призводить до структуруванню системи і дисипації. При цьому самоорганізація призводить до зміни механізму передачі синергетики до мехатронної системи на більш інтенсивний стан.

Ключові слова: *властивість, діагностування, мехатроніка, система, хвороба, велика рогата худоба*

Постановка проблеми. Для діагностики хвороб серцево-судинної системи досліджують серцевий поштовх – коливання грудної стінки в момент кожної систоли серця. При цьому серце зміщується і доторкується у більшості тварин бічною поверхнею лівого шлуночка (у собак і хутрових звірів – верхівкою) до грудної стінки, спричиняючи незначне випинання її.

Визначають місце, силу, поширеність і характер поштовху. У дорослої великої рогатої худоби поштовх виявляється зліва, в 4-му міжребер'ї, на 6 см нижче від лінії плечового суглоба. Пальпацією досліджують поштовхи з лівого і правого боків.

Аналіз останніх досліджень. У більшості здорових тварин серцевий поштовх за силою помірний, локалізований у певному місці грудної стінки і може в деяких випадках трохи змішуватися вперед, назад, вгору, вправо [1]. Зміщення вперед спостерігається при тимпанії рубця, метеоризмі кишок, гострому розширенні шлунка [2]. Зміщення назад буває при гіпертрофії, дилатації серця [3]. Одночасне зміщення назад і вгору характерне для ексудативного перикардиту, особливо травматичного перикардиту великої рогатої худоби, а також гідроперикарду [4]. Зміщення вправо може бути при лівосторонній альвеолярній емфіземі легень, травматичному перикардиті, гідроперикарді [5]. Посилення серцевого поштовху буває у тварин поганої вгодованості, а також у всіх тварин при збудженні, після фізичного навантаження, при гіпертрофії і дилатації серця, інтоксикації, гарячці, міокардиті [6]. При гострому міокардиті поштовх часто стає стукаючим (гранично посиленим і поширеним) [7].

Ослаблення серцевого поштовху помічається у тварин м'ясних порід, при ожирінні, недостатності моціону, при пониженому тонусі міокарда й послабленні скорочувальної здатності його (міокардоз, міокардіофіброз), при ексудативному перикардиті, плевриті, альвеолярній емфіземі легень, гідроперикарді й гідротораксі [8].

Поширений (дифузний) серцевий поштовх може бути при ексудативному перикардиті, плевриті, гідроперикарді, гідротораксі, гіпертрофії і особливо дилатації серця та альвеолярній емфіземі легень. При дослідженні серцевого поштовху звертають увагу і не

характер його. Наприклад, при гіпертрофії серця він тривалий, а при дилатації – короткий.

Мета досліджень. Розкрити мехатронні властивості систем синтезу технічного забезпечення ранньої діагностики внутрішніх хвороб великої рогатої худоби.

Результати досліджень. Завданнями досліді передбачалось 1) порівняти класичну методику вимірювання частоти скорочень серця з використанням фонендоскопу із вимірюваннями стенду «ОК-1». Було обрано 4 точки: точка А – з правого боку четвертий міжреберний проміжок, на 4–6 см нижче лінії плечового суглоба; точка Б - з лівого боку у четвертому міжреберному проміжку на 1-2 см нижче лінії лопатко-плечового суглобу; точка В – з лівого боку у четвертому міжреберному проміжку на 4–6 см нижче лінії лопатко-плечового суглоба та точка Г – з лівого боку в третьому міжреберному проміжку на 6–8 см нижче лінії лопатко-плечового суглоба.

В контрольній групі тварин (n=5) вимірювання проводили за класичною методикою, а в дослідній групі тварин (n=5) для вимірювання частоти скорочень серця використовували реєструючий пристрій «ОК-1». Результати досліді викладені в таблиці 1.

1. Результати дослідження мехатронних властивостей діагностичного стенду щодо реєстрації скорочень серця у ВРХ, $M \pm m$, n=5.

Показник	Датчик	Група тварин	
		контрольна	дослідна
Частота скорочень серця за 1 хвилину з використанням реєстратора «ОК-1»	(А)	67,0±2,76	66,8±3,71
	(Б)	67,8±2,91	67,6±3,92
	(В)	66,2±2,60	65,8±4,06
	(Г)	67,0±3,00	67,2±4,35

Робота серця у здорових тварин супроводжується звуками, які прийнято називати тонами. Аускультациєю виявляють два чітко виражених постійних тони – перший і другий.

Перший тон виникає під час систоли, тому називається систолічним. Він утворюється рядом звукових компонентів, головними з яких є звуки від закривання атріовентрикулярних клапанів і від скорочення шлуночків. На відміну від другого перший тон сильніший, довший і нижчий. М'язові компоненти надають йому деякої глухості.

Другий тон прийнято називати діастолічним, оскільки він при звичайній аускультациї чується на початку діастоли. Головними звуковими компонентами його є звуки від закривання клапанів аорти й легеневої артерії та звуки від коливань стінок цих судин. Другий тон порівняно з першим слабкіший, коротший, вищий і виразніший.

За даними М. А. Уразаєва, вони складаються як з низькочастотних, так і з високочастотних звукових коливань. Низькочастотні звукові коливання, які входять до складу першого і другого тонів серця, триваліші порівняно з високочастотними. Амплітуда коливань першого тону вища такої другого тону. Отже, перший тон сильніший, голосніший порівняно з другим.

При прискореному серцебитті важко відрізнити перший тон від другого, а тому слід пам'ятати, що перший тон збігається з серцевим поштовхом і майже збігається з артеріальним пульсом. У здорових тварин перший тон більш виразний у точках найкращої чутності атріовентрикулярних клапанів, а другий – у точках найкращої чутності клапанів аорти й легеневої артерії.

Тони серця можуть змінюватися під впливом фізіологічних і особливо патологічних факторів.

Посилення обох тонів буває у тварин поганої вгодованості, після фізичного навантаження, при збудженні, вагітності, гарячці, гіпертрофії міокарда.

Послаблення обох тонів спостерігається у тварин вищої за середню вгодованості, при недостатності моціону, при виражених деструктивних змінах міокарда, ексудативному перикардиті, плевриті, гідроперикарді і гідротораксі.

Посилення першого тону виявляється на початку розвитку гострого міокардиту, при гіпертрофії шлуночків, анемії. При вираженій анемії він стає «хлопаючим», інколи «дзвінким» (внаслідок недостатнього наповнення шлуночків кров'ю).

Послаблюється перший тон при недостатності атріовентрикулярних клапанів (вади серця), а також при деструктивних змінах міокарда.

Подовження, розщеплення і роздвоєння першого тону можуть бути при різночасному скороченні шлуночків, різночасному закриванні атріовентрикулярних клапанів, виділенні звуку коливання стінок аорти і легеневої артерії у випадку ураження їх (зниження тону, склероз, аневризма). Роздвоєння відрізняється від розщеплення чіткішою паузою між півтонами. Такі зміни першого тону можуть мати функціональне й органічне походження. Прогонка тварини знімає подовження і розщеплення.

Посилюється другий тон при підвищенні кров'яного тиску у великому або малому колах кровообігу. У цих випадках акцент другого тону виявляється відповідно на аорті або на легеневій артерії.

Послаблюється другий тон при зниженні кров'яного тиску в колах кровообігу, при колапсі, ураженні клапанів аорти і легеневої артерії (вади серця). Розщеплення і роздвоєння другого тону виникає при різночасному закриванні клапанів аорти і легеневої артерії

внаслідок ураження їх (вади серця) або внаслідок функціональної слабкості одного з шлуночків серця і зміни тиску крові у великому або малому колах кровообігу. Найчастіше такі зміни другого тону бувають при пневмонії та альвеолярній емфіземі легень. Виражене роздвоєння і посилення другого тону при наявності тахікардії являє собою феномен, який називається ритмом «перепела».

У тяжко хворих тварин прослуховуються триударний ритм «галоупу» або ембріокардія. Ритм «галоупу» характеризується трьома тонами, які чуються один за одним майже через рівні проміжки часу, частіше з наголосом на останньому з них. Завжди супроводжується тахікардією. Основна причина його – роздвоєння першого тону в зв'язку з різночасним скороченням шлуночків при різко вираженій функціональній слабкості одного з них.

Ембріокардія нагадує ритм серця ембріону й характеризується чергуванням цілком однакових тонів, які йдуть один за одним через рівні проміжки часу. Головна причина її – різке послаблення другого тону серця в зв'язку із зниженням артеріального кров'яного тиску. При цьому фонетично чути тільки перший тон, як при аускультатії серця плоду. Ембріокардія спостерігається при тяжких захворюваннях, які супроводяться парезом артеріальних судин, при колапсі, великих втратах крові. При аускультатії серця слід звертати увагу і на виражену глухість обох тонів, яка може бути зумовлена дифузними деструктивними змінами міокарда, а також втратою еластичності клапанів при вадах серця.

Аускультатія серця дає змогу виявити не тільки різноманітні зміни серцевих тонів, а й наявність перикардіальних і ендокардіальних шумів.

Також нами було досліджено частотні характеристики акустичних феноменів під час роботи серця (табл. 2).

2. Частотні характеристики серцевої діяльності.

Ознака	Характерний діапазон частот, Гц	Загальний діапазон частот, Гц
I тон (нормальний)	90–180	20–2800
I тон («глухий»)	45–90	
I тон («хлопаючий»)	180–355	
II тон (нормальний)	90–180	
II тон («металевий»)	180–355	
III тон (нормальний)	20–90	20–5600
Момент відкриття тристулкового клапана	180–355	

З метою ранньої діагностики хвороб серцево-судинної системи нами було розроблено алгоритм ранньої діагностики внутрішніх

хвороб ВРХ. За результатами реєстрації з використанням датчиків приладу ОК-1 змін сили серцевого поштовху можна встановлювати попередній діагноз хвороби.

Алгоритм ранньої діагностики внутрішніх хвороб ВРХ за змінами сили скорочень серця:

1. Посилення серцевого поштовху:

- кахексія;
- збудження;
- фізичне навантаження;
- інтоксикація;
- гіпертрофія і дилатація серця;
- гострий міокардит.

2. Послаблення серцевого поштовху:

- ожиріння;
- міокардіодистрофія;
- міокардіофіброз;
- ексудативний перикардит;
- альвеолярна емфізема;
- плеврит;
- гідроперикард, гідроторакс.

В четвертому досліді було проведено дослідження мехатронних властивостей діагностичного стенду системи технічного забезпечення ранньої діагностики хвороб ВРХ з використанням термометрії з наступною комп'ютерною обробкою інформації.

Термометрія – вимірювання температури тіла – має важливе діагностичне значення, оскільки часто дає змогу виявити хворих ще до появи інших, специфічних клінічних симптомів, ізолювати їх від здорових тварин і надати лікувальну допомогу. За змінами температури тіла спеціалісти ветеринарної медицини можуть контролювати перебіг хвороби, виявляти ускладнення, стежити за результатами і ефективністю лікування, прогнозувати закінчення хвороби. В зв'язку з цим, термометрія є обов'язковим і досить важливим методом дослідження, тим більше, що деяким захворюванням характерна цілком закономірна крива температурних коливань. Вимірюють температуру не лише у хворих тварин, а і в клінічно здорових при дослідженні на сап, проведенні диспансеризації, відбиранні тварин у господарствах-постачальниках перед транспортуванням в спеціалізовані господарства, або перед забоєм, при виникненні інфекційних захворювань, коли необхідно відокремити здорових тварин від хворих.

Температуру тіла класичним методом вимірюють за допомогою ртутних максимальних термометрів, а також з використанням електротермометрів різної конструкції. Медичний термометр

виготовлений із тонкого скла і має шкалу з поділками від 34 до 42,5 °C; ветеринарний – округлий, виготовлений з щільнішого скла з підвищеним вмістом Феруму і має шкалу, градуйовану від 34 до 44 °C. Ртутний стовпчик завдяки звуженню капіляра на його початку утримується на тій максимальній висоті, яка є при вимірюванні температури, не опускаючись вниз.

