

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

A. B. 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, ВІДПТІМЕСГ, ННЦ «ІМЕСГ», і ряду інших науково-дослідних установ і вищих навчальних закладів. В останні роки у вітчизняній і зарубіжній науковій літературі з'явилися 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 $P_{пм}$ та втома механізатора $У_m$. Експериментально було встановлено, що для комбайнера рівень професійної майстерності становить в середньому $P_{пм}=0,747$, 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 тижень 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:

$$ЙПЛ = \frac{\text{Кількість помилок}}{\text{Кількість можливих помилок}}, \quad (1)$$

$$ЙНРЛ = 1 - \frac{\text{Кількість помилок}}{\text{Кількість можливих помилок}}, \quad (2)$$

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 досліджень 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:

$$K_z = \frac{T_o + T_{\text{рез}}}{T_o + \overline{T}_B},$$

де: \overline{T}_o – середнє напрацювання до першої відмови МТА; \overline{T}_B – середній час відновлення МТА, $\overline{T}_B = T_{\text{рез}} + \Delta T_B$; ΔT_B – 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.

Заслуговують 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 представлено 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 проведено 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.

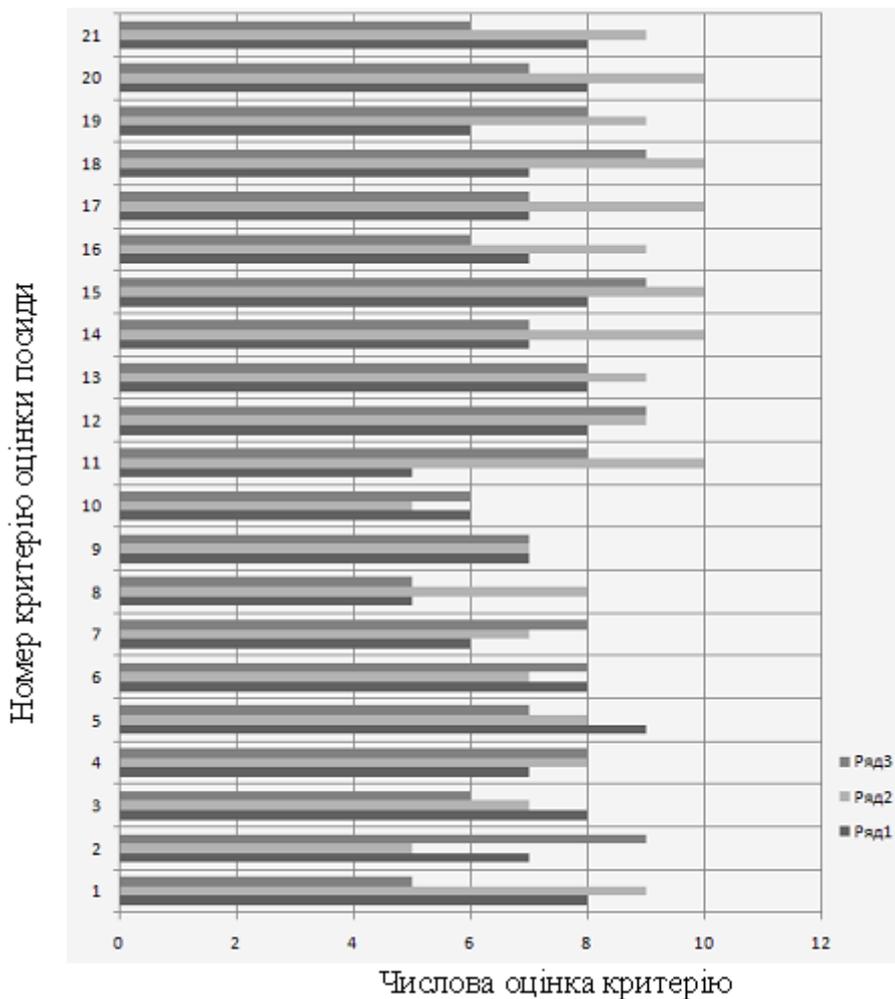


Рис. 1. Графічне відображення ПВЯ інженерно-технічних працівників ремонтної служби аграрних підприємств: 1 – ПСП «Шевченківське» (ряд 1); 2 – ПСП «Жито» (ряд 2); 3 – ДП «Дослідне господарство Чабани» ННЦ «Інститут землеробства» (ряд 3).

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., Rogovskiy I. 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. *Краснощекоев 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., Rogovskij, 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, motoryzacia 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 однозернового потоку насіння при висіві технічних культур.

© П. С. Попик, 2018