

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 629.017:631.316/.332

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту ім. М.П.Момотенка

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Дослідження експлуатаційних показників мобільних навантажувачів сільськогосподарського призначення JCB

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Геннадій ГОЛУБ

(ім'я, прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор технічних наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Іван РОГОВСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

Виконав:

(підпис)

Євгеній БЄЛЬДЮГІН

(ім'я, прізвище)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту ім. М.П.Момотенка _____

д.т.н., проф. _____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я, прізвище)

« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТАМ
Євгенію БЄЛЬДЮГІНУ
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Дослідження експлуатаційних показників мобільних навантажувачів сільськогосподарського призначення ЖСВ
затверджена наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 р. № 2223 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: науково-технічна література; результати науково-дослідних робіт по літературних джерелах експлуатаційних показників мобільних навантажувачів сільськогосподарського призначення ЖСВ

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз стану питання досліджень, мета, задачі дослідження
2. Обґрунтування необхідності створення мобільних навантажувачів сільськогосподарського призначення ЖСВ
3. Вибір технології навантаження сільськогосподарських матеріалів та обґрунтування конструктивної схеми та параметрів мобільних навантажувачів сільськогосподарського призначення ЖСВ
4. Обґрунтування робочої ширини, робочої швидкості та продуктивності мобільних навантажувачів сільськогосподарського призначення ЖСВ

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 14 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Євгеній БЄЛЬДЮГІН
(підпис) (ім'я прізвище)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку використаної літератури. Повний обсяг роботи 87 сторінок, у тому числі 76 сторінок основного тексту, 47 рисунків та 8 таблиць.

Робота присвячена вирішенню актуальної практичної задачі підвищення експлуатаційної ефективності та безпеки праці при роботі мобільних навантажувачів за рахунок розробки комплексної системи моніторингу параметрів технологічного процесу вантажопереробки і контролю стійкості навантажувального агрегату.

В ході аналізу науково-технічної літератури було виконано аналітичний огляд існуючих систем автоматичного контролю і управління експлуатаційно-технологічними параметрами роботи сільськогосподарських машин та вибрано критерії оцінки ефективності використання сільськогосподарських навантажувачів, які були використані в алгоритмах розробленої системи моніторингу.

В ході теоретичних досліджень було розроблено методику та програмно-апаратний комплекс визначення коефіцієнта використання навантажувача протягом зміни на конкретних видах технологічних процесів навантаження-розвантаження та сформульовано підходи до визначення стійкості навантажувально-тракторних агрегатів.

Також було розроблено програмно-апаратний комплекс моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів, експериментально визначені експлуатаційні показники ефективності використання вантажного агрегату. Дослідження динамічної моделі датчика положення показало, що розбіжність теоретичних і експериментальних даних не перевищує 7,8%. Термін окупності капітальних вкладень на впровадження розробки становить 0,47 року.

Ключові слова: мобільний навантажувач, система моніторингу, контроль стійкості, експлуатаційно-технологічні параметри.

ANNOTATION

The master's thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusion, list of used literature. The total volume of the work is 87 pages, including 76 pages of the main text, 47 figures and 8 tables.

The work is devoted to solving the urgent and practical task of increasing operational efficiency and labor safety during the work of mobile loaders by developing an integrated system for monitoring the parameters of the technological process of cargo handling and monitoring the stability of the loading unit.

In the course of the scientific and technical literature analysis, an analytical review of the existing systems for automatic control and management of operational and technological parameters was performed and criteria for evaluating the efficiency of the use for agricultural loaders were used, which were used in the algorithms of the developed monitoring system.

In the course of theoretical research, a methodology and a hardware-software complex for determining the utilization rate of a loader during a shift on specific types of technological processes of loading and unloading were developed and approaches to determining the stability of loading and tractor units were formulated.

A software and hardware complex for monitoring operational and technological parameters, experimentally determined operational indicators for the efficiency of using the cargo unit were also developed. The research of the dynamic model by the position sensor showed that the discrepancy between theoretical and experimental data does not exceed 7.8%. The payback period of capital investments for the implementation of development is 0,47 years.

Key words: mobile loader, monitoring system, stability control, operational and technological parameters.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ В МОБІЛЬНИХ СІЛЬСКОГОСПОДАРСЬКИХ НАВАНТАЖУВАЧАХ І МАНІПУЛЯТОРАХ.....	10
1.1. Огляд існуючих конструкцій сільськогосподарських навантажувачів та маніпуляторів.....	10
1.2. Контрольно-вимірювальні і сигнальні системи забезпечення безпечної експлуатації сільськогосподарських навантажувачів і маніпуляторів.....	14
1.3. Системи автоматичного контролю і управління експлуатаційно-технологічними параметрами роботи сільськогосподарських машин.....	20
1.4. Ефективність використання сільськогосподарських навантажувачів і оцінка їх продуктивності при роботі зі штучними вантажами.....	25
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА КОНТРОЛЮ СТІЙКОСТІ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ.....	31
2.1. Обґрунтування структури і параметрів бортової інформаційної системи сільськогосподарського навантажувального агрегату.....	31
2.2. Система моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів роботи навантажувального агрегату.....	34
2.3. Оцінка стійкості навантажувального агрегату і положень його окремих ланок.....	40
2.4. Динамічна модель датчика кута положення і обґрунтування його параметрів.....	43

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА КОНТРОЛЮ СТІЙКОСТІ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ.....	51
3.1 Прилади, обладнання та методи досліджень системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів.....	51
3.2 Результати досліджень системи моніторингу експлуатаційно- технологічних параметрів.....	54
3.3 Прилади, обладнання та методи досліджень системи контролю стійкості.....	56
3.4 Результати досліджень системи контролю стійкості.....	70
РОЗДІЛ 4 ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ.....	72
4.1 Варіант застосування елементів системи контролю положення навантажувального агрегату.....	72
4.2 Техніко-економічна оцінка розробки.....	74
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

ВСТУП

Актуальність теми. Експлуатаційно-технологічний моніторинг вантажно-розвантажувальних і транспортних робіт, на яких задіяні мобільні навантажувачі, є не тільки способом підвищення продуктивності, якості робіт, комфорту і безпеки праці, а й засобом підвищення споживчих якостей техніки. Постійний контроль стійкості навантажувального агрегату дозволяє приймати оператору оперативні рішення відносно запобігання аварійним ситуаціям та підвищує безпеку вантажно-розвантажувальних робіт.

Однак сучасні сільськогосподарські навантажувачі та маніпулятори не в достатній мірі забезпечуються засобами контролю параметрів технологічного процесу. Вітчизняні сільськогосподарські навантажувачі практично не оснащуються системами контролю забезпечення безпеки. У зв'язку з чим розробка системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів і контролю стійкості мобільних навантажувальних агрегатів є актуальним завданням.

Метою роботи є підвищення експлуатаційної ефективності за рахунок розробки комплексної системи моніторингу параметрів технологічного процесу вантажопереробки і контролю стійкості навантажувального агрегату.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

1. Провести аналіз засобів автоматизації сільськогосподарських навантажувальних агрегатів, систем контролю показників їх роботи і засобів забезпечення безпеки. Обґрунтувати структуру та розробити комплексну систему моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів і контролю безпечної експлуатації вантажного агрегату циклічної дії.

2. Теоретично обґрунтувати та розробити методику отримання показників ефективності навантажувального агрегату. Розробити алгоритм обчислення експлуатаційно-технологічних параметрів по реєстрованим непрямими показниками роботи.

3. Сформулювати підходи до визначення стійкості навантажувального

агрегату, розробити математичну модель датчика положення, теоретично обґрунтувати параметри датчиків кутів нахилу агрегату і провести перевірку адекватності математичної моделі.

4. Здійснити техніко-економічну оцінку впровадження комплексної системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів і контролю безпечної експлуатації вантажного агрегату.

Об'єкт дослідження: системи моніторингу вантажно-розвантажувальних робіт і забезпечення безпечної експлуатації мобільних навантажувачів.

Предмет дослідження: показники, що характеризують технологічний процес навантаження штучних вантажів.

Наукова новизна роботи полягає в: розробці методики оцінки ефективності використання навантажувальних агрегатів при вантажопереробці штучних вантажів за непрямими показниками режимів роботи; розробці та обґрунтуванні структури комплексної системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів роботи навантажувального агрегату і контролю його стійкості.

Практична цінність полягає в універсальності апаратної частини розробленої комплексної системи моніторингу та методики визначення експлуатаційно-технологічних показників ефективності, що дозволяє їх використання практично на всіх сільськогосподарських навантажувачах і маніпуляторах.

Достовірність отриманих результатів підтверджується достатньою збіжністю теоретичних результатів з експериментальними дослідженнями.

Особистий внесок здобувача: аналіз досліджень та публікацій щодо систем моніторингу експлуатаційно-технологічних показників навантажувачів; участь у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень щодо розробки комплексної системи моніторингу та обґрунтування її параметрів; побудова графіків; техніко-економічна оцінка розробки.

РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ В МОБІЛЬНИХ СІЛЬСКОГОСПОДАРСЬКИХ НАВАНТАЖУВАЧАХ І МАНІПУЛЯТОРАХ

1.1. Огляд існуючих конструкцій сільськогосподарських навантажувачів та маніпуляторів

Механізація вантажно-розвантажувальних робіт в технологічних процесах АПК заснована на використанні різних типів універсальних і спеціальних навантажувачів, більшість з яких агрегуються з колісними і гусеничними тракторами. В даний час в сільському господарстві використовується досить широкий спектр вантажно-розвантажувальної техніки. Все більшої популярності набувають зарубіжні навантажувачі, які характеризуються високою надійністю і зручністю експлуатації. Причому, найбільш поширеними зарубіжними зразками є універсальні навантажувачі-екскаватори і мобільні фронтальні навантажувачі, що характеризуються високою маневреністю шасі [2, 31, 35].