Температуру тіла у амбулаторно хворих тварин вимірюють один раз, а у тварин, які перебувають на стаціонарному лікуванні, – не менше як два рази на добу: вранці між 7-ю і 9-ю, а ввечері між 17-ю і 19-ю год. У хворих тварин, які перебувають у тяжкому стані, температуру тіла вимірюють через кожні 2 год. Дані термометрії необхідно фіксувати у журналі реєстрації хворих тварин, історії хвороби, на температурних листках або графіках.

У здорових тварин механізми терморегуляції забезпечують рівновагу між теплоутворенням і тепловіддачею, завдяки чому температура тіла підтримується постійною з деякими коливаннями, які залежать від фізіологічних і зовнішніх факторів.

Температура тіла у здорових тварин різних видів неоднакова. У тварин одного і того самого виду вона коливається в певних межах і залежить від статі, породи та віку тварини. Крім того, температура коливається також залежно від пори року, температури навколишнього середовища, прийняття корму і води, довготривалих м'язових навантажень та інших факторів. У здорових тварин температура змінюється і протягом доби залежно від процесів обміну речовин, але коливання її не повинні перевищувати 1 °C. Найнижча температура буває вранці, а максимальна – ввечері. У великої рогатої худоби фізіологічні межі температури тіла коливаються від 37,5 до 39,5 °C.

Завданнями дослідів передбачалось 1) порівняти класичну методику вимірювання температури тіла тварин із вимірюваннями стенду «ОК-1». Було обрано 2 точки: точка А – з правого боку у четвертому міжреберному проміжку, на лінії лопатко-плечового суглоба; точка Б – з лівого боку у четвертому міжреберному проміжку на лінії лопатко-плечового суглоба. В контрольній групі тваринам (n=5) для вимірювання температури ректально використовували максимальний ртутний термометр, а в дослідній групі (n=5) використовували реєструючий пристрій «ОК-1». Під час проведення експерименту температура повітря складала 22°C, відносна вологість повітря 65%. Результати досліджень температури тіла ВРХ з комп'ютерною обробкою інформації викладені в таблиці 1.6 свідчать, що достовірна різниця між результатами термометрії з використанням приладу «ОК-1» та результатами вимірювань ртутним термометром виникла внаслідок різниці між ректальною температурою та температурою шкіри. Як відомо, температура шкіри

залежить від температури зовнішнього середовища, вологості повітря, швидкості вітру і багатьох ендогенних факторів. За результатами наших досліджень температура шкіри дослідних тварин була на 0,8°C нижчою за ректальну температуру.

3. Результати фізичного дослідження мехатронних властивостей діагностичного стенду щодо вимірювання температури тіла у великої рогатої худоби, $M \pm m$, $n=5$.

Показник	Датчик	Група тварин	
		контрольна	дослідна
Температура тіла °C (реєстратор «ОК-1»)	(А)	38,22±0,14	37,42±0,20*
	(Б)	38,22±0,14	37,4±0,21*

Примітка. * - $P \leq 0,05$ порівняно з контролем.

Отже, результати досліджень мехатронних властивостей діагностичного стенду системи технічного забезпечення ранньої діагностики внутрішніх хвороб ВРХ свідчать про діагностичну значимість використаного методу і приладу.

З метою ранньої діагностики нами було розроблено алгоритм ранньої діагностики внутрішніх хвороб ВРХ. За результатами вимірювання температури шкіри з використанням датчиків приладу ОК-1 можна встановлювати попередній діагноз хвороби.

Висновок. З використанням сучасних комп'ютерних систем діагностика хвороб великої рогатої худоби може включати ряд задач: видача переліку можливих діагнозів, сумісних з даною сукупністю симптомів; визначення подальших діагностичних тестів, які забезпечують диференційний діагноз; обчислення вірогідності альтернативних діагнозів; складання статистичних таблиць про зв'язок симптомів, діагнозів і показань до відповідного лікування; розрахунки для кількісного описання результатів складних діагностичних процедур; видача інформації про нові діагностичні методи; накопичення і видача відомостей про окремих пацієнтів (історії хвороби, особливості реактивності організму тощо).

Список літератури

1. http://www.vmurol.com.ua/upload/Naukovo_doslidna%20robota/Elektronni_vidannya/Molod_osvita/Tezi_Molod_osvita_P_III_2014.pdf.
2. <https://studfiles.net/preview/4267491/page:6>.
3. https://ua.iliveok.com/health/gipertrofiya-livogo-shlunochka_109488i15949.html.
4. <http://agroua.net/animals/veterinary/diseases/g1-1/g2-1/d-274>.
5. <https://es.scribd.com/document/326510721/NP-Vnutrishni-Khvorobi-Tvarin>.
6. http://e-pidruchniki.com/content/405_1045_Sercevo_sydinna_sistema.html.
7. <http://momandkids.net.ua/likyvana-xvorobs/5497-difyzny-miokardit.html>.
8. Valeriy Voytyuk, Ivan Rogovskii. Synthesis technical support for early diagnosis of internal diseases of cattle. MOTROL. 2017. Lublin. Vol. 19. No 3. P. 171–178.

References

1. http://www.vmurol.com.ua/upload/Naukovo_doslidna%20robota/Elektronni_vidannya/Molod_osvita/Tezi_Molod_osvita_P_III_2014.pdf.
2. <https://studfiles.net/preview/4267491/page:6>.
3. https://ua.iliveok.com/health/gipertrofiya-livogo-shlunochka_109488i15949.html.
4. <http://agroua.net/animals/veterinary/diseases/g1-1/g2-1/d-274>.
5. <https://es.scribd.com/document/326510721/NP-Vnutrishni-Khvorobi-Tvarin>.
6. http://e-pidruchniki.com/content/405_1045_Sercevo_sydinna_sistema.html.
7. <http://momandkids.net.ua/likyvana-xvorobs/5497-difyzny-miokardit.html>.
8. Valeriy Voytyuk, Ivan Rogovskii. (2017). Synthesis technical support for early diagnosis of internal diseases of cattle. MOTROL. Lublin–Rzeszów. Vol. 19. No 3. 171–178.

МЕХАТРОННЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ СИНТЕЗА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ВНУТРЕННИХ БОЛЕЗНЕЙ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

В. Д. Войтюк, И. Л. Роговский

Аннотация. В результате проделанной работы обоснованы аналитические модели описания исходного структурного состояния исследуемых реестров клинических показателей животных в системах технического обеспечения ранней диагностики внутренних болезней крупного рогатого скота. Авторами установлены аналитические модели описания компьютерной обработки измерительной информации в системах технического обеспечения ранней диагностики внутренних болезней крупного рогатого скота. Также определены аналитические модели описания оценки адекватности обработки измерительной информации в системах технического обеспечения ранней диагностики внутренних болезней крупного рогатого скота.

В данном решении используется синергетический подход, согласно которому любое взаимодействие природных систем приводит к обмена между ними веществом, энергией и информацией. При этом одна из систем (ранняя диагностика внутренних болезней крупного рогатого скота) является излучателем, другая (техническая мехатронная система) – аккумулятором. При внезапном сбросе синергетики первой из систем, другая система может накапливать избыточную синергетику с одновременным внезапным усилением динамики внутренних процессов, что приводит к структурированию системы и диссипации. При этом самоорганизация приводит к изменению механизма передачи синергетики к мехатронной системы на более интенсивное состояние.

Ключевые слова: свойство, диагностика, мехатроника, система, болезнь, крупный рогатый скот

PROPERTIES OF MECHATRONIC SYSTEMS SYNTHESIS TECHNICAL SUPPORT FOR EARLY DIAGNOSIS OF INTERNAL DISEASES OF CATTLE

V. D. Voitiuk, I. L. Rogovskii

Abstract. *In this work, a grounded analytical model of the initial structural state of the investigated registers of clinical indicators in animals in systems of technical support for early diagnosis of internal diseases of cattle. The authors found an analytical model to describe computer processing of measuring information systems technical support for early diagnosis of internal diseases of cattle. Also, the analytical model describing the assessment of the adequacy of the measurement information processing systems technical support for early diagnosis of internal diseases of cattle.*

In this solution, a synergistic approach, according to which any interaction of natural systems leads to exchange between matter, energy and information. While one of the systems (early diagnosis of internal diseases of livestock) is the emitter, the other (technical mechatronic system) – battery. The sudden discharge of the first synergy of the two systems, the other system can accumulate surplus synergy with the simultaneous sudden strengthening of the dynamics of internal processes that leads to the structuring of the system and dissipation. In this self-organization leads to changes in the transmission mechanism of synergy to mechatronic system for the more intense condition.

Key words: *property, diagnostics, mechatronics, system, disease, cattle*

УДК 631.3.004

ОСНОВНІ ЧИННИКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

І. Л. Роговський, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України**
e-mail: irogovskii@gmail.com

Анотація. *У період переходу аграрного сектора України до ринкових відносин відбулися зміни форм власності і механізму*

© І. Л. Роговський, 2018

господарювання в обслуговуючих галузях агропромислового комплексу, що призвело до зменшення обсягів виконаних робіт і послуг та зниження продуктивності техсервісних підприємств

Аналіз науково-технічної, нормативної, інструктивної, методичної і довідникової літератури свідчить, що питання визначення впливу основних чинників на продуктивність техсервісних підприємств агропромислового комплексу потребує уточнення існуючих і розроблення нових науково-методичних підходів визначення впливу чинників на продуктивність.

Науковою новизною являється виявлення основних чинників, які впливають на ефективність роботи техсервісних підприємств та визначення їх впливу на продуктивність живої і уречевленої праці.

Ключові слова: *чинник, продуктивність, процес, відновлення, працездатність, сільськогосподарська машина*

Постановка проблеми. Техсервісні підприємства обслуговуючих галузей АПК України тривалий період перебувають у стані адаптації до ринкових відносин, що призвело до відставання динаміки зростання продуктивності. Зростання продуктивності підприємств обслуговуючих галузей АПК залежить перед усім від рівня розвитку продуктивних сил, використання прогресивних технологій, впровадження нових ефективних форм організації і управління, спеціалізації, кооперації та інше.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз різних теоретико-методологічних концепцій продуктивності [1–10] дає підставу для висновку, що в науці склалися різні підходи до визначення проблеми продуктивності.

Згідно з марксистською концепцією продуктивною працею, що створює вартість, є лише жива праця, а засоби виробництва та інші фактори додаткової вартості не створюють. В роботах К. Маркса, Ф. Енгельса, Д. Грейсона, К. О'Дел-ла, С. Струмиліна і В. Астраускаса обґрунтовується продуктивність як продуктивність праці, розглядаючи її як основу формування вартості.

Друга точка зору – всі продуктивні показники підпорядковані продуктивності праці. До вчених, які відстоюють таку позицію відносяться П. Самуельсон, І. Прокопенко і В. Нордгауз. В роботах П. Самуельсона вказується, що макроекономічна політика передбачає дві цілі: швидке економічне зростання та високу продуктивність праці. Економічне зростання це збільшення загальних обсягів виробництва, а продуктивність праці відображає кількість випущених товарів на одиницю затрачених ресурсів.

Автори теорії факторів виробництва стверджують, що кожен

фактор має фізичну продуктивність і незалежно від праці створюють вартість (відповідну частину вартості). Ж. Б. Сей вважав основними факторами виробництва працю, землю і капітал. Головним недоліком цієї концепції є розгляд землі і капіталу як самостійних факторів, що мають фізичну продуктивність, однак без поєднання з працею ці фактори не є джерелом вартості. Тільки у поєднанні з працею виникає нова продуктивна сила – синергетичний ефект. З урахуванням синергетичного ефекту сукупність чинників, що впливають на продуктивність класифікують на декілька основних груп. До першої групи включені чинники, пов'язані з працею, а до другої – чинники, пов'язані з засобами праці. При цьому необхідно враховувати, що у виробництві продукції, беруть участь жива і уречевлена праця. Зростання продуктивності праці означає зменшення кількості живої праці і збільшення кількості уречевленої праці, але загальна сума праці, втіленої в продукцію, роботи і послуги, зменшується.

У роботах В. Вітвіцького, Д. Скотта і В. Петюха продуктивність розглядається як сукупний показник продуктивності праці, капіталу, ресурсів. Взаємозв'язки між працею, капіталом і соціально-організаційним середовищем важливі в тому контексті, що вони збалансовані та скоординовані в єдине ціле. Підвищення продуктивності залежить від того, наскільки правильно визначаються і використовуються основні чинники виробничої системи техсервісних підприємств. Важливо виділити основні групи чинників, що визначають і впливають на зміну продуктивності, це чинники пов'язані з працею, чинники пов'язані з ресурсами і капіталом, зовнішні і внутрішні чинники та природно-біологічні чинники, контрольовані і неконтрольовані, тверді-стійкі і м'які мінливі. Першим кроком до підвищення продуктивності є визначення проблемних сфер серед усіх чинників продуктивності, а наступний крок – виділення контрольованих чинників. Центральне місце в програмі підвищення продуктивності техсервісних підприємств посідають чинники оптимізації організаційно-технічних і трудових процесів: ремонту й обслуговування машин і устаткування, збільшення виробничої потужності підприємства шляхом впровадження прогресивних технологій чи інших коригувальних заходів зменшення часу простою і збільшення ефективності використання наявних виробничих потужностей.

Важливе значення для підвищення продуктивності має оптимальне використання матеріалів, сировини і енергії. Навіть незначні зусилля, спрямовані на зменшення їх споживання дають позитивні результати. Так, наприклад, чинник продуктивності матеріалів і енергії містить такі важливі аспекти, як вихід корисної продукції чи енергії на одиницю їх витрат, підвищення якості

матеріалів за допомогою первинної обробки для поліпшення використання в основному процесі, заміну імпорту, поліпшення управління матеріалами для уникнення утворення надлишкових запасів та розвиток ефективних систем постачання матеріалів і енергії. В своїх дослідженнях П. Ф. Петроченко і Л. М. Пунський доводять, що одним з визначальних чинників зростання продуктивності є оптимальне використання і застосування здібностей та ефективність діяльності робітників, інженерно-технічних працівників, менеджерів та керівників.

Мета досліджень – підвищення продуктивності техсервісних підприємств обслуговуючих галузей АПК України.

Результати досліджень. Програма досліджень передбачала: 1. Дослідження та виявлення основних чинників, які впливають на продуктивність техсервісних підприємств. 2. Створення АРМ для автоматизованого збору, накопичення і узагальнення результатів дослідження. 3. Автоматизоване оброблення на ПК результатів дослідження з використанням методів математичного моделювання при визначенні впливу основних чинників на продуктивність техсервісних підприємств.

Об'єкти дослідження – ремонтні майстерні господарств, спеціалізовані ремонтні майстерні, види продукції, робіт і послуг та основні чинники продуктивності ремонтних підприємств, ремонту тракторів, ремонту комбайнів та самохідних сільськогосподарських машин, ремонту сільськогосподарської техніки та устаткування, технології ремонту і технічного обслуговування машин і устаткування.

Обґрунтування та вибір чинників, які впливають на продуктивність ремонтних підприємств здійснювалось шляхом опрацювання та аналізу вітчизняних та зарубіжних досліджень та існуючих методик визначення продуктивності.

Методологічні основи визначення фактичних значень чинників досліджуваних ремонтних підприємств базуються на інформації звітності про виробничу діяльність і витрати підприємства згідно з Положенням бухгалтерського обліку та «Методичних рекомендацій з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції, робіт і послуг сільськогосподарських підприємств», затверджених Міністерством аграрної політики України, наказ № 132 від 18.05.2001.

Виявлені чинники продуктивності згруповані в таблиці, а розроблені форми таблиць надані зональним НДЦ «Укراгропромпродуктивність» для збору фактичних значень чинників продуктивності ремонтних майстерень загального призначення та спеціалізованих ремонтних підприємств.

Для автоматизації збору, узагальнення і оброблення результатів досліджень розроблена програма – АРМ, яка включає в

себе всі позиції збору даних – основних чинників, із вказуванням одиниць виміру з довідниками можливих значень чинників. Отримані результати досліджень були введені в ЕЛС для накопичення і оброблення на ПК. Узагальнені результати досліджень фактичних значень чинників продуктивності ремонтних підприємств АПК обробляються методами математичного моделювання з використанням програм типу «Аналіз», «Peg Mod».

Виконаний аналіз науково-технічної, нормативної, інструктивної, методичної і довідникової літератури дозволив встановити відсутність єдиного науково-обґрунтованого підходу до визначення продуктивності в ремонтних підприємствах агропромислового комплексу. В результаті аналізу та узагальнення матеріалів паспортизації та спеціалізації ремонтних підприємств, виконаних обсягів техсервісних робіт і послуг, затрат праці та витрат матеріалів на роботи і послуги по майстернях загального призначення та спеціалізованих підприємствах АПК виявлені чинники, які впливають на продуктивності техсервісного підприємства. При визначенні продуктивності техсервісного підприємства, слід враховувати: вартість устаткування; виробничу площу; чисельність працюючих; обсяг виробленої продукції (ремонтів і ТО тракторів, комбайнів і самохідних машин та інших сільськогосподарських машин); вартість виробленої продукції (ремонтів і ТО тракторів, комбайнів та інших сільськогосподарських машин); затрати праці на ремонти і ТО тракторів, комбайнів та інших сільськогосподарських машин; загально виробничі витрати; амортизацію будівель і устаткування; витрати електроенергії; витрати паливно-мастильних матеріалів; витрати на утримання устаткування; витрати на ремонт устаткування; витрати на оплату послуг і робіт сторонніх організацій; витрати на збут.

Виконані дослідження дозволили виявити та визначити фактичні значення чинників продуктивності з ремонтних майстерень загального призначення та спеціалізованих ремонтних підприємств, які базуються на інформації звітності про виробничу діяльність і витрати ремонтних підприємств.

На основі виконаного етапу науково-дослідних робіт виявлено 46 чинників ($x_1, x_2, \dots, x_n$), які характеризують роботу техсервісного підприємства і впливають на функцію продуктивності.

$$П = F (X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (1)$$

де: $П$ – продуктивність техсервісного підприємства; $X_1, X_2, \dots, X_n$ – змінні чинники.

Виявлені основні чинники наведені у таблиці 1.

Результати досліджень фактичних значень чинників продуктивності ремонтних підприємств АПК введені в ЕЛС для накопичення і оброблення на ПК.

1. Основні чинники, які впливають на продуктивність техсервісних підприємств.

№ п/п	Шифр	Найменування чинників	Одиниця виміру
1	X ₁	Площа оранки (для с. г. підприємств)	га
2	X ₂	Наявна чисельність тракторів і с. г. техніки, всього у т. ч.:	шт.
3	X _{2.1}	наявна чисельність тракторів,	шт.
4	X _{2.2}	комбайнів і самохідних машин,	шт.
5	X _{2.3}	посівної, ґрунтообробної та іншої с.г. техніки	шт.
6	X ₃	Наявна кількість с.г. техніки, яка потребує ремонту, всього у.т.ч.	шт.
7	X _{3.1}	чисельність трактори	шт.
8	X _{3.2}	чисельність комбайнів і самохідних машин	шт.
9	X _{3.3}	чисельність посівної і ґрунтообробної техніки	шт.
10	X ₄	Середньорічна кількість відпрацьованих мото.-годин до ремонту на один трактор	мото-год. /трактор
11	X ₅	Виріток га на один зернозбиральний комбайн	га /комбайн
12	X ₆	Проектна потужність майстерні, у т.ч.:	
13	X _{6.1}	проектна річна кількість умовних ремонтів	шт.
14	X _{6.2}	планова річна вартість ремонтів,	тис. грн.
15	X ₇	Загальна площа земельної ділянки майстерні	м ²
16	X ₈	Вартість земельної ділянки майстерні	тис. грн.
17	X ₉	Виробнича площа майстерні	м ²
18	X ₁₀	Балансова вартість ремонтної майстерні	тис. грн
19	X ₁₁	Кількість устаткування майстерні	шт.
20	X ₁₂	Вартість устаткування майстерні,	тис. грн.
22	X ₁₃	Середньорічна чисельність працюючих	чол.
23	X ₁₄	Чисельність постійно працюючих,	чол.
24	X ₁₅	Обсяг виробленої продукції, всього у т.ч.:	шт..
25	X _{15.1}	ремонт тракторів,	шт.
26	X _{15.2}	ремонт комбайнів,	шт.
27	X _{15.3}	ремонт с.г. техніки ;	шт.
28	X ₁₆	Вартість виробленої продукції, робіт, послуг, всього	тис. грн.
29	X _{16.1}	вартість ремонту тракторів,	тис. грн.
30	X _{16.2}	вартість ремонту комбайнів,	тис. грн.
31	X _{16.3}	вартість ремонту с.г. техніки	тис. грн.
32	X ₁₇	Затрати праці, всього у т.ч.:	люд. год.
33	X _{17.1}	затрати праці на ремонт тракторів	люд. год.
34	X _{17.2}	затрати праці на ремонт комбайнів	люд. год.
35	X _{17.3}	затрати праці на ремонт с.г. техніки	люд. год.
36	X ₁₈	Загально виробничі витрати	тис. грн.
37	X ₁₉	Амортизація будівель	тис. грн.
38	X ₂₀	Амортизація устаткування	тис. грн.
39	X ₂₁	Витрати електроенергії	тис. грн.
40	X ₂₂	Витрати паливно-мастильних матеріалів	тис. грн.

Продовження табл. 1

№ п/п	Шифр	Найменування чинників	Одиниця виміру
41	X ₂₃	Витрати на утримання і ТО устаткування	тис. грн.
42	X ₂₄	Витрати на ремонт устаткування	тис. грн.
43	X ₂₅	Витрати на утримання земельної ділянки майстерні	тис. грн.
44	X ₂₆	Витрати на оплату послуг і робіт	тис. грн.
45	X ₂₇	Виручка від реалізації	тис. грн.
46	X ₂₈	Витрати на рекламу і збут	тис. грн.

З метою визначення впливу фактичних значень чинників (табл. 1) на продуктивність техсервісних підприємств АПК при математичному моделюванні був використаний програмний продукт Аналіз та розроблена програма -АРМ з використанням системи «Норма», які дозволили в автоматичному режимі визначити попередні теоретичні і графічні залежності впливу основних чинників на продуктивність техсервісних підприємств

Станом на 21.01.2018 р. автоматизовано оброблено на ПК з використанням методів математичного моделювання 45 відсотків результатів дослідження. Опрацьовані і оброблені на ПК матеріали досліджень дозволили виявити залежність продуктивності техсервісного підприємств від слідуючих чинників.

Залежність продуктивності техсервісного підприємства від виявленого чинника X_2 – наявної чисельності сільськогосподарської техніки визначається за формулою 1, а графік залежності наведено на рис. 1. Залежність (1) має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_m(X) = 0,046 \cdot X_2, \quad (2)$$

де: $P_m(X)$ – продуктивність майстерні, тис.грн./люд. год.; X_2 – наявна чисельність сільськогосподарської техніки (шт.)

Вплив. проектної річної кількості умовних ремонтів $X_{6.1}$ на продуктивність техсервісного підприємств визначається за формулою (2), а графік залежності наведено на рис. 2.