Різноманітність вантажно-розвантажувальних робіт в аграрному секторі суттєво впливає на використовувану номенклатуру вантажно-розвантажувальних машин. Аналіз більше сотні моделей навантажувачів, навантажувальних маніпуляторів, навантажувачів-екскаваторів різних виробників, що пропонують свої моделі на українському ринку, дозволили виявити (рис. 1.1а), що частка навісних навантажувальних машин становить 58%. Цей факт підтверджує те, що сільгоспвиробник змушений використовувати для вантажно-розвантажувальних операцій універсально-просапні трактори класу 1,4 ... 3 кН. Однак, останнім часом навіть у фермерських господарствах дуже часто використовуються енергонасичені трактори, частіше закордонні, і деякі моделі не передбачають навісного обладнання, внаслідок чого зростає частка автономних мобільних навантажувальних машин.

Заготівля кормів у тваринництві обумовлює великий обсяг вантажно-розвантажувальних робіт при заготівлі сіна, соломи, сінажу, силосу, що в

свою чергу впливає на модельний ряд навантажувачів. Для таких робіт в господарствах застосовуються фронтальні навантажувачі: стогомети, навантажувачі рулонів і т.п., частка яких із загального числа навантажувачів показана на діаграмі (рис. 1.1, б).

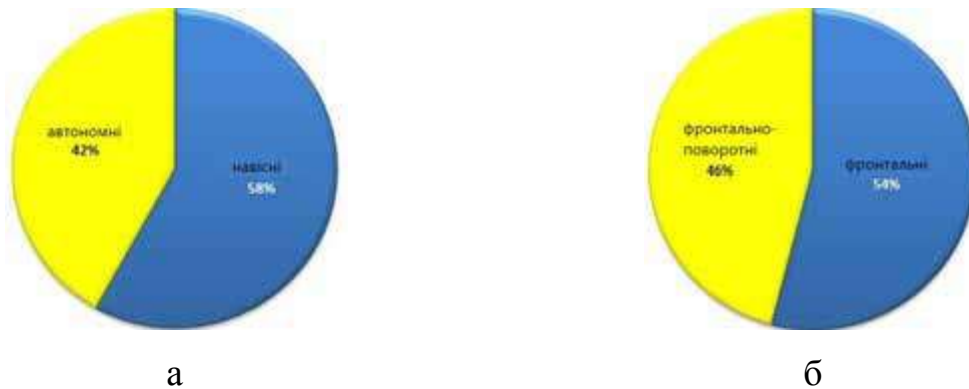


Рис. 1.1 – Розподіл номенклатури сільськогосподарських навантажувачів за агрегуванням і зоною обслуговування: а) частка навісних навантажувачів в їх загальній номенклатурі; б) частки навантажувачів по зоні обслуговування.

Навантажувачі та навантажувальні маніпулятори є незамінним елементом контейнерно-транспортної системи. Для роботи в складських приміщеннях і на підготовлених поверхнях (токах, асфальтованих майданчиках) широко застосовуються мобільні вилкові навантажувачі (рис. 1.2а, б).



Рис. 1.2 – Навантажувачі: а) навантажувач VP G20 (газобензиновий); б) навантажувач серії MP20 EP 1620/1820/2020.

Для механізації вантажно-розвантажувальних робіт з мінеральними добривами в упаковці «bigbag», мішками з зерном та іншими пакетованими

вантажами застосовується навісний гідравлічний маніпулятор МГН-1200 (рис. 1.3, а), або більш універсальний – ГСТ-1000 «Діапазон» (рисунок 1.3, б).

Для переробки різних штучних вантажів від 100 до 800 кг (контейнерів, пакетів, мішків та ін.) можуть застосовуватися навантажувальні маніпулятори з просторовим виконавчим механізмом (рис. 1.4) [2, 35, 79].



Рис. 1.3 – Навантажувачі та маніпулятори для вантажопереробки контейнерів і пакетованих вантажів: а) МГН-1200; б) ГСТ -1000 «Діапазон».



Рис. 1.4 – Навантажувальні маніпулятори: а) безстрільовий навантажувальний маніпулятор БПМ-0,5; б) навісний маніпулятор НМВ-1,5.

Для роботи з сипучими вантажами використовуються фронтальні навантажувачі, вони ж використовуються при вантажопереробці тюків, рулонів сіна та соломи, деякі моделі можуть використовуватися як розвантажувачі контейнерів (рис. 1.5).

Номенклатура зарубіжних навантажувачів значно більша ніж

вітчизняних і з країн СНД, незважаючи на більш високу вартість у порівнянні з вітчизняними, зарубіжні навантажувачі зайняли свою нішу в сільськогосподарському виробництві за рахунок зручності експлуатації і високої надійності.

Фірма «Хиаб» (Швеція) відома маніпуляторами марок «Хиаб» і «Йонсеред» та випускає 132 видів та моделей маніпуляторів для різних цілей з вильотом стріли від 1,7 м до 10 м. В даний час «Хиаб» виробляє на рік близько 10 тис. маніпуляторів, що становить більше третини світового ринку вантажних маніпуляторів (Хиаб 670К, J590 / 690/790/890) [31].



Рис. 1.5 – Фронтальні навантажувачі: а) екскаватор-навантажувач «БЕЛАРУС» ЕП-491; б) фронтальний навантажувач ПФН-0.9 «Піонер»; в) навантажувач фронтальний сільськогосподарський ПФС-0,75.

Фінська фірма «Логліфт» спеціалізується на випуску маніпуляторів різних серій для тракторів і лісовозів F40L, F60F, F50V (L), F75S75, моделі серії V, L, LT агрегатуються тільки з лісовими тракторами. Відомими

зарубіжними виробниками і постачальниками навантажувачів і маніпуляторів є EPSILON (Австрія) - E8.79P, «Техномеханіка» (Хорватія) – НАК-7S, LIV (Словенія) – L3,52; L5,70H; L6,42S, Nokka (31H; 38H; 39H; 39KH), EFFER (Італія) [31].

Компанія Fassi (Великобританія) виробляє широкий асортимент додаткового навісного обладнання для своїх кранів-маніпуляторів: вилочні захвати, ковші, грейфери.

У сільськогосподарських навантажувачах і навантажувальних маніпуляторах застосовуються, як правило, шарнірно-важільні виконавчі механізми. У «Харвестери» в основному використовуються маніпулятори двох кінематичних схем: шарнірно-важільні і комбіновані з телескопічною вставкою.

Застосування дорогих маніпуляторів і навантажувачів в скандинавських країнах стало високорентабельним тільки з середини 80-х років ХХ століття завдяки широкому застосуванню на них бортових комп'ютерів з відповідним програмним забезпеченням, що дозволило автоматизувати виконання елементарних операцій управління без оператора. Робота маніпулятора з системою автоматизації управління здійснюється за допомогою комунікаційної системи: датчики-бортова ЕОМ-оператор.

1.2. Контрольно-вимірювальні і сигнальні системи забезпечення безпечної експлуатації сільськогосподарських навантажувачів і маніпуляторів

Сільськогосподарські навантажувачі є пристроями підвищеної небезпеки. Безпечний стан навантажувального агрегату має відповідати двом умовам: виключення аварійних ситуацій при проведенні вантажно-розвантажувальних робіт і запобігання впливу на водія-оператора небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають при експлуатації вантажного засобу.

Проблема забезпечення безпечної експлуатації навантажувачів і

маніпуляторів найчастіше виникає при відсутності у оператора необхідної інформації про стан навантажувального агрегату з подальшим виникненням нештатних ситуацій. Хороший огляд (без «мертвих» зон) вантажу і захоплюючого органу з робочого місця машиніста-оператора гарантує безпеку обслуговуючого персоналу (стропальників). У зв'язку з цим слід зазначити, що до захисного спорядження сільськогосподарських навантажувачів необхідно відносити крім засобів безаварійної роботи, засоби і пристрої захисту безпосередньо оператора.

Зарубіжні навантажувачі та маніпулятори, в тому числі і сільськогосподарського призначення повинні бути оснащені засобами і відповідно експлуатуватися. У зарубіжних вантажопідйомних машинах широко використовуються засоби контролю і автоматичного управління безпечної експлуатації навантажувальних агрегатів, причому практично кожну вимогу і пристрій безпеки регламентується своїм стандартом (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Зарубіжні стандарти оцінки безпеки

Зарубіжний стандарт		Оцінка по параметру
EN	ISO	
EN474-1	ISO5006 (ISO14401)	Оглядовість
-	ISO12117-2	Використання системи ROPS
EN474-5	ISO8643	Пристрій опускання і блокування стріли
EN474-5	ISO3411, ISO6682, ISO11112	Інші розмірні параметри і положення безпеки

До приладів та пристроїв безпеки маніпуляторів відносяться: обмежувачі висоти підйому і глибини опускання, обмежувач пересування, обмежувач нахилу стріли, обмежувач вантажопідйомності, показчик вантажопідйомності, показчик вантажного моменту, показчик вильоту, показчик нахилу маніпулятора (креномір).

Кінцеві вимикачі призначені для автоматичної зупинки механізмів з електричним приводом, для вантажопідйомних же машин з механічним і гідравлічним приводом кінцеві вимикачі не передбачається [81].