Залежність (2) має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_m(X) = 0,02 \cdot X_{6.1} - 9,75, \quad (3)$$

де: $P_m(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн./люд. год.; $X_{6.1}$ – проектна річна кількість умовних ремонтів.

Залежність продуктивності від X_7 – загальна площа земельної ділянки визначається за формулою (4), а графічна залежність представлена на рис. 3.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_m(X) = 0,0012 \cdot X_7, \quad (4)$$

де: $P_m(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн./люд. год.; X_7 – загальна площа земельної ділянки (м²).

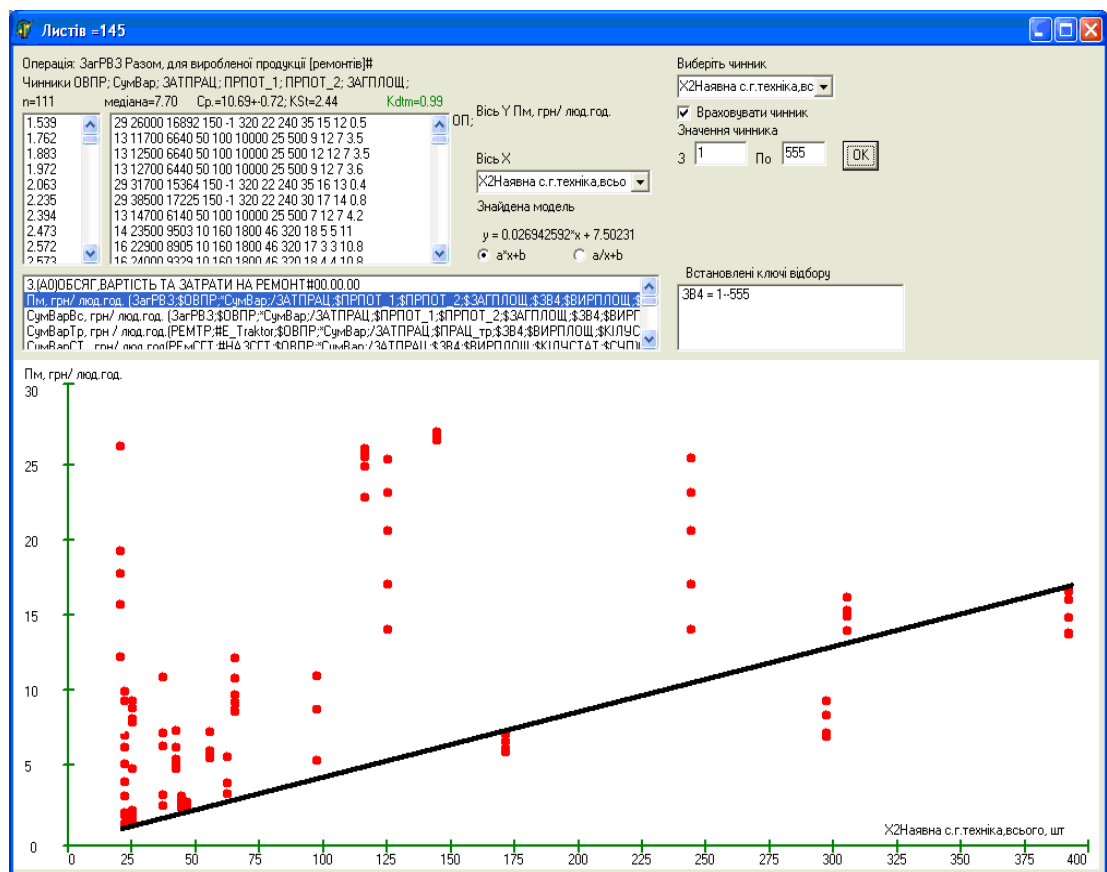


Рис. 1. Модель залежності продуктивності від X_2 наявної чисельності сільськогосподарської техніки.

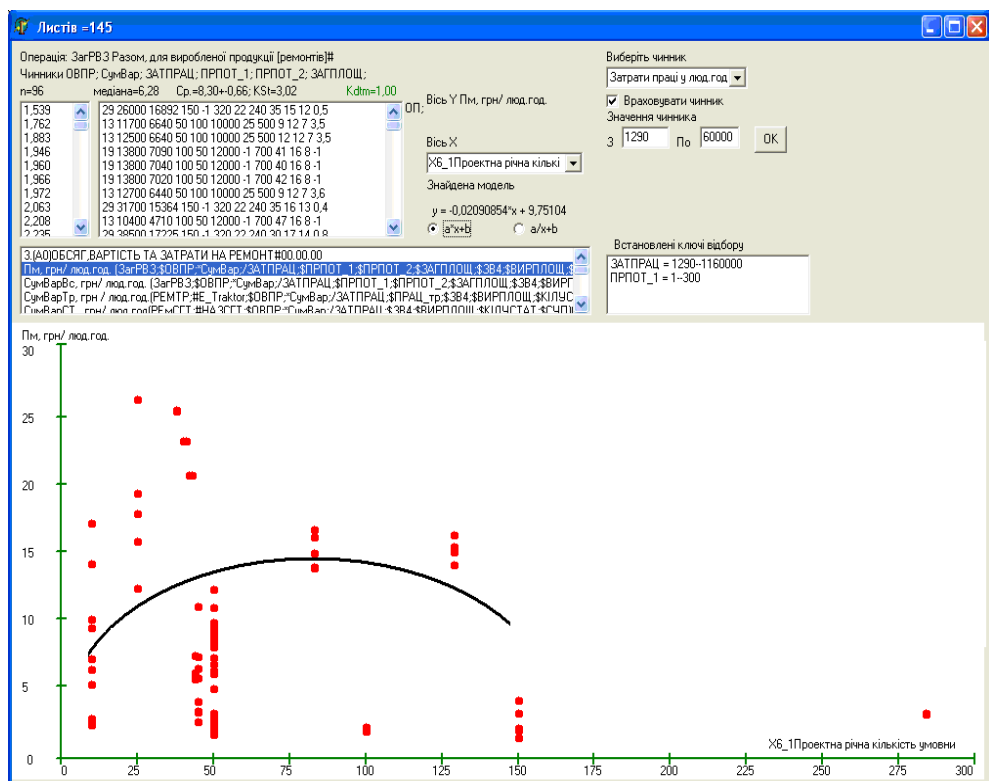


Рис. 2. Модель залежності продуктивності від X_{6_1} проектної річної кількості умовних ремонтів.

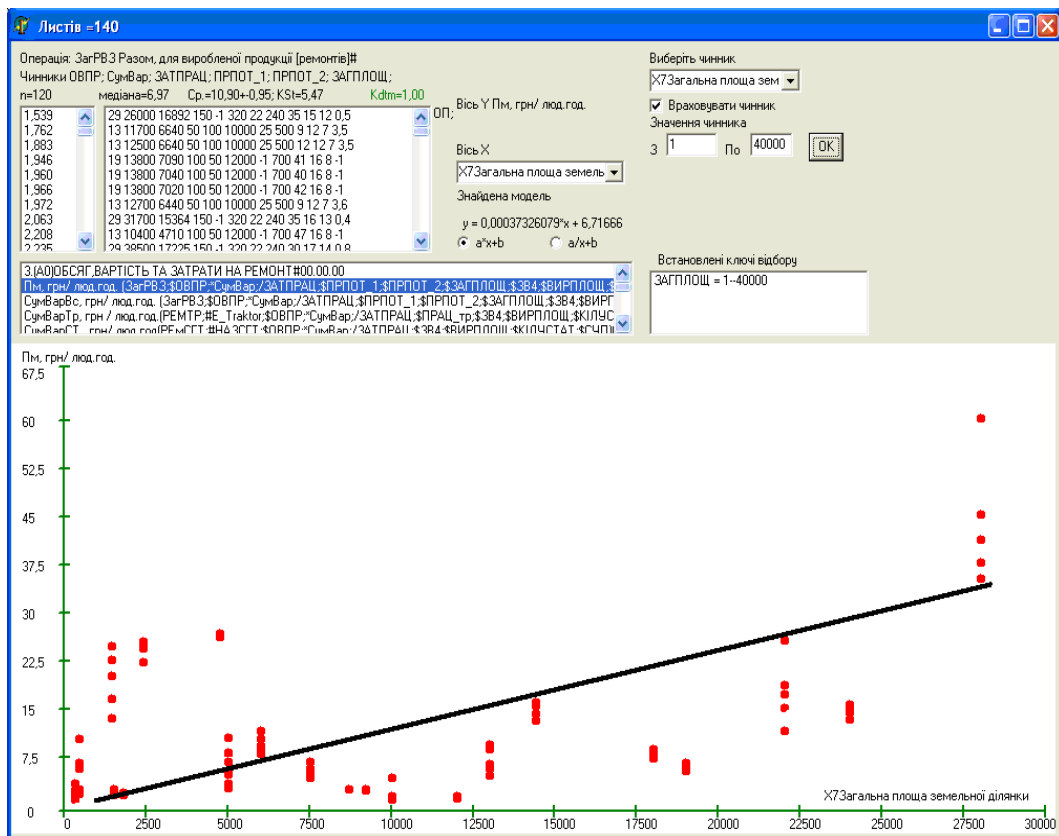


Рис. 3. Модель залежності продуктивності від X_7 загальної площі земельної ділянки.

Залежність продуктивності від X_9 – виробничої площі визначається за формулою (5), а графічна залежність представлена на рис. 4.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_m(X) = 0,22 \cdot X_9, \quad (5)$$

де: $P_m(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн. /люд. год.; X_9 – виробнича площа, m^2 .

Залежність продуктивності від X_{11} кількості устаткування визначається за формулою (6), а графічна залежність представлена на рис. 5.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_m(X) = 1,0 \cdot X_{11}, \quad (6)$$