На стрілових автомобільних кранах для забезпечення безпечної роботи встановлюють обмежувачі вантажопідйомності, обмежувачі підйому і опускання гака, обмежувач повороту рами і універсальний автоматичний сигналізатор, показчик нахилу крана тощо. [84]. Обмежувачі вантажопідйомності як правило встановлюються тільки на стрілових, баштових і порталних кранах, вони знайшли застосування і в автомобільних маніпуляторах і кранах високої вантажопідйомності, в основному застосовуються електромеханічні, механічні, гідравлічні і комбінованого типу обмежувачі [81].

Показчики вантажопідйомності призначені для індикації вантажопідйомності при встановленому вильоті і допомагають запобігти перевантаженню маніпуляторної установки. Наприклад, прилади ОНК-160 (рис. 1.6, а), ПЗК-10 (рис. 1.6, б) поєднують в собі функції обмежувача навантаження і захисту від перекидання.

Гідроманіпулятори оснащуються аутригерами, які по конструкції, як правило, виконуються телескопічними. З метою безпеки кожен аутригер оснащують власним клапаном управління [90].



Рис. 1.6 – Прилади захисту від перекидання і обмеження навантаження:
а) прилад ОНК-160; б) прилад ПЗК-10

Показчик кута нахилу застосовується на стрілових кранах і маніпуляторах для їх правильної установки на робочому майданчику, наприклад, КСЦ-1, УН-1,3, УНШ-1 (рис. 1.7). Кут нахилу крана не повинен перевищувати зазвичай 30° .

Показчики крену повинні встановлюватися на самохідних і причіпних

кранах і маніпуляторах з метою їх правильної установки на місці робіт та попередження перекидання.

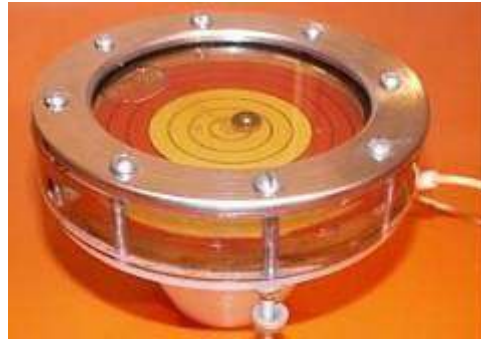


Рис. 1.7 – Показчик кута нахилу УНШ-1

Для навантажувачів під час штабелювання допускається кут нахилу в поздовжній площині – 4% (18 % при русі з опущеним вантажем), в поперечній – 6% ($15 \pm 1,1 \times V$ при русі, де V-швидкість руху, км / год) , згідно з ISO 3691-80 [60].

Слід зазначити, що деякі вітчизняні прилади та пристрої безпеки мають функцію реєстрації контрольованих параметрів, до таких приладів відносяться обмежувач вантажопідйомності ОНК- 160С, ПБК-1 (рис. 1.8, а), прилад ПРИЗ-1 (рис. 1.8, б) призначений для реєстрації параметрів і дообладнання кранів з уже встановленими приладами забезпечення безпеки без функцій реєстрації.



а)



б)

Рис. 1.8 – Прилади реєстрації контрольованих параметрів вантажопідіймальних кранів: а) обмежувач вантажопідйомності ПБК-1; б) блок реєстрації параметрів ПРИЗ-1.

Існують пристрої гідравтоматики, що дозволяють регулювати швидкість переміщення ланок маніпулятора в залежності від маси переміщуваного вантажу [60, 71].

Раніше до 90-х років при відсутності доступної електронної елементної бази розроблялися пристрої обмеження вантажопідйомності, що вбудовуються в гідропривід навантажувальних маніпуляторів. Наприклад, розробка мінського НПО «Дормаш» (А.С. №1423701, СРСР) являє собою обмежувач вантажопідйомності фронтального навантажувача, що складався з системи запобіжних і зворотних клапанів. Недоліком таких систем є ускладнення гідравлічної схеми і втрати енергії на дроселювання рідини через системи клапанів і додаткові гідравлічні розподільники [13]. В роботі [15] відзначається «... при експлуатації одного агрегату протягом року значна частина палива витрачається на холосту роботу насосів гідросистем рульового управління і вантажопідйомного механізму», це відбувається внаслідок автономних гідросистем приводу гідротехнічної передачі, підйому вантажу і системи рульового управління. Одним з варіантів вирішення зазначеної проблеми є перерозподіл потоків гідравлічної енергії за допомогою мікропроцесорного управління»

Японська фірма «Такеутікомутен» розробила пристрій попередження зіткнення вантажопідіймальних кранів з будівлями, обладнанням і предметами, що знаходяться поряд [31].

Навантажувачі корпорації Komatsu America WA30-6, WA40-6 і WA50-6 прості в управлінні і мають високі показники надійності і безпеки. Система управління забезпечує захист від швидкого опускання ковша, не допускаючи підвищення навіть заданого машиністом-оператором максимального значення швидкості. Це властивість важлива для безпеки виконуваних робіт на обмежених майданчиках. Для безпеки експлуатації навантажувачі оснащені системами захисту від перекидання ROPS і від падіння сторонніх предметів на кабінку – FOPS [36].

Система безпеки FX100 дозволяє захищати кран-маніпулятор від

перевантаження шляхом блокування руху маніпулятора. Система оповіщає оператора про досягнення навантаження в інтервалі 90% ... 100% світловою індикацією на панелі управління, а при досягненні 100% навантаження спрацьовує блокування [30].

Фірма Fassi (Італія) випускає для кранів-маніпуляторів електронну систему XP / SR, яка дозволяє підвищити вантажопідйомність при роботі з граничними навантаженнями за рахунок того, що швидкість переміщення вантажу знижується зі збільшенням вантажопідйомності, при цьому зменшуються динамічні навантаження на металоконструкцію маніпулятора [31].

Навантажувач ROBUST FZ оснащується показчиком положення робочих органів з легким регулюванням і хорошим оглядом (рис. 1.9, а). На фронтальних навантажувачах Valtra 40/50/60/35/45/55/65/75/85 (Фінляндія) встановлено покращений показчик робочого положення органу, який добре видно з кабіни. Показчик виконаний механічним і легко регулюється (рис. 1.9, б).



а)



б)

Рис. 1.9 – Показчик робочого положення виконавчого органу навантажувача

Телескопічні фронтальні навантажувачі DIECI (Італія) обладнані електронною системою (рис. 1.10, а), яка дозволяє тримати під постійним контролем навантаження на вила чи інше робоче обладнання. Обмежувач

навантаження (рисунок 1.10, б) забезпечує точне і гнучке управління як штатним, так і спеціальним обладнанням [31].



а)

б)

Рис. 1.10 – Пристрої електронного контролю і обмеження навантаження фронтального навантажувача DIECI.

Всі навантажувачі фірми DIECI оснащені механізмом запобігання машини від перекидання при різких маневрах. За бажанням замовника навантажувачі можуть оснащуватися системою горизонтального вирівнювання робочого органу. Запобіжна система автоматично блокує всі функції (крім опускання і скорочення стріли) в разі досягнення максимального перекидаючого моменту на стрілі.

1.3. Системи автоматичного контролю і управління експлуатаційно-технологічними параметрами роботи сільськогосподарських машин

В зарубіжному машинобудуванні велика увага приділяється оснащенню машин сучасними засобами автоматизації та електронною технікою. У нових моделях навантажувальних машин ряд функціональних операцій виконується автоматично. В роботі навантажувачів практично немає повторюваних однакових циклів, і відповідно автоматика не може замінити оператора повністю, тому функцією автоматики є не заміна оператора, а полегшення його роботи і підвищення якості управління [24, 26, 31, 36].

Основні завдання інформаційної системи контролю вантажного

агрегату:

- вимірювання, збір даних і контроль параметрів процесу вантажопереробки (робоча швидкість, маса вантажу, продуктивність, втрати сипучих вантажів, контроль енерговитрат);

- збір відомостей про кількісні характеристики збурюючих впливів, які супроводжують технологічний процес і викликають відхилення від нормального режиму роботи (стійкість агрегату, положення вантажу, розгойдування вантажу і агрегату, динамічні навантаження на систему приводу робочого устаткування при русі по місцевості);

- надання оператору аудіовізуальної інформації від систем автоматичного контролю, або автоматичне керування критичними процесами.

Практично всі засоби автоматизації сучасних тракторів, мобільних і причіпних сільськогосподарських машин передбачають застосування електронних (мікропроцесорних) пристроїв в якості керуючих елементів виконавчих механізмів, найчастіше керованих електрогідравлічними апаратами (мехатронні приводи) [52, 72].

Наявність на сучасних тракторах засобів автоматизації (ЗА) стало останнім часом загальноприйнятим атрибутом, що підвищує технічний рівень, продуктивність, комфорт і безпеку праці.

Найбільш поширеним об'єктом автоматизації в сільськогосподарських тракторах є контроль-вимірювальна апаратура. За допомогою мікропроцесорних засобів розширюється номенклатура контрольованих параметрів з метою моніторингу як технічного стану трактора, так і режимів його роботи. Найчастіше використовуються буквено-цифрові індикатори для пред'явлення оператору кодових повідомлень про несправності, рідше використовуються рідкокристалічні і світлові діодні (LED) дисплеї.

Системи автоматизації тракторів в основному спрямовані на управління моторно-трансмісійною установкою, а це як правило управління вприскуванням палива, управління передавальними відносинами трансмісії і

розподіл в ній потоків потужності, управління приводами ВВП, автоматичне регулювання положення навісного пристрою.