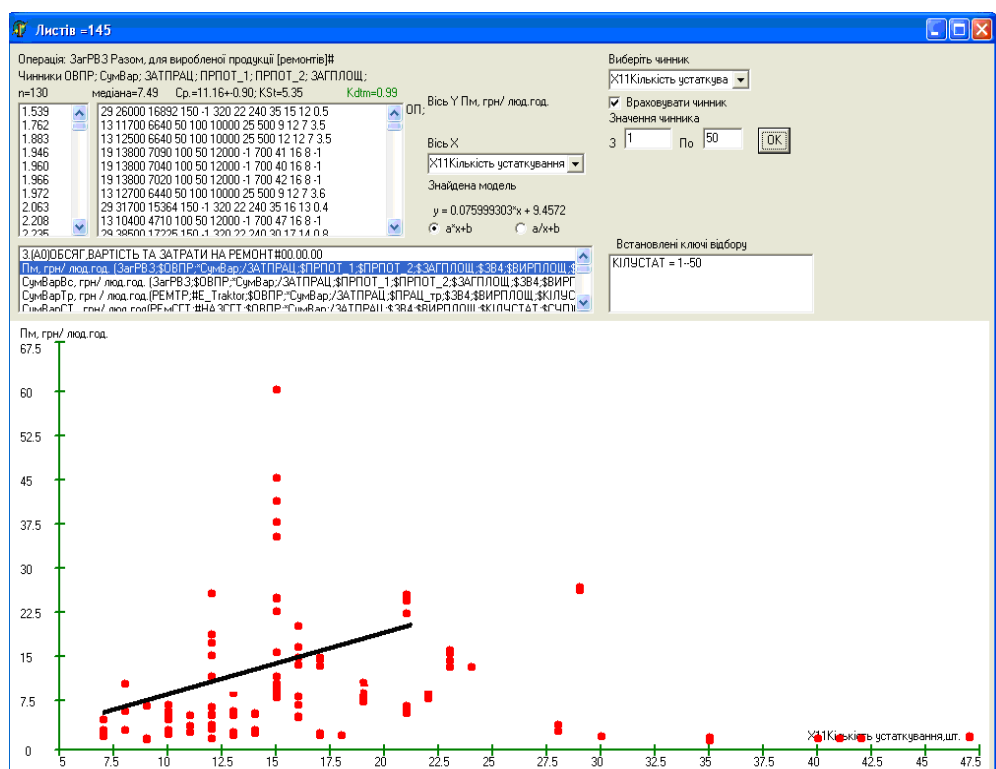
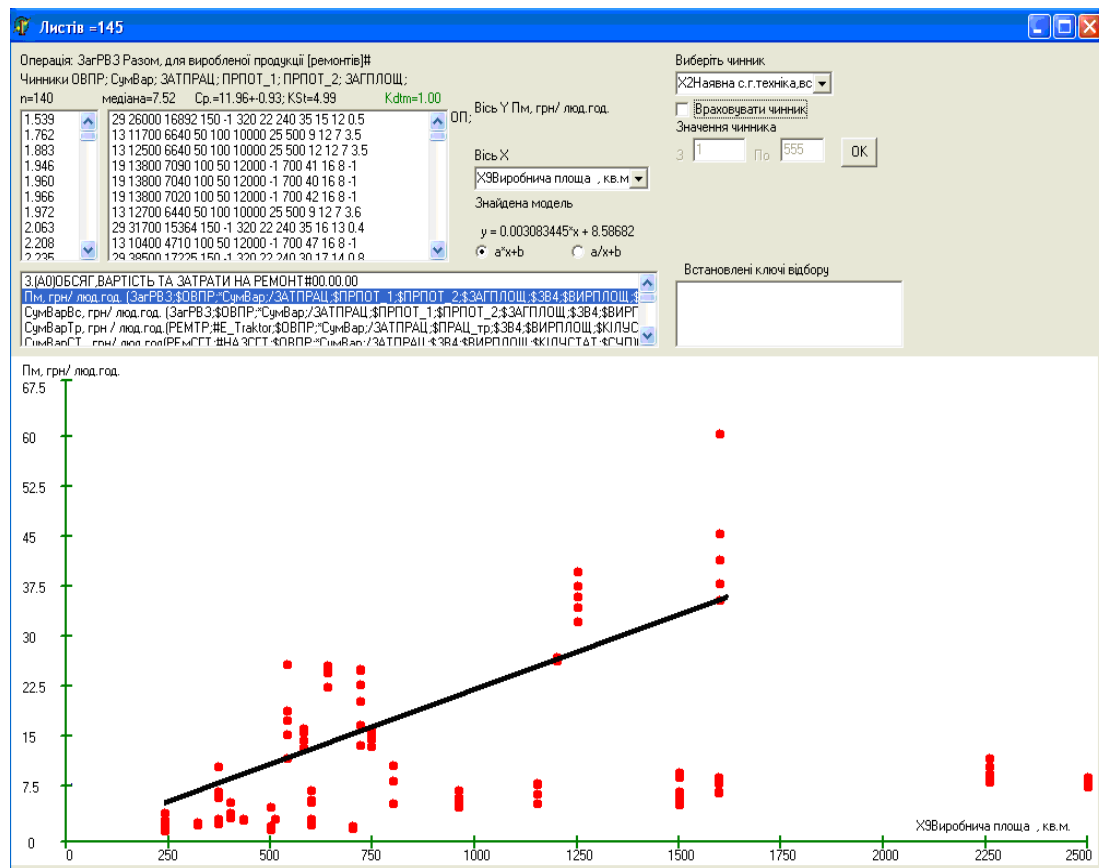
де: $P_m(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн. /люд. год.; X_{11} – кількість устаткування, шт.

Залежність продуктивності від X_{14} чисельності постійно працюючих визначається за формулою (7), а графічна залежність представлена на рис. 6.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_m(X) = 0,00037 \cdot X_{14} + 6,72, \quad (7)$$

де: $P_m(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн./люд. год.; X_{14} – чисельність постійно працюючих, чол.



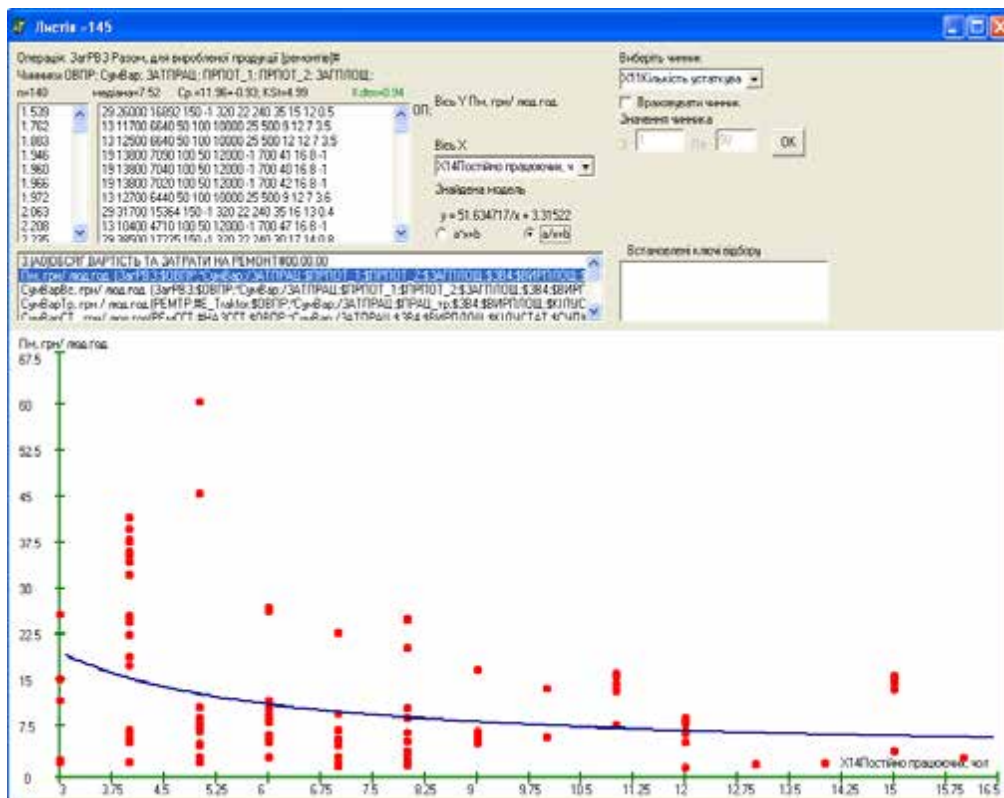


Рис. 6. Модель залежності продуктивності від X_{14} чисельності постійно працюючих.

Залежність продуктивності від X_{15} обсягу виробленої продукції (ремонтів) визначається за формулою (8), а графічна залежність представлена на рис. 7.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_M(X) = 0,035 \cdot X_{15} + 9,88, \quad (8)$$

де: $P_M(X)$ – продуктивність майстерні, тис.грн./люд. год.; X_{15} – обсяг виробленої продукції (ремонтів), шт.

Залежність продуктивності від X_{16} суми вартості виробленої продукції визначається за формулою (9), а графічна залежність представлена на рис. 8.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_M(X) = 0,0012 \cdot X_{16}, \quad (9)$$

де: $P_M(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн./люд. год.; X_{16} – сума вартості виробленої продукції, тис. грн.

Залежність продуктивності від X_{17} затрат праці визначається за формулою (10), а графічна залежність представлена на рис. 9.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_M(X) = 31652/X_{17} + 4,83, \quad (10)$$

де: $P_M(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн. /люд. год.; X_{17} – затрати праці, люд. год.

Залежність продуктивності від X_{18} загально виробничих витрат

визначається за формулою (12), а графічна залежність представлена на рис. 10.

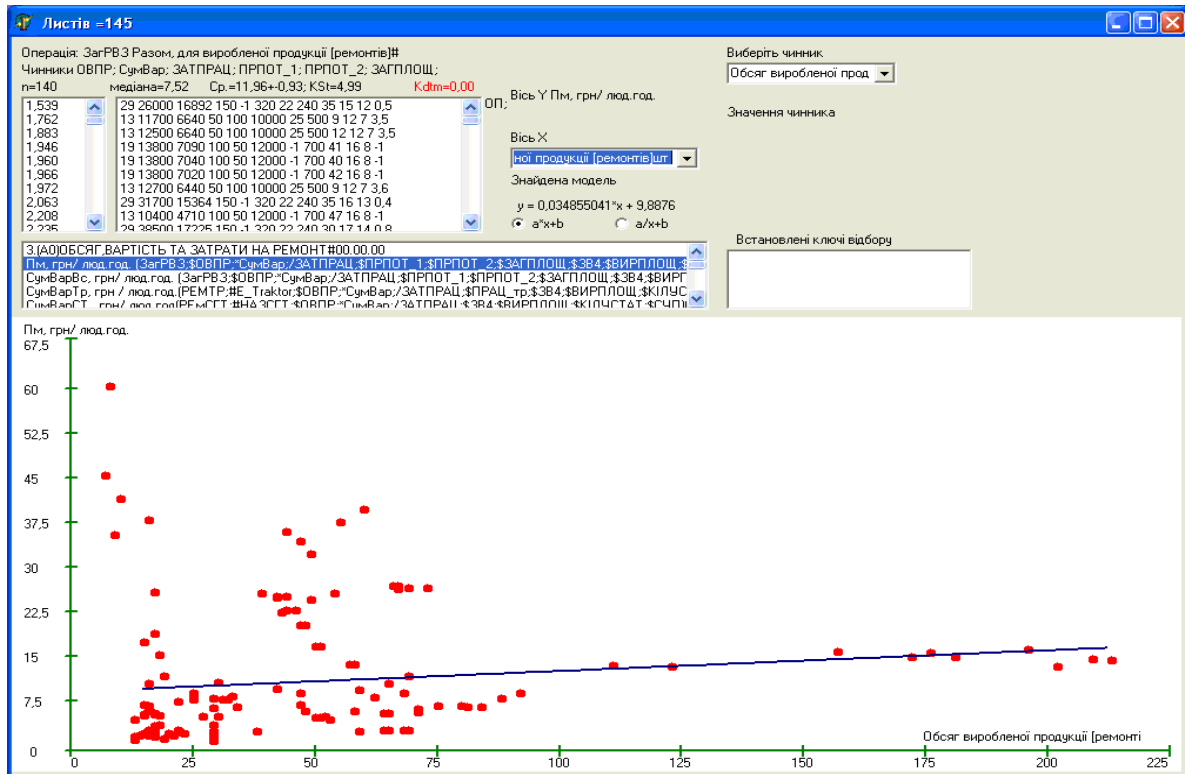


Рис. 7. Модель залежності продуктивності від X_{15} обсягу виробленої продукції (ремонтів).