Управління навісним пристроєм найчастіше направлено на зниження буксування і можливо декількома способами автоматичного регулювання: силове, позиційне, комбіноване. Існують і системи автоматичного гасіння коливань навісного пристрою з сільськогосподарським знаряддям при русі по пересіченій місцевості.

Автоматичні системи сільськогосподарських агрегатів представляють технічні пристрої, що поєднують електронні і мехатронні елементи і призначені для автоматичного контролю, захисту, регулювання і управління мобільними засобами, технологічними операціями і процесами.

Бортові контрольні системи, обладнані мікропроцесорами, забезпечують контроль параметрів найважливіших систем машини і запобігають можливим аваріям, звільняючи оператора від безперервного спостереження за приладами і надаючи йому можливість зосередитися на виконанні технологічних операцій. При цьому, природно, підвищується продуктивність машини.

Нині в Україні та країнах СНД засоби автоматизації (ЗА) в сільськогосподарській техніці що випускається застосовуються мало. У сільськогосподарських навантажувачах і маніпуляторах ЗА практично відсутні. В наслідок чого, стає актуальною задача створення ефективних і недорогих засобів автоматизації контролю і управління для вітчизняних мобільних сільськогосподарських навантажувачів і маніпуляторів, і що особливо актуально останнім часом – на вітчизняній елементній базі з метою імпортозаміщення інтелектуальних систем контролю і управління машинами.

Оснащення вітчизняних навантажувачів вбудованими вагами також знаходиться на незадовільному рівні. Підприємства України пропонують кілька варіантів, але для повсякденної роботи кранові ваги, механічні та електронні динамометри (рис. 1.11) для вимірювання статичних або динамічних зусиль не зовсім зручні.



Рис. 1.11 – Варіанти вимірювання ваги для навантажувачів і кранів-маніпуляторів різного призначення: а) механічний динамометр; б) електронний динамометр; в) кранові ваги (для підвіски крюка); г) кранові ваги для вил; д) вила навантажувача з вбудованими вагами

Широко поширені установки для контролю експлуатаційних характеристик машини. Ці установки зазвичай пов'язані з системами діагностичних програм виявлення помилок. Електронні системи сприяють більш ефективному використанню техніки, на якій вони встановлені, підвищують продуктивність навантажувальних і будівельних машин, причому внаслідок підвищення точності управління і регулювання зростає довговічність обладнання, і, що не менш важливо, оператор впевненіше управляє машиною і швидше набуває спеціальних навичок.

Фірма «Катерпіллер» багато навантажувальних, будівельних і дорожніх машини обладнує бортовими електронними системами контролю EMS. На відміну від звичайних приладів зі стрілочною індикацією, що вимагають від

машиніста-оператора постійного зчитування показань та їх оцінки, система EMS в автоматичному режимі безперервно контролює робочі параметри і сигналізує машиністу звуковими і світловими сигналами про неприпустимі відхилення від заданих режимів. Система стежить за температурою і витратою охолоджувальної рідини двигуна, тиском і температурою робочої рідини в гідроприводі, рівнем палива в баку та ін.

На навантажувачі Амкодор 211 встановлений блок контролю та індикації параметрів роботи систем машини, який контролює температуру охолоджуючої рідини, рівень палива, час напрацювання машини, аварійний рівень масла в баку, перегрів масла, засмічення фільтрів, тиск масла і ін. [84].

На навантажувачах Komatsu America встановлені бортові комп'ютери, які працюють в комплексі з супутниковою системою контролю KOMTRAX, що дозволяють збирати і обробляти інформацію про координати позиціонування і технічні та експлуатаційні параметри, такі як, наприклад, рівень завантаження навантажувача на певних видах робіт.

За допомогою іншої системи, розробленої фірмою «Манненсманн Демаг» (Німеччина), контролюється витрата палива на гідравлічному екскаваторі. Датчики тиску реєструють відповідні тиску робочої рідини в циліндрах і виконання кожного робочого руху і передають ці дані в мікро-ЕОМ, яка визначає, чи економічно працює екскаватор.

Відмінною особливістю фронтальних навантажувачів Volvo є ергономічне місце машиніста-оператора, укомплектований зручними елементами управління робочими органами з підлокітника (CDC) [81].

Всі засоби автоматизації навантажувальних машин можна поділити за їх функціональним призначенням [61, 70, 73] на:

- автоматику координування процесу управління вантажним агрегатом;
- захисну автоматику;
- бортові засоби контролю параметрів машини і агрегату;
- автоматику діагностування машини;

- автоматика технологічних циклів.

1.4. Ефективність використання сільськогосподарських навантажувачів і оцінка їх продуктивності при роботі зі штучними вантажами

Ефективність використання навантажувальних засобів залежить від багатьох факторів: конструкції і компонування навантажувального агрегату, його вантажопідйомності, маневреності, керованості, виконуваної технологічної операції, вимог до точності позиціонування і збереження вантажу і ін. Тому важливо оцінювати продуктивність навантажувальних агрегатів на окремих технологічних операціях і циклах технологічного процесу з метою ефективного планування вантажно-розвантажувальних робіт.

До експлуатаційних показників навантажувачів відносяться [11]: коефіцієнт надійності – здатність в будь-який момент виконувати необхідні роботи; коефіцієнт швидкодії – характеризує витрати часу при захопленні вантажу і його звільненні, а також швидкість пересування для мобільних навантажувачів; коефіцієнт підвищення продуктивності праці – визначається як середнє значення продуктивності; коефіцієнт завантаження устаткування – відношення кількості вантажів за зміну до номінальної вантажопідйомності; коефіцієнт використання устаткування – відношення часу роботи (без простоїв) до тривалості зміни.

Існує кілька різних методик визначення продуктивності вантажно-транспортних засобів, причому розрізняють теоретичну продуктивність, технічну та експлуатаційну. Теоретична продуктивність навантажувачів періодичної дії [12]

$$P_T = 3600 \cdot \frac{Q}{T_u}, \quad (1.1)$$

де Q – вантажопідйомність навантажувача з обладнанням, т; T_u – час робочого циклу, с.

$$T_u = t_n + t_p + t_T + t_o + t_x + t_{II}, \quad (1.2)$$

де t_n – час захоплення вантажу, с (5 ... 25 с); t_p – час робочого ходу, с; t_T – час маневрування транспорту, с (для фронтальних і перекидних $t_T = 0$); t_o – час звільнення вантажу від робочого органу, с ($t_o = 5 \dots 12$ с.); t_x – час холостого ходу, с; t_{Π} – сумарний час перемикання передач в КПП та гідравлічних розподільників, $5 \text{ с} < t_{\Pi} < 15 \text{ с}$.

Технічна продуктивність навантажувача за 1 годину чистої роботи [12]:

$$P_T = 60 \frac{\kappa_{cp} Q}{T} \quad (1.3)$$

де Q – номінальна вантажопідйомність, т.; κ_{cp} – коефіцієнт використання навантажувача по вантажопідйомності; T – час циклу, хв., (час циклу складається з суми часу, що витрачається на виконання елементів операцій).

$$\kappa_{cp} = \frac{m_{cp}}{Q}, \quad (1.4)$$

де m_{cp} – середня маса вантажів, т.

Час циклу:

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_{11}, \quad (1.5)$$

де t_1 – час нахилу вантажопідйомником вперед для заведення вил під вантаж і підйом вантажу, м; t_2 – час для розвороту навантажувача, с; t_3 – час руху навантажувача з вантажем, с; $t_3 = 3,6L / V_{\Pi}$ (L – дальність перевезення, V_{Π} – швидкість пересування з вантажем, за умовами охорони праці її беруть не більше 10 м / с); t_4 – час установки підйомника у вертикальне положення з вантажем на вилах, с; t_5 – час підйому вил, с; t_6 – час для укладання вантажу в штабель, с; t_7 – час нахилу вантажопідйомником назад без вантажу, с; t_8 – час спуску вил без вантажу, с; t_9 – час розвороту навантажувача без вантажу, с; t_{10} – час зворотного холостого ходу навантажувача, с. (аналогічно t_3); t_{11} – сумарний час для перемикання важелів, с.

Технічна продуктивність (т / год) за годину змінного часу може визначатися за формулою [22]:

$$P_T = 3600 \cdot \frac{m}{T_{\text{ц}}} K_T, \quad (1.6)$$

де m – маса вантажу, що піднімається за цикл, т; $K_T = 0,85:0,9$ – коефіцієнт, що враховує умови роботи.

Експлуатаційна змінна продуктивність навантажувача:

$$P_{\text{екс.зм}} = zP_T \cdot K_e = \frac{z \cdot 60}{T} K_{ep} \cdot K_e, \quad (1.7)$$

Де z – тривалість зміни (8,2 год. при 5-ти денному тижні); $K_e = 0,4 \dots 0,8$ – коефіцієнт використання навантажувача за час, який протягом зміни може змінюватися в залежності від технології та організації робіт.

Експлуатаційна продуктивність, т / зміну (реальна робота за зміну) [40]:

$$P_E = T_3 P_T K_n, \quad (1.8)$$

де T_3 – час роботи за зміну з урахуванням технічного обслуговування і підготовки навантажувача до роботи, $T_3 = 6,82$;

K_n коефіцієнт використання навантажувача протягом зміни з урахуванням подачі автотранспорту, підготовки майданчика, міжзмінних передач та ін. $K_n = 0,5 \dots 0,8$. При правильній організації робіт $K_n = 0,75 \dots 0,8$.

Річна продуктивність автотранспортних засобів з краново-маніпуляторними установками визначається як [43]:

$$P_p = \frac{365 \cdot q \cdot \gamma \cdot T \cdot V_T \cdot L}{L + t_{np} \cdot V_T}, \quad (1.9)$$

де q – вантажопідйомність вантажно-транспортного засобу, т; γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності; T – час роботи вантажно-транспортного засобу в добу, год.; V_T – середня технічна швидкість вантажно-транспортного засобу, км / год; L – відстань перевезення, км; t_{np} – час, що витрачається на навантаження і розвантаження за одне перевезення вантажу, год. t_{np} – показник, зменшення якого в результаті скорочення простоїв є основним резервом збільшення продуктивності навантажувальних транспортних засобів.

Також запропонована формула для визначення продуктивності навантажувального транспортного агрегату за часом циклу [22, 40]:

$$П_1 = \frac{Q_1 \cdot L_1}{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}. \quad (1.10)$$

За часом зміни:

$$П_2 = K_T \cdot П_1, \quad (1.11)$$

де $K_T = 0,8$ – коефіцієнт використання зміни.

Складові часу циклу отримані на прикладі навантаження тюків сіна, навантажувачем НПМ-0,6 [12]: час повороту навантажувача $T_6 = 0,7 \cdot L_2 \cdot \sqrt{Q_4}$; час одного циклу $T_8 = 4 + 0,2 \cdot Q_2 + 2 \cdot T_6$; повний час навантаження одного тюка з урахуванням часу, витраченого на установку навантажувального агрегату в робоче положення $T_7 = T_8 + 20$; час завантаження причепа $T_1 = T_7 \cdot Q_1 / Q_2$; транспортування вантажу до місця складування $T_2 = L_1 / v \cdot k_v$; укладання тюків в штабель $T_3 = T_8 \cdot Q_1 / Q_2 + 20$; холостий переїзд агрегату $T_4 = T_2$; переїзд агрегату від одного тюка до іншого по полю $T_5 = T_{II} \cdot Q_1 / Q_2$; $k_v = 0,95$ – коефіцієнт використання теоретичної швидкості; $T_{II} = 6$ с. – час переїзду від одного тюка до іншого; L_2 – довжина причепа, м; $Q_4 = Q_2 + G_g$ – сумарна вантажопідйомність навантажувача G_g – вага захоплення (грейферного, вилочного); Q_2 – вага одного тюка, кг (200, 400, 600); Q_1 – вага вантажу, що перевозиться, т (10, 20, 30); L_1 – відстань перевезень, м (3000, 4000, 5000); V – швидкість транспортування, м / с (8, 10, 12).

Універсальні сільськогосподарські навантажувачі відносяться до машин періодичної (циклічної) дії, цикл яких складається з захоплення вантажу, перенесення до місця вивантаження, звільнення від вантажу і повернення робочого органу до матеріалу. Так, наприклад, час циклу навантаження-розвантаження маніпулятора НПМ - 0,6 на базі СШ Т-16МГ становить $T_{II} = 0,475$ години для середньої номінальної вантажопідйомності [22]. Продуктивність цього агрегату на контейнерному прибиранні овочів при середній масі контейнера $m = 251$ кг становить $П_i = 1,4421$ т / год.

Час робочого циклу для будівельних навантажувачів [11]:

$$T = \left(\frac{l_k}{V_{\text{нід}}} + \frac{l_k}{V_{\text{он}}} + \frac{l_{\text{нав}}}{V_{\text{н.х.}}} + \frac{l_{\text{нав}}}{V_{\text{з.х.}}} \right) \varphi + t_{\text{зач}} + t_{\text{нов}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{вив}}, \quad (1.12)$$

де l_k – переміщення центру ваги робочого органу при його підйомі на максимальну висоту, м; α – кут утворений стрілою в двох крайніх положеннях (вертикальних), рад; R – відстань від центра ваги робочого органу до шарніра стріли, м; $l_{\text{нав}}$ – переміщення навантажувача при навантаженні, м; $l_{\text{нав}} = 10 \dots 15$ м для фронтальних; $l_{\text{нав}} = 8 \dots 10$ м для перекидних; $V_{\text{нід}} = \frac{V_{\text{max}} + V_{\text{min}}}{2}$ – середня швидкість підйому робочого органу, м / с; $V_{\text{он}}$ – середня швидкість опускання робочого органу, м/с; $V_{\text{пх}}$, $V_{\text{зх}}$ – середня швидкість пересування навантажувача відповідно переднім і заднім ходом, м/с $V_{\text{пх}} \approx 0,3 \dots 0,7$ м/с (менше значення для 1 передачі КПП, більше – для 2 передачі); $\varphi = 0,85 \dots 0,9$; $t_{\text{зач}}$ – час захоплення вантажу, с.; $t_{\text{нов}}$ – час розворотів навантажувача, с.; $t_{\text{пер}}$ – час перемикання передач, с.; $t_{\text{вив}}$ – час вивантаження вантажу, с.; $t_{\text{зач}} \approx 10 \dots 15$ с; $t_{\text{нов}} \approx 10$ с; $t_{\text{пер}} \approx 3 \div 6$ с; $t_{\text{вив}} \approx 5 \dots 7$ с;

Для фронтальних навантажувачів загальний час циклу $T = 50 \dots 80$ с, для фронтально-перекидних навантажувачів $T = 30 \dots 60$ с. [12].

Для навантажувачів з поворотною стрілою час робочого циклу [11]:

$$T = \left(\frac{l_k}{V_{\text{нід}}} + \frac{l_k}{V_{\text{он}}} \right) \varphi + t_{\text{зач}} + t_{\text{вив}} + 2t_{\text{пов}}, \quad (1.13)$$

де $t_{\text{пов}} = \frac{\alpha_{\text{пов}}}{\omega}$ – час повороту стріли, с.; $\alpha_{\text{пов}}$ – кут повороту стріли, град.; $\omega = 1/30$ – кутова швидкість повороту стріли с^{-1} ; $n = 5 \dots 8$ умовне число поворотів в хвилину.

У переважній більшості $\alpha_{\text{пов}}$ становить 90^0 , тоді $t_{\text{пов}} = 15/n$ с. Для попередніх розрахунків приймають $t_{\text{пов}} = 2 \dots 5$ с. При цьому загальний час циклу становить $T = 12 \dots 25$ с.

У формулах визначення продуктивності навантажувачів присутні параметри, значення яких, як правило не є постійними для різних навантажувальних операцій і визначаються експериментально (досвідченим

шляхом).

Більшість сільськогосподарських навантажувачів є гідрофікованими машинами циклічної дії, і час вантажно-розвантажувальних операцій для них складається з декількох складових [12]:

$$t_{on} = t_{зах} + t_{пер} + t_{поз} + t_{зв} + t_{хп} + t_{опер}, \quad (1.14)$$

де $t_{зах}$ – час захоплення (закріплення) вантажу; $t_{пер}$ – час корисного переміщення вантажу в задану точку; $t_{поз}$ – час позиціонування, що включає очікування загасання вільних коливань вантажу на підвісі; $t_{зв}$ – час звільнення вантажу від робочого органу (захоплення, гака); $t_{хп}$ – час холостого переміщення робочого органу для підготовки до наступної операції (переналагодження навантажувача в робоче або транспортне положення); $t_{опер}$ – час помилок оператора і запізнювання його реакції.

Змінну продуктивність навантажувача циклічної дії, зайнятого на перевантаженні різних вантажів, пропонується визначати як:

$$P_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{\sum_{i=1}^n t_{on_i} + t_{np}}, \quad (1.15)$$

де G_i – маса вантажу на i -й операції; n – число операцій навантаження-розвантаження за зміну; t_{on_i} – час i -ї операції; t_{np} – сумарний час простоїв навантажувача за зміну.

Одним із способів підвищення продуктивності навантажувального агрегату може бути вироблення оптимальних режимів навантажувальних операцій та їх планування, спрямоване на зменшення сумарного часу простоїв навантажувача за зміну t_{np} і час холостого переміщення робочого органу $t_{хп}$. З енергетичної точки зору важливі показники завантаженості гідроприводу навантажувального агрегату і відповідно час роботи двигуна і час роботи гідроприводу на різних етапах технологічних операцій протягом зміни [40].

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА КОНТРОЛЮ СТІЙКОСТІ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

2.1. Обґрунтування структури і параметрів бортової інформаційної системи сільськогосподарського навантажувального агрегату

Вимірювальна система навантажувального агрегату (маніпулятора), що працює в змінних умовах експлуатації, часто непередбачуваних, і взаємодіє з людиною-оператором і зовнішніми об'єктами є частиною людино-машинної системи.

Моніторинг стану навантажувального агрегату і виконуваних агрегатом технологічних процесів передбачає:

1. Отримання інформації безпосередньо з датчиків;
2. Комплексний аналіз інформації від датчиків за допомогою програмно-апаратних засобів з метою формування необхідних експлуатаційних і технологічних показників;
3. Прийняття рішення оператором про подальші дії (рух, зупинка, переміщення вантажу і т.п.);
4. Управління виконавчими ланками навантажувального маніпулятора на основі прийнятих рішень.

З всіх описаних етапів з технічної точки зору найбільш складним є третій – комплексний аналіз інформації. Останнє безпосередньо залежить від кількості і точності датчиків і алгоритмів обробки інформації. А так як прийняття рішення оператором про його дії ґрунтується на отриманій інформації про стан навантажувального агрегату і вантажу, то інформація повинна бути вичерпною і не двозначною, що дозволяє приймати конкретні рішення з метою виконання технологічного процесу навантаження-розвантаження і виключає виникнення аварійних ситуацій.