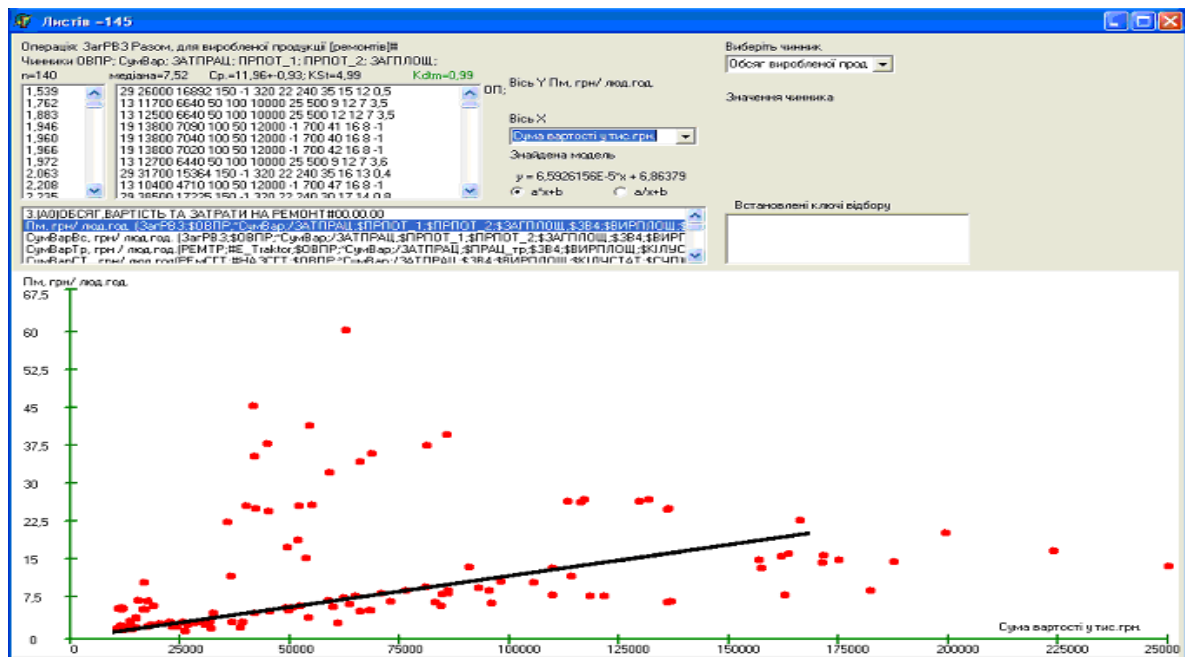


Рис. 8. Модель залежності продуктивності від X_{16} суми вартості виробленої продукції (тис. грн.).

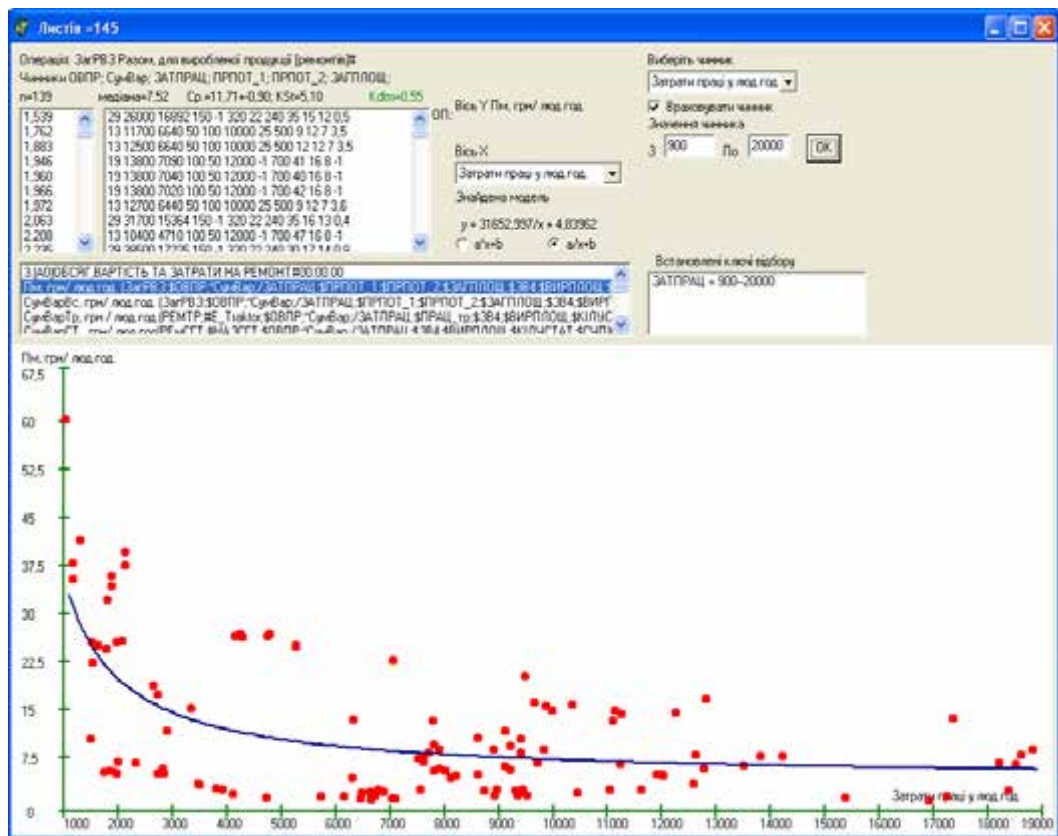


Рис. 9. Модель залежності продуктивності від X_{17} затрати праці (люд.год.).

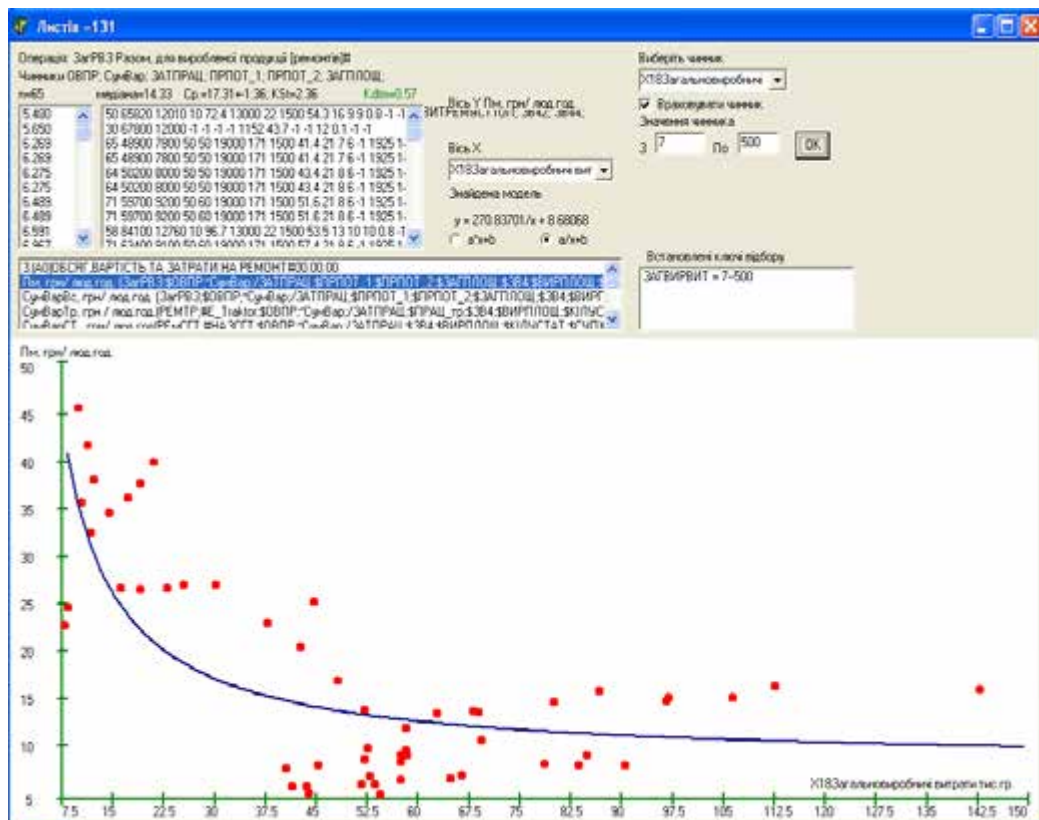


Рис. 10. Модель залежності продуктивності від X_{18} загально виробничих витрат.

Залежність має вигляд пропорційно зростаючої функції:

$$P_m(X) = 270/X_{18} + 8,6, \quad (12)$$

де: $P_m(X)$ – продуктивність майстерні, тис. грн./люд. год.; X_{18} – загально виробничі витрати, тис. грн.

Виконані дослідження дозволили за допомогою програми „Аналіз” визначити тенденції впливу виявлених чинників на продуктивність техсервісних підприємств.

Наступний етап робіт передбачає поповнення матеріалами досліджень з техсервісних підприємств бази даних та перевірку вхідних величин чинників, введених в базу даних, що дозволить уточнити отримані аналітичні залежності впливу чинників на продуктивність, за результатами яких будуть виявлені чинники, які необхідно враховувати при визначенні продуктивності техсервісних підприємств.

Висновки

1. Аналіз науково-технічної, нормативної, інструктивної, методичної і довідникової літератури не виявив єдиного науково-обґрунтованого підходу визначення впливу чинників на продуктивність техсервісних підприємств обслуговуючих галузей агропромислового комплексу.

2. Виконані дослідження дозволили виявити основні чинники ($x_1, x_2, \dots, x_n$), які характеризують роботу і впливають на продуктивність техсервісних підприємств. Використання розробленої програми-АРМ та системи «Норма» дозволили автоматизувати збір і оброблення вихідних даних з техсервісних підприємств. Використання програми „Аналіз” дозволило визначити тенденції впливу виявлених чинників на продуктивність техсервісних підприємств.

Список літератури

1. *Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л.* Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ. НУБіП України. 2016. 360 с.
2. *Роговський І. Л.* Стохастичність забезпечення працездатності сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2014. Вип. 196. Ч. 3. С. 226–232.
3. *Роговський І. Л.* Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.
4. *Роговський І. Л.* Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.
5. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 241. С. 387–395.

6. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 400–407.
7. *Rogovskii I. L.* Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.
8. *Rogovskii I. L.* Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399–407.
9. *Rogovskii I. L.* Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.
10. *Роговський І. Л.* Загальні теоретичні положення технічного контролю паливної апаратури сільськогосподарських машин за параметрами процесу паливopодачі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 356–371.

References

1. *Voytyuk, V. D., Rublyov, V. I., Rogovskii, I. L.* (2016). System guidelines for quality assurance of technical service of agricultural machinery. Kiev. NULESU. 360.
2. *Rogovskii, I. L.* (2014). Stochasticity ensuring the efficiency of agricultural machines. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2016. Vol. 196. Part 3. 226–232.
3. *Rogovskii, I. L.* (2015). Recovery Assembly units of agricultural machines. Bulletin of Kharkov National Technical University of Agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 159. 224–232.
4. *Rogovskii, I. L.* (2015). Methodologist technological operations recovery of agricultural machines with limited resources. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. Vol. 212. Part 1. 314–322.
5. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* (2016). Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2016. Vol. 241. 387–395.
6. *Rogovskii I. L., Melnyk V. I.* (2016). Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2016. Vol. 251. 400–407.
7. *Rogovskii, I. L.* (2016). Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 254. 424–431.
8. *Rogovskii I. L.* (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 258. 399–407.
9. *Rogovskii I. L.* (2017). Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 262. 403–411.

10. Rogovskii I. L. (2017). General theoretical principles of technical control of fuel equipment of agricultural machinery on parameters of process fuel. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 275. 356–371.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

И. Л. Rogovskii

Аннотация. В период перехода аграрного сектора Украины к рыночным отношениям произошли изменения форм собственности и механизма хозяйствования в обслуживающих отраслях агропромышленного комплекса, что привело к уменьшению объемов выполненных работ и услуг и снижение производительности техсервисных предприятий.

Анализ научно-технической, нормативной, инструктивной, методической и справочной литературы свидетельствует, что вопросы определения влияния основных факторов на производительность техсервисных предприятий агропромышленного комплекса требует уточнения существующих и разработки новых научно-методических подходов определения влияния факторов на производительность.

Научной новизной является выявление основных факторов, которые влияют на эффективность работы техсервисных предприятий и определение их влияния на производительность живого и овеществленного труда.

Ключевые слова: фактор, производительность, процесс, восстановление, работоспособность, сельскохозяйственная машина

MAIN FACTORS FOR PRODUCTIVITY OF PROCESSES OF RESTORATION OF AGRICULTURAL MACHINERY

I. L. Rogovskii

Abstract. In the period of transition of Ukrainian agricultural sector to a market economy, changes of forms of ownership and management in service branches of agriculture, leading to reduction of volumes of the performed works and services, and performance techserve enterprises.