На основі раніше проведеного аналізу систем автоматизації та контролю сільськогосподарської техніки сформуємо функції і структуру

пропонованої комплексної системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів і контролю безпечної експлуатації вантажного агрегату (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Функції розробленої системи моніторингу

Реєстрований параметр	Одиниця виміру	Контрольований параметр	Дія бортової інформаційної системи
Час роботи двигуна, гідроприводу та інших механізмів	с	Час роботи окремих систем і механізмів	Реєстрація часу роботи окремих систем і механізмів
Швидкість руху з вантажем і без вантажу	м/с	Технологічні і холості переїзди	Реєстрація часу і швидкості руху
Час стоянки з вантажем і без вантажу	с	Стоянка/простій	Реєстрація часу стоянки / простою
Вага вантажу	кг	Обсяг вантажопереробки	Реєстрація ваги вантажу і обсягу вантажопереробки
Тиск на опори маніпулятора	кН	Реакції опор (аутригерів)	Виведення інформації оператору про стійкість агрегату
Кут крену навантажувача	рад.	Крен і тангаж	
Тиск в гідросистемі	МПа	Поточний тиск в гідросистемі	Реєстрація тиску, розрахунок середнього, мінімального і максимального значення, визначення витрати потужності.

Розроблена комплексна система моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів і контролю стійкості навантажувального агрегату складається з декількох підсистем (рис. 2.1): система моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів роботи навантажувального агрегату; система контролю тиску і перевантажень в гідроприводі; система контролю стійкого становища навантажувального агрегату. Кожна підсистема може працювати як самостійна система або як єдина комплексна система навантажувального агрегату. Основні реєстровані параметри наведені в табл. 2.1.

Рух мобільного навантажувача може реєструватися датчиками кутової швидкості або частоти обертання, при цьому можуть використовуватися індуктивні датчики, магнітні геркони, оптрони, тахогенератори та ін. В нашому випадку використовується оптична пара: ІЧ світловий діод - ІЧ

фотодіод. Контроль тиску в гідросистемі оцінюється за показниками датчиків тиску, це можуть бути як тензометричні, п'єзоелектричні так і реохорди.

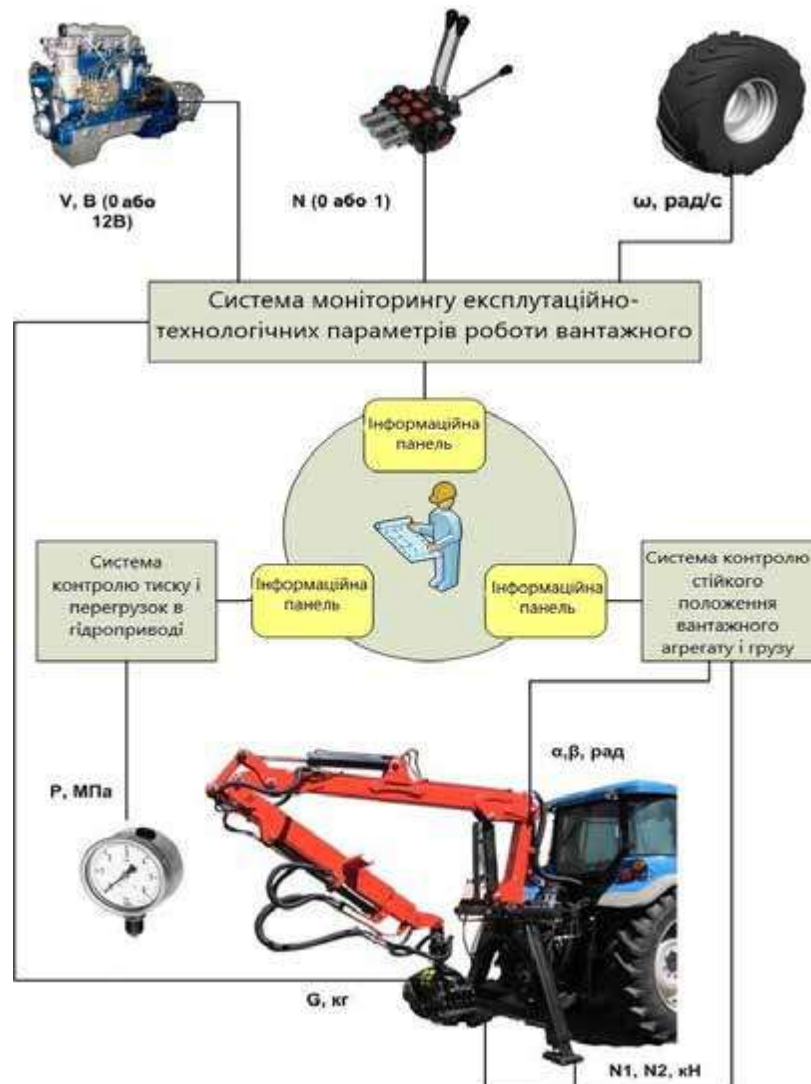


Рис. 2.1 – Структура комплексної системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів і контролю безпечної експлуатації вантажного агрегату

У розробленій системі використовується датчик тиску МД-150 реохордного типу, точність його трохи нижче тензометричного, але для контролю тиску в гідроприводі є прийнятним.

Для визначення стійкості навантажувального агрегату реєструється його положення в просторі, а точніше кут нахилу в поздовжній площині – тангаж і кут нахилу в поперечній площині – крен. Для цих цілей використовуються датчики кута нахилу: гіроскопічні, механічні (маятники, кулькові та ін.). Гіроскопічні датчики положення ненабагато дорожче

механічних, однак вимагають програмної обробки сигналу за допомогою мікрокомп'ютерів, тому з метою здешевлення конструкції та спрощення обслуговування системи було вибрано маятникові датчики кута нахилу.

Реакції на опорах і зусилля на гайковій підвісі (вага вантажу) реєструються за допомогою тензометричних датчиків.

Всі сигнали від датчиків обробляються мікроконтролером і видаються на інформаційні панелі. Застосування маятникових датчиків кутів положення навантажувального агрегату дозволяє без попередньої обробки сигналів відразу виводити значення кутів нахилу навантажувача або навантажувального агрегату на інформаційну панель.

2.2. Система моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів роботи навантажувального агрегату

Ефективність використання вантажно-розвантажувальної техніки в сільському господарстві, як правило, оцінюється за обсягом вантажопереробки за годину, зміну, сезон і оцінюється за кількістю завантажених або розвантажених вантажів на кінцевих пунктах. Однак універсальні навантажувачі можуть використовуватися протягом зміни на різних роботах і з різними вантажами. Відсутність точного обліку вантажопереробки одним вантажним агрегатом знижує ефективність його раціонального застосування, ускладнює облік енерговитрат на операцію і оптимальне використання на різних технологічних операціях розвантаження-навантаження [43].

Моніторинг вантажопереробки окремого вантажного агрегату, можливий тільки при використанні інформаційних систем, які отримують дані від датчиків вантажопідйомності, швидкості переміщення агрегату, лічильників вантажопереробки, дозволить раціонально планувати вантажно-розвантажувальні операції та оптимізувати технологічні процеси в АПК.

Реєстрований час різних етапів при виконанні технологічного процесу вантажним агрегатом дозволяє визначити коефіцієнт завантаженості

навантажувального агрегату, його фактичну продуктивність і ефективність використання на конкретній технологічній операції (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Реєстровані експлуатаційно-технологічні показники роботи вантажного агрегату

Експлуатаційні показники (параметри)	Позначення
Час роботи двигуна вантажного агрегату	T1
Час простою навантажувального агрегату при включеному двигуні	T2
Час роботи гідроприводу	T3
Середня швидкість при русі вантажного агрегату	V_{cp}
Час руху агрегату	T4
Пройдений вантажним агрегатом шлях	S
Час руху вантажного агрегату з вантажем	T5
Час навантаженого вантажем робочого обладнання	T6

На основі реєстрованих параметрів розраховуються показники ефективності використання вантажного агрегату на конкретному виді робіт (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Розрахункові експлуатаційно-технологічні показники роботи вантажного агрегату

Показники ефективності	Формула
Коефіцієнт використання гідроприводу навантажувального агрегату	$K1 = T3/T1$
Час холостого позиціонування робочого обладнання	$T7 = T3 - T6$
Час холостих переїздів і переїзди до місця (від місця) робіт	$T8 = T4 - T5 $
Коефіцієнт корисного використання навантажувального агрегату на вантажно-розвантажувальних роботах	$K2 = T6/T3$
Коефіцієнт простою агрегату	$K3 = T2/T1$

Пропонований програмно-апаратний комплекс моніторингу роботи навантажувального агрегату побудований за блочно-модульним принципом, де кожен функціональний блок може використовуватися як автономно, так і інтегруватися з іншими блоками-модулями (рис. 2.2) [20, 38, 74].

Блок А1 (рис. 2.2) реєструє час роботи двигуна T1 на основі сигналу від генератора 1, тобто таймер включається як тільки з'являється напруга на клеммах генератора. Рукоять гідравлічного розподілювача 2 кінематично пов'язана з контактами вимикача блоку А2, який фіксує час роботи гідроприводу T3 при замиканні контактів і час простою навантажувального

агрегату при включеному двигуні Т2 в нейтральному положенні золотника гідророзподільника. Причому для реєстрації часу простою агрегату Т2 використовують блоки А1 та А2.

На валу колеса трактора, встановлений датчик кутової швидкості 3, сигнал від якого надходить на блок А3, який реєструє час руху агрегату Т4, обчислює пройдений вантажним агрегатом шлях S і середню швидкість при русі вантажного агрегату $V_{\text{ср}}$.

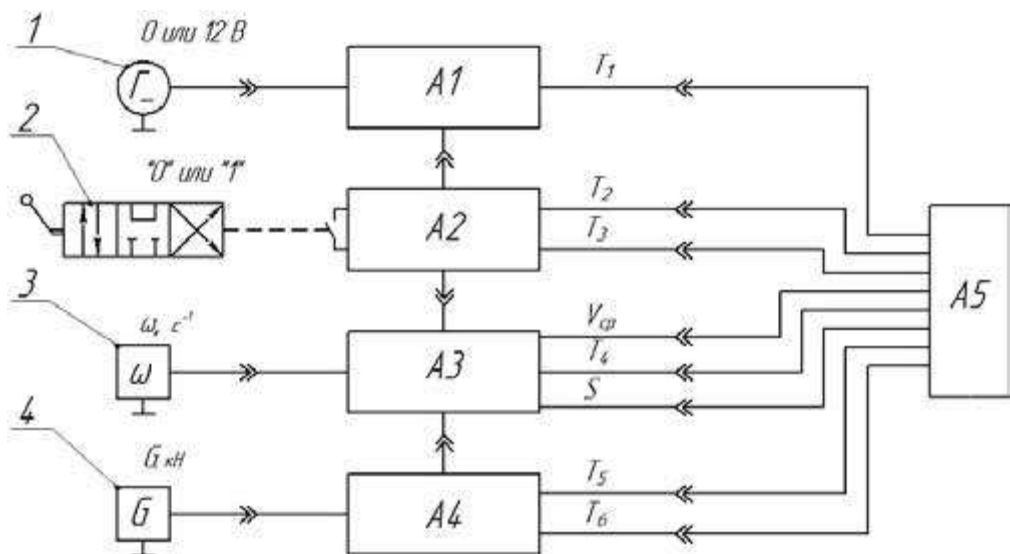


Рис. 2.2 – Блочно-модульна структура системи моніторингу роботи навантажувального агрегату

Від датчика вантажопідйомності 4, розміщеного на гаку підвіски, сигнал надходить на блок А4, реєструючи час навантаженого вантажем робочого обладнання Т6 і час руху вантажного агрегату з вантажем Т5, Останній параметр реєструється за допомогою комунальної роботи блоків А3 та А4. Всі параметри обробляються і зберігаються в блоці А5, а при необхідності виводяться на сегментний індикатор.

Блоки А1, А2, А3, А4 и А5 можуть інтегруватися один з одним і працювати як єдина система, але можуть працювати і автономно один від одного, проте при цьому функціональність деяких блоків може знижуватися.

Блок А1 повністю автономний та інтегрується з блоками А2 і А5. Блок А2 інтегрується з А1, А3 і А5, при відсутності блоку А3 буде неможливою реєстрація часу простою навантажувального агрегату. Блок А3 повністю

автономний та інтегрується з блоками А2, А4 і А5. Блок А4 інтегрується з А3 і А5, при відсутності блоку А3 реєструє тільки час навантаженого вантажем робочого обладнання.

Більш детальна функціональна схема системи моніторингу роботи навантажувального агрегату приведена на рис. 2.3.

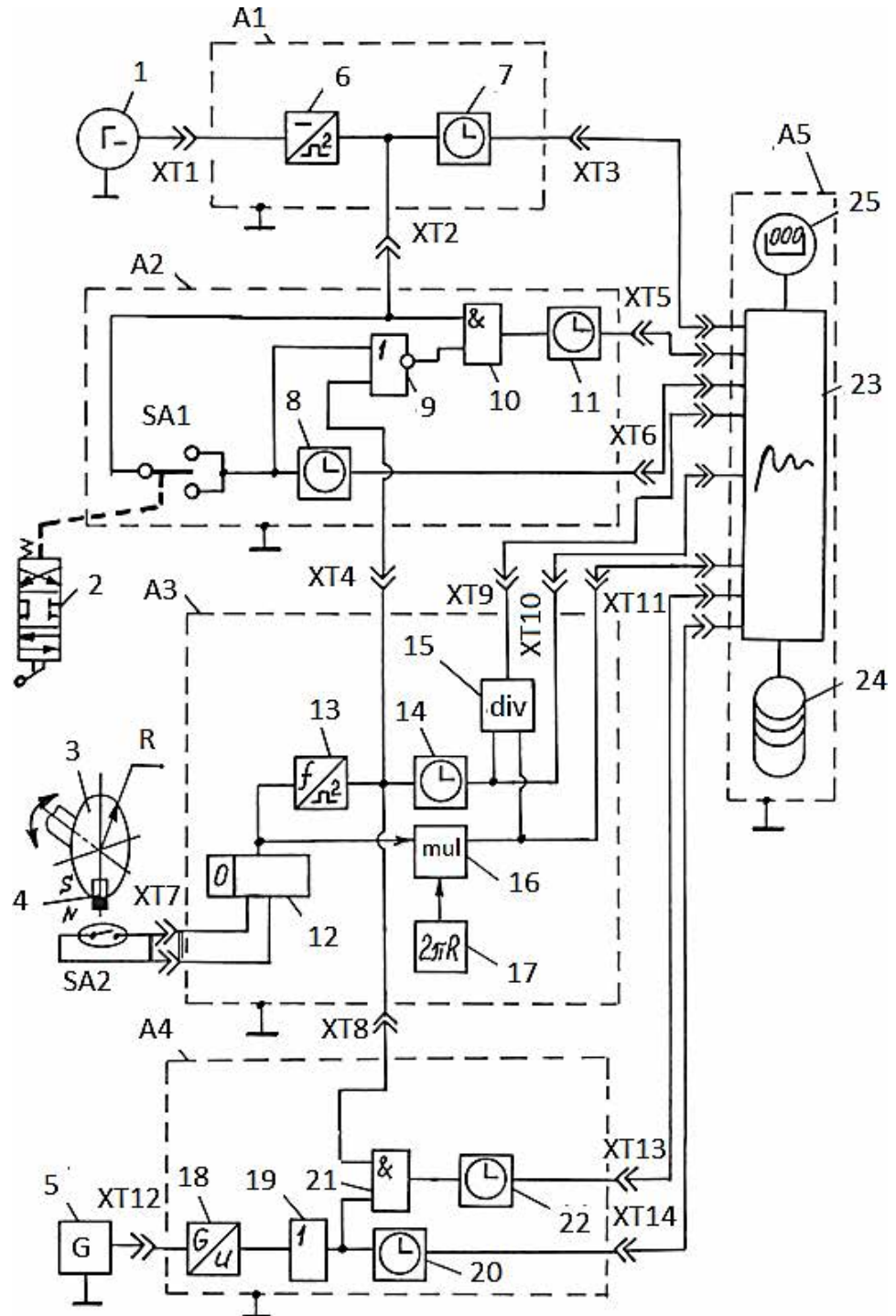


Рис. 2.3 – Функціональна схема системи моніторингу роботи навантажувального агрегату

При запуску двигуна вантажного агрегату генератор 1, підключений до блоку А1 через роз'єм ХТ1, виробляє постійний струм, який в перетворювачі 6 перетворюється в двійковий сигнал, при відсутності струму перетворювач 6 видає логічне стан «0», при протіканні струму – стан «1». При логічному стані «1», що надходить на вхід таймера 7, таймер включається і поки двигун працює таймер відраховує час роботи двигуна вантажного агрегату, сигнал поточного значення якого надходить на блок А5 через роз'єм ХТ5 на прилад реєстрації 23, одночасно зберігаючись на накопичувачі інформації 24 та відображається на інформаційній панелі 25.

При включенні гідроприводу навантажувального агрегату за допомогою розподільника 2 контакти перемикача SA1 замикаються, логічний сигнал «1» від перетворювача 6 включає таймер 8, який починає реєструвати час позиціонування виконавчого обладнання навантажувального агрегату, як тільки контакти перемикача SA1 розімкнуться (виключення гідроприводу розподільником 2) на вхід таймера 8 надійде логічний сигнал «0» – таймер 8 відключиться. При періодичному включенні розподільника 2 і відповідно перемикача SA1 таймер 8 буде підсумовувати час роботи гідроприводу навантажувального агрегату [33].

Коли навантажувальний агрегат починає рух, колесо 3 починає обертатися, постійний магніт 4 періодично проходить повз магнітокерований герметизований контакт SA2, за допомогою якого ланцюг замикається, лічильник імпульсів 12 починає записувати кількість замикань з частотою обертання колеса. У регістрі пам'яті 17 зберігається константа, рівна $2\pi R$ – довжині обода колеса. У блоці 16 число обертів колеса, отримане від датчика 12, перемножується на вміст регістра пам'яті 17, в результаті чого на блок А5 через роз'єм ХТ11 надходить поточне значення пройденого шляху вантажним агрегатом. Частота обертання колеса від лічильника імпульсів 12 надходить в перетворювач частоти в двійковий сигнал 13, при ненульовому значенні частоти обертання колеса на таймер 14 надходить логічний сигнал «1», тим самим включаючи його.