Analysis of scientific, technical, regulatory, instructional, methodological and reference literature shows that issues of determining the influence of major factors on the performance tehservice of agricultural enterprises requires refinement of existing and development of new scientific-methodical approaches to determination of impact factors on performance.

Scientific novelty is to identify the main factors that affect efficiency of techservice companies and determine their impact on performance of live and materialized labor.

Key words: factor, performance, process, recovery, health, agricultural machine

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАЄМОДІЙ КОЛЕСА З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

**О. А. Бешун, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-9908-7040**

**В. І. Ачкевич, здобувач
ORCID 0000-0002-1537-6997**

**Я. О. Меланченко, студент
ORCID 0000-0001-5177-1612**

**Д. О. Шеремет, студент
ORCID 0000-0002-6350-1342**

**Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: beshun@ukr.net**

Анотація. В сільськогосподарському виробництві під час виконання машинно-тракторними агрегатами технологічних операцій має місце контактна взаємодія коліс з ґрунтом, яка супроводжується деформуванням та ущільненням останнього, що негативно впливає на зміну його структури. Для зменшення негативного впливу на ґрунт необхідно визначати оптимальні конструкційні параметри колісних рушіїв машинно-тракторних агрегатів.

В статті виконано аналіз існуючих моделей взаємодії колеса з опорною поверхнею та визначено основні параметри, які впливають на площу контакту та розподілення навантаження на ґрунт при застосуванні сучасної агротехнологічної шини. Виконаний аналіз існуючих моделей контактної взаємодії шини та опорної поверхні дозволив зробити висновок про відсутність математичних моделей, які б враховували властивості ґрунту та їх вплив на деформування гуми.

Враховуючи суттєві зміни в технологіях виготовлення сучасних агротехнологічних шин обґрунтована актуальність проблеми розроблення адекватної узагальнюючої моделі взаємодії шини з опорною поверхнею, яка б охоплювала якомога більше параметрів, що впливають на деформацію шини під дією навантаження та враховувала як конструкційні та технологічні параметри шини, так і властивості агротехнологічного середовища при їх контактній взаємодії.

Ключові слова: рушій, колесо, шина, опорна поверхня, тиск, площа контакту, пляма контакту

© О. А. Бешун, В. І. Ачкевич, Я. О. Меланченко, Д. О. Шеремет, 2018

Постановка проблеми. Розвиток технічного забезпечення сільського господарства базується на застосуванні широкозахватних агрегатів. Збільшення ширини захвату причіпних машин призводить до збільшення їх конструктивних мас. Збільшення конструктивних мас сучасних МТА в свою чергу викликає збільшення питомих тисків на опорну поверхню, що в свою чергу призводить до ущільнення ґрунту та його руйнування при перевищенні певного критичного значення. Негативна дія на ґрунт з боку ходових систем призводить до зниження продуктивності сільськогосподарських культур [1, 2, 3]. Сучасна техніка вимагає створення та застосування рушіїв, які можуть мінімізувати негативний вплив на ґрунт. Відомі світові виробники розробили різноманітні за формою протектори сільськогосподарських шин для забезпечення роботоздатності в тих чи інших дорожніх умовах. Сучасна агротехнологічна шина може ефективно працювати при внутрішніх тисках близьких до $0,6 \text{ кг/см}^2$. Зниження тиску в шині дозволяє збільшити площу контакту колеса з опорною поверхнею, і тим самим зменшуючи розподілене навантаження.

Аналіз останніх досліджень. Для визначення тих чи інших параметрів взаємодії колеса з опорною поверхнею колеса використовують різноманітні методи [4, 5, 6] та обладнання [7, 8, 9] з метою моделювання відповідних робочих умов. Результати таких експериментальних досліджень дозволяють отримати показники роботи відповідної шин у конкретних умовах. Проте цілий ряд сучасних досліджень спрямовані на розробку сучасних систем керування роботою МТА. Так, наприклад в роботах [10, 11] з метою оптимізації ефективних показників роботи МТА розроблено алгоритм автоматичного керування глибиною обробітку, а в роботі [12] – систему керування швидкістю та управлінням. Процеси взаємодії колеса з опорною поверхнею безпосередньо впливають на техніко-експлуатаційні показники роботи МТА. Побудова ефективних алгоритмів керування потребує математичних моделей взаємодії колеса з опорною поверхнею, які б в повній мірі описували б даний процес та враховували всі можливі аспекти такої взаємодії.

Мета досліджень. Аналіз існуючих моделей взаємодії колеса з опорною поверхнею та визначення основних параметрів, які впливають на площу контакту та розподілення навантаження на ґрунт при застосуванні сучасної агротехнологічної шини.

Результати досліджень. Загальновідомо, тиск на ґрунт є відношенням номінального навантаження шини до площі контакту шини з опорною поверхнею. В роботі [13] пропонується визначати площу контакту за допомогою простої формули (1), як добуток діаметра шини на її ширину:

$$F_K = db, \quad (1)$$

де: d – зовнішній діаметр шини, м; b – ширина протектора шини, м.

Основним недоліком даного підходу, є те, що автор не врахував зміну діаметра шини, що може бути пов'язана зі зміною приведеної маси до осі та зміною внутрішнього тиску шини.

Автори [14] пропонують визначати тиск в плямі контакту наступним чином:

$$p = c_i \cdot p_i + p_c, \quad (2)$$

де: p – тиск на ґрунт у плямі контакту, кПа; c_i – коефіцієнт жорсткості шини ($c_i = 0,6$ для шин високого тиску і $c_i = 1,0$ для шин низького тиску); p_i – внутрішній тиск в шині, кПа; p_c – контактний тиск ненакаченої шини ($p_i = 0$), кПа.

Необхідність врахування жорсткості шини та її коливання, які залежать від виробників, ускладнюють використання залежності (2). Також необхідно відмітити, що в залежностях (1) та (2) не враховується величина вгрузання колеса в ґрунт, яка може коливатися в досить суттєвих межах в залежності від стану ґрунту та маси агрегату. В роботі [15] запропоновано емпіричну модель для оцінки тиску шин сільськогосподарських тракторів на ґрунт, яка полягає в наступних експериментальних залежностях:

$$F_K = 0,77 b_c l_c, \quad (3)$$

де: l_c – довжина плями контакту, м; b_c – ширина контакту, м.

Довжина плями контакту може бути визначена наступним чином:

$$l_c = \sqrt{d \cdot (z + \delta) - (z + \delta)^2} + \sqrt{d \cdot \delta - \delta^2}, \quad (4)$$

де: δ та z – прогин колеса відносно вільного радіуса колеса та радіуса з урахуванням деформації, викликаного навантаженням, м.

Ширина плями контакту може бути визначена в свою чергу за наступною формулою:

$$b_c = b + c \frac{W}{W_N}, \quad (5)$$

де: $c = 0,03 \dots 0,05$ – константа деформації відповідної шини в залежності від осевого навантаження, відносних одиниць; W_N – номінальне навантаження колеса (шини), кПа; W – навантаження на колесо (шину), кПа.

Для шин сільськогосподарських тракторів авторами [16] запропонована наступна емпірична математична модель:

$$F_K = \frac{c W^{0.7} \sqrt{\frac{b}{d}}}{p^{0.45}}, \quad (6)$$

де: c – константа нісівної здатності ґрунту, що змінюється від 0,30 до 0,44 відносних одиниць.

Слід зазначити, що застосування емпіричних залежностей (3) та (6) вимагає обережного підходу, особливо для іншого типу шин, ніж для тих, для яких вони отримані авторами.

В моделі [17] припускають, що 10 % від навантаження на колесо підтримується бічними стінками і пропонують у зв'язку з цим наступну модель:

$$F_K = \frac{0.9W}{p_i}. \quad (7)$$

В роботі [18] підтримання бічних стінок прирівнюється до нуля, тому тиск контакту шини дорівнює тиску повітря в шині, а площа контакту визначається за наступною формулою:

$$F_K = \frac{0.9W}{p_i}. \quad (8)$$

Як бачимо, протиріччя в роботах [17] та [18] свідчать про необхідність правильного визначення частки осевого навантаження, яке приведене до колеса і компенсується за рахунок деформації бічної поверхні гуми, що особливо необхідно при використанні сучасних агротехнологічних шин, здатних працювати при низьких тисках. Емпіричні моделі тиску в плямі контакту сільськогосподарських тракторних шин, представлені в праці [19], мають наступний вигляд:

– для радіальних шин:

$$p_m = 267,7 + 0,575 \cdot p_i + 1,1 \cdot W - 16,0 \cdot d, \quad (9)$$

– для шин з діагональним розміщенням ниток корду:

$$p_m = 267,7 + 0,575 \cdot p_i + 1,1 \cdot W - 16,0 \cdot d, \quad (10)$$

де: p_m – середній контактний тиск, кПа.

Значний внесок в дослідження взаємодії колеса з опорною поверхнею зробив В. Л. Бідерман [20]. Закладені ним ідеї лягли в основу наукових праць багатьох відомих вчених. Зокрема В. Л. Бідерман запропонував розрахункову схему, згідно якої пляма контакту має еліптичну форму, довжина напівеліпсів якої залежить від конструктивних та фізико-механічних властивостей шини.

$$a = \sqrt{df}, \quad (11)$$

та

$$b = \sqrt{2Rf}, \quad (12)$$

де: d – зовнішній діаметр шини, м; R – радіус ширини протектора, м; f – прогин шини, відносних одиниць.

Повний прогин шини складається з прогину каркасу і власне протектора та характеризується здатністю каркасу шини нести відповідне корисне навантаження:

$$f = f_{\Pi} - f_K = C_1 \frac{Q}{f} + C_2 \frac{Q}{p + p_0}, \quad (13)$$

де: C_1, C_2 – постійні для даної шини коефіцієнти, m^{-1} ; p – внутрішній тиск в шині, Па; p_0 – постійний коефіцієнт, Па; Q – осьове навантаження, Н.

Звідки площу контакту можна розрахувати за допомогою наступного виразу:

$$F_K = \pi ab = \pi \sqrt{2Rd} \left(C_1 \frac{Q}{f} + C_2 \frac{Q}{p + p_0} \right), \quad (14)$$

де: F_K – площа плями контакту колеса з опорною поверхнею, m^2 .

Практичне застосування даної моделі обмежене необхідністю введення параметрів, які характеризують властивості конкретно визначеної шини.

В роботі [21] запропоновані наступні моделі для визначення показників взаємодії колеса з опорною поверхнею:

$$l_c = 2\sqrt{d\delta}, \quad (15)$$

при $h=b$

$$b_l = 2\sqrt{d\delta}, \quad (16)$$

$$F_K = \pi\delta\sqrt{dh}, \quad (17)$$

для сільськогосподарських приводних шин

$$\delta = 0.54h \left(\frac{p_i dh}{W} \right)^{-0.79}, \quad (18)$$

де: h – висота профілю шини, м.

Емпірична модель площі контакту колеса з опорною поверхнею для самохідних лісових машин [22] представлена у наступному вигляді:

$$F_K = 282.6 + 3769b + 2369d - 257.2PR - 2.291p_i + 18.41W - \\ - 2895bd - \frac{7788.5}{W} + 7.46PR^2 + 17 \frac{p_i}{W} + 2768.5 \frac{W}{p_i}, \quad (19)$$

де: PR – показник, який враховує кількість шарів ниток корду в шині.

Виконаний аналіз існуючих моделей контактної взаємодії шини та опорної поверхні вказує на необхідність створення узагальнюючої математичної моделі, яка б охоплювала якомога більше параметрів, що впливають на деформацію шини під дією навантаження. Варто також відмітити, що виконаний аналіз показав відсутність математичних моделей, які б враховували властивості ґрунту та їх вплив на деформування гуми.

Висновки

1. Проведені дослідження показали відсутність єдиного підходу до визначення параметрів контактної взаємодії агротехнологічної шини та опорної поверхні.

2. Враховуючи суттєві зміни в технологіях виготовлення сучасних агротехнологічних шин постає питання розроблення адекватної моделі взаємодії шини з опорною поверхнею, яка б враховувала як конструкційні та технологічні параметри шини, так і властивості агротехнологічного середовища при їх контактній взаємодії.

Список літератури

1. R.M. Makharoblidze, I.M. Lagvilava, B.B. Basilashvili, R.M. Khazhomia, Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis, In Annals of Agrarian Science, Volume 15, Issue 3, 2017, Pages 339-343, ISSN 1512-1887, <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.05.026>.
2. Bogusław Usowicz, Jerzy Lipiec, Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil, In Soil and Tillage Research, Volume 174, 2017, Pages 241-250, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015>.
3. Голуб Г. А. Двоємнісна модель гумусного стану ґрунтового середовища агроєкосистем. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 212, ч. 2. С. 302–307.
4. Zakharov S. P. Raspredeleniye udel'nogo davleniya shiny na dorogu pri vysokikh skorostyakh. Trudy NIISHP. Goskhimizdat, 1957. S. 131–153.
5. Golub G. A. Determining the magnitude of traction force on the axes of drive wheels of self-propelled machines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017.
6. Botta, G. F.; Tolon-Becerra, A.; Tourn, M.; Lastra-Bravo, X.; Rivero, D. Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions. *Soil Till. Res.* 2012, 120, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.008>.
7. Taghavifar, H., & Mardani, A. Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics*, 50, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2013.01.005>.
8. Kenarsar, A.; Vitton, S.; Beard, J. Creating 3D models of tractor tire footprints using close-range digital photogrammetry. *Journal of Terramechanics*, 74, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.06.001>
9. Ovsyannikov S. I. Tyagovyye parametry pnevmaticheskikh shin motoagrotekhniki. Nauk. vidannya Vísni. KHNTUSG, vip. 2 «Tekhníchniy servis agropromislovogo, lísovogo ta transportnogo kompleksív», KH.: 2014. S. 102–107.
10. Osinenko, P., Geissler, M., Herlitzius, T. A method of optimal traction control for farm tractors with feedback of drive torque. *Biosystems Engineering*, 129, 20-33.
11. Nguyen, V., Matsuo, T., Inaba, S., Koumoto, T. Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires. *Journal of Terramechanics*, 45, 25-44.
12. Liu, Z. Linearized longitudinal dynamic model for tractor cruise control system. ACM International Conference Proceeding Series, 2018. pp. 221-227. DOI: 10.1145/3177457.3177493.
13. Mikkonen, E. & Wuolijoki, E. Pikatestausten suoritustekniikka. The technique of short term testing. *Metsätehon katsaus* 9, 1975. 5 p.
14. Karafiath, L. L. & Nowatzki, E. A. Soil mechanics for off-road vehicle engineering. Trans. Tech. Publications, Series on rock and soil mechanics 2:5., 1978. 515 s.

15. *Schwanghart, H.* Measurement of contact area, contact pressure and compaction under tires in soft soil. Proc. 10th ISTVS Conf, Kobe Aug 20-24, 1990. I: 193-204.
16. *Komandi, G.* Establishment of soil-mechanical parameters which determine traction on deforming soil. Journal of Terramechanics 27(2), 1990. 115-124.
17. *Silversides, C. R. & Sundberg, U.* Operational efficiency in forestry. Vol 2. Practice. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London. 169 p. ISBN 0-7923-0063.
18. *Kemp, H. R.* Climbing ability of four-wheel-drive vehicles. Journal of Terramechanics 27(1):7-23.
19. *Steiner, M.* Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraft-Schlupf-Kurve von Luftreifen auf nachgiebigen Boden. M.E.G., Technische Universität München, Lehrstuhl für Landmaschinen. No 33. Söhne, W. 1969. Agricultural engineering and terramechanics. Journal of terramechanics (4): 9-18.
20. *Бидерман В.Л., Гуслицер Р.С., Захаров С.П.* Автомобильные шины. Москва. Госхимиздат. 1963. 384 с.
21. *Godbole, R., Alcock, R. & Hettiaratchi, D.* The prediction of tractive performance on soil surfaces. Journal of Terramechanics 30(6), 1993. P. 443-459.
22. *Ziesak, M. & Matthies, D.* Untersuchen zur last- und innendruckabhängigen Aufstandsfläche von Forstspezialreifen. KWF, Forsttechnische Informationen, FTI (9+10). 2001. P. 104-110.

References

1. *R. M. Makharoblidze, I. M. Lagvilava, B. B. Basilashvili, R. M. Khazhomia.* (2017). Theory of turn bodies of mountain tandem wheeled self-propelled chassis, In Annals of Agrarian Science, Volume 15, Issue 3, 339-343, ISSN 1512-1887, <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.05.026>.
2. *Bogusław Usowicz, Jerzy Lipiec.* (2017). Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil, In Soil and Tillage Research, Volume 174, Pages 241-250, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015>.
3. *Holub, H. A.* (2015). Dvoiemnisna model humusnoho stanu gruntovoho seredovyscha ahroekosystem. Nauk. visn. NUBiP Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK. Vyp. 212, ch. 2. 302-307.
4. *Zakharov, S. P.* (1957). Raspredeleniye udel'nogo davleniya shiny na dorogu pri vysokikh skorostyakh. Trudy NIISHP. Goskhimizdat. 131-153.
5. *Golub, G. A.* (2017). Determining the magnitude of traction force on the axes of drive wheels of self-propelled machines. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 17.
6. *Botta, G. F., Tolon-Becerra, A., Tourn, M.; Lastra-Bravo, X.; Rivero, D.* (2012). Agricultural traffic: Motion resistance and soil compaction in relation to tractor design and different soil conditions. *Soil Till. Res.* 120, 92–98. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.008>.
7. *Taghavifar, H., & Mardani, A.* (2013). Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. Journal of Terramechanics, 50, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2013.01.005>.
8. *Kenarsar, A.; Vitton, S.; Beard, J.* (2017). Creating 3D models of tractor tire footprints using close-range digital photogrammetry. Journal of Terramechanics, 74, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2017.06.001>
9. *Ovsyannikov, S. I.* (2014). Tyagovyye parametry pnevmaticheskikh shin motoagrotekhniki. Nauk. vidannya Visn. KHNTUSG, vip. 2 «Tekhnichniy servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv». KH. 102-107.

10. *Osinenko, P., Geissler, M., Herlitzius, T.* (2015). A method of optimal traction control for farm tractors with feedback of drive torque. *Biosystems Engineering*, 129, 20-33.
11. *Nguyen, V., Matsuo, T., Inaba, S., Koumoto, T.* (2008). Experimental analysis of vertical soil reaction and soil stress distribution under off-road tires. *Journal of Terramechanics*, 45, 25-44.
12. *Liu, Z.* (2018). Linearized longitudinal dynamic model for tractor cruise control system. *ACM International Conference Proceeding Series*, 221-227. DOI: 10.1145/3177457.3177493.
13. *Mikkonen, E. & Wuolijoki, E.* (1975). Pikatestausten suoritustekniikka. The technique of short term testing. *Metsätehon katsaus* 9, 5.
14. *Karafiath, L. L. & Nowatzki, E. A.* (1978). Soil mechanics for off-road vehicle engineering. *Trans. Tech. Publications, Series on rock and soil mechanics* 2:5. 515.
15. *Schwanghart, H.* (1990). Measurement of contact area, contact pressure and compaction under tires in soft soil. *Proc. 10th ISTVS Conf, Kobe Aug 20-24*. I: 193-204.
16. *Komandi, G.* (1990). Establishment of soil-mechanical parameters which determine traction on deforming soil. *Journal of Terramechanics* 27(2), 115-124.
17. *Silversides, C. R. & Sundberg, U.* (1989). Operational efficiency in forestry. Vol 2. Practice. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London. 169 p. ISBN 0-7923-0063.
18. *Kemp, H. R.* (1990). Climbing ability of four-wheel-drive vehicles. *Journal of Terramechanics* 27(1): 7-23.
19. *Steiner, M.* (1969). Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraft-Schlupf-Kurve von Luftreifen auf nachgiebigen Boden. M.E.G., Technische Universität München, Lehrstuhl für Landmaschinen. No 33. Söhne, W. Agricultural engineering and terramechanics. *Journal of terramechanics* (4): 9-18.
20. *Byderman, V. L., Huslytser, R. S., Zakharov, S. P.* (1963). *Avtomobyl'nie shyni*. Hoskhymyzdat. 384.
21. *Godbole, R., Alcock, R. & Hettiaratchi, D.* (1993). The prediction of tractive performance on soil surfaces. *Journal of Terramechanics* 30(6), 443-459.
22. *Ziesak, M. & Matthies, D.* (2001). Untersuchen zur last- und innendruckabhängigen Aufstandsfläche von Forstspezialreifen. KWF, Forsttechnische Informationen, FTI (9+10). 104-110.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ КОЛЕСА С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

А. А. Бешун, В. И. Ачкевич, Я. А. Меланченко, Д. А. Шеремет

Аннотация. В сельскохозяйственном производстве при выполнении машинно-тракторными агрегатами технологических операций имеет место контактное взаимодействие колес с грунтом, которое сопровождается деформированием и уплотнением последнего, что негативно влияет на изменение его структуры. Для уменьшения негативного воздействия на почву необходимо определять оптимальные конструкционные параметры колесных движителей машинно-тракторных агрегатов.

В статье выполнен анализ существующих моделей взаимодействия колеса с опорной поверхностью и определены основные параметры, влияющие на площадь контакта и

распределение нагрузки на грунт при применении современной агротехнологической шины. Выполненный анализ существующих моделей контактного взаимодействия шины и опорной поверхности позволил сделать вывод об отсутствии математических моделей, которые бы учитывали свойства почвы и их влияние на деформирование резины.

Учитывая существенные изменения в технологиях изготовления современных агротехнологических шин обоснована актуальность проблемы разработки адекватной обобщающей модели взаимодействия шины с опорной поверхностью, которая охватывала бы как можно больше параметров, влияющих на деформацию шины под действием нагрузки и учитывала бы как конструкционные и технологические параметры шины, так и свойства агротехнологической среды при их контактном взаимодействии.

Ключевые слова: *двигатель, колесо, шина, опорная поверхность, давление, площадь контакта, пятно контакта*

ANALYSIS OF EXISTING MODELS OF INTERACTIONS OF WHEEL WITH SUPPORT SURFACE

O. A. Beshun, V. I. Achkevich, Ya. O. Melanchenko, D. O. Sheremet

Abstract. *In agricultural production, when machining and tractor units of technological operations, there is contact interaction of wheels with soil, which is accompanied by deformation and compacting of latter, which negatively affects change in its structure. In order to reduce the negative impact on the soil, it is necessary to determine the optimal structural parameters of the wheel propulsion of machine-tractor aggregates.*

The article analyzes the existing models of interaction of the wheel with the bearing surface and defines the main parameters that influence the contact area and the distribution of the load on the soil when applying the modern agrotechnological tire. The performed analysis of existing models of contact interaction between the tire and the reference surface made it possible to conclude that there are no mathematical models that take into account the properties of the soil and their influence on the deformation of the rubber. Taking into account the significant changes in the technologies of production of modern agrotechnological tires, the urgency of the problem of developing an adequate generalizing model of the interaction of the tire with the bearing surface, which would cover as much as possible the parameters influencing the deformation of the tire under the action of load, and taking into account both the structural and technological parameters of the tire and the properties agrotechnological environment at their contact interaction.

Key words: *propeller, wheel, tire, bearing surface, pressure, contact area, contact spot*