Навантажувального агрегату, поточне значення якого через роз'єм ХТ10 надходить в блок А5, де записується і відображається на інформаційній панелі 25. У блок 15 надходить сигнал від блоку 16 (пройдений шлях) і від блоку 14 (час руху вантажного агрегату) де відбувається обчислення середньої швидкості навантажувального агрегату шляхом ділення сигналу від блоку 16 на сигнал від блоку 14. Отримане поточне значення швидкості у вигляді електричного аналогового сигналу надходить через роз'єм ХТ9 в блок А5.

У випадку, коли вантажний агрегат стоїть на місці, лічильник імпульсів 12 не видає сигнал і на виході перетворювача частоти 13 встановлюється логічний стан «0», який за допомогою роз'єму ХТ4 передається на нижній вхід логічного елемента «АБО-НЕ» 9 і якщо в цей же момент контакти перемикача SA1 розімкнуті, тобто гідравлічний розподільник знаходиться в нейтральному положенні (гідропривід не працює), то і на верхній вхід логічного елемента 9 надходить логічний сигнал «0». Тоді на виході логічного елемента 9 встановлюється логічний стан «1», який надходить на нижній вхід логічного елемента «І» 10. При працюючому двигуні на верхній вхід логічного елемента 10 від перетворювача 6 через роз'єм ХТ2 надходить логічний сигнал «1» [59].

Якщо робочий орган навантажувального агрегату захопить вантаж (або вантаж буде навішаний на крюкову підвіску) від датчика 5 сигнал надійде через роз'єм ХТ12 на перетворювач 18, який в свою чергу видасть напругу, що надходить на вхід буферного повторювача 19, при цьому на виході його встановиться логічний стан «1», сигнал від буферного повторювача включить таймер 20, який почне реєструвати час навантаженого вантажем робочого обладнання навантажувального агрегату. Сигнал з виходу буферного повторювача 19 надходить на нижній вхід логічного елемента 21, а на верхній вхід сигнал надходить через роз'єм ХТ8 від перетворювача частоти в двійковий сигнал 13. Якщо на входах логічного елемента 21 встановляться логічний стан «1», то і на виході теж буде стан «1», тоді сигнал від логічного

елемента 21 включити таймер 22, який почне реєструвати час руху вантажного агрегату з вантажем.

2.3. Оцінка стійкості навантажувального агрегату і положень його окремих ланок

Зростання лінійних розмірів, мас, моментів інерції та інших механічних параметрів машин, а також швидкостей руху агрегатів призводить до істотної зміни їх динамічних якостей та в ряді випадків зменшення стійкості при рухові. Сталий рух агрегату може бути досягнуто шляхом вибору доцільних значень механічних властивостей всіх його ланок (мас, моментів інерції і т.п.) для заданих умов роботи агрегату (швидкостей руху, сил опору робочих органів і т.п.) [8, 68, 63, 64].

При установці навісного фронтального навантажувача на трактор, наприклад, колісний, центр мас агрегату зміщується, а при вантажно-розвантажувальних роботах зміна положення центру мас агрегату особливо чутлива при переміщенні з вантажем. Для визначення навантажень, діючих на осі трактора складемо рівняння моментів щодо точок А і В (рис. 2.4) [65]:

$$\sum M_B = 0; G_1 \cdot l_1 + G_2(l_1 + l_2) + G_3(l_1 + l_3) = N_A l; \quad (2.1)$$

$$\sum M_A = 0; -G_1 \cdot (l - l_1) - G_2(l - l_1 - l_2) + G_3(l_1 + l_3 - l) = N_B l. \quad (2.2)$$

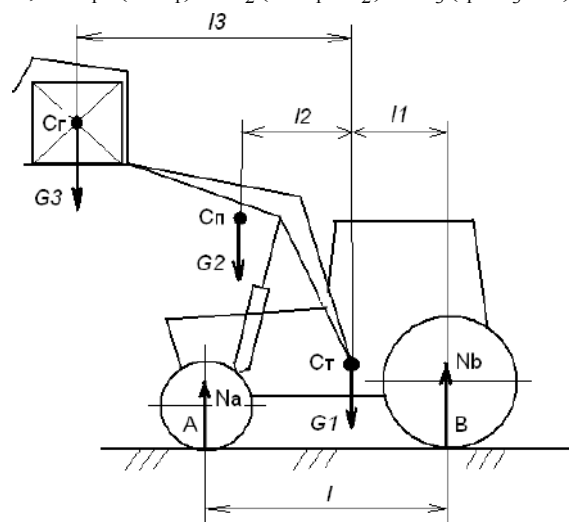


Рис. 2.4 – До визначення центру мас навантажувача: C_T – центр мас трактора; C_H – центр мас навантажувача; C_B – центр мас вантажу; А та В – опорні точки трактора

При постійних l_1, l і прийнятті l_2 за константу, а також знаючи G_1, G_2 і G_3 можна визначити реакції N_A і N_B для будь-якого положення вантажу l_3 .

Для стрілових навантажувачів і маніпуляторів визначення реакцій на трактор аналогічно фронтальним, однак для навантажувачів з поворотною стрілою необхідно оцінювати реакції на кожне опорне колесо, при цьому рівняння моментів складаються як в поздовжній, так і в поперечній площині, тобто розглядається просторова система. При наявності в конструкції маніпулятора обмежувача вантажного моменту вага вантажу, що піднімається стрілою, не є постійною для даного маніпулятора, а залежить від вильоту стріли.

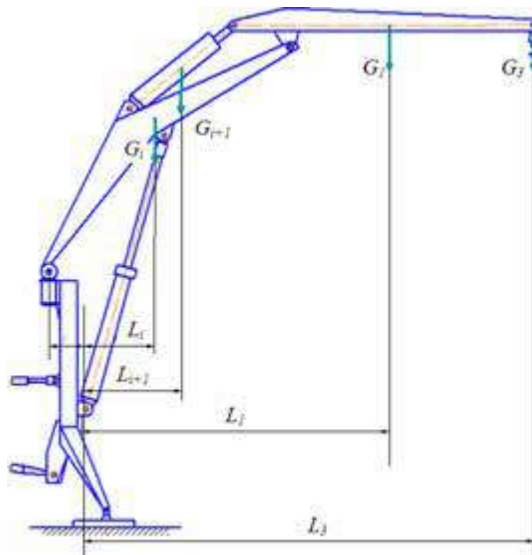


Рис. 2.5 – До визначення вантажного моменту

На будь-якому новому вильоті l_x стріли (рис. 2.5) вага вантажу G_x залежить від ваги елементів стріли G_i і визначається на підставі закону збереження сталості вантажного моменту за формулою [66]:

$$G_x = \frac{G(L+l) - \sum_{i=1}^n G_i(L_i+l)}{L_x+l}, \quad (2.3)$$

де G – вага вантажу на вильоті L ; l – відстань від осі обертання стріли до осі обертання автокрана; L_i – виліт ваг елементів стріли в новому положенні стріли; n – кількість ланок стріли.

Вага вантажу на вильоті L є паспортним значенням маніпулятора.

При визначенні вантажної характеристики маніпулятора без урахування ваги його ланок можна користуватися спрощеною формулою:

$$G_x = \frac{G(L+l)}{L_x+l}. \quad (2.4)$$

Зазвичай вантажну характеристику обмежують граничною вагою вантажу, більше якого маніпулятор піднімати не може за умовами міцності і працездатності його вузлів і деталей, а також його стійкості.

Стійкість маніпулятора включає вантажну і власну стійкість і визначається для робочого стану маніпулятора. Слід зазначити, що при розрахунку на стійкість стрілових навантажувачів і маніпуляторів враховують їх особливість управління, а зокрема неможливість суміщення операцій, наприклад, підйом і поворот і роботи маніпулятора тільки на виносних опорах. Тобто забезпечення стійкості навантажувального агрегату може накладати обмеження на управління декількома ступенями рухливості одночасно, що негативно позначається на продуктивності навантажувального агрегату.

Для визначення просторового кута положення навантажувального агрегату за сигналами від двох датчиків положення (в подовжній і поперечній площинах) запропоновані система і алгоритм розрахунку кута відхилення агрегату від вертикалі.

Принцип вимірювання просторового кута положення об'єкта (вантаж або навантажувача) в просторі показаний на рис. 2.6 [9, 85].

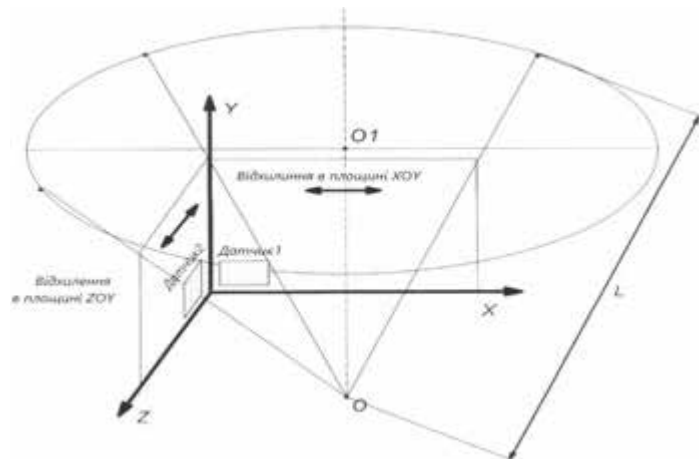


Рис. 2.6 – До визначення просторового кута положення об'єкта

Система розрахунку кута відхилення (рис. 2.7) складається з датчиків положення (датчик 1 і датчик 2), обчислювальних блоків тригонометричних функцій (\cos , atan), множення (mul), ділення (div), додавання (sum), приведення до степеня (x^2 , sqrt).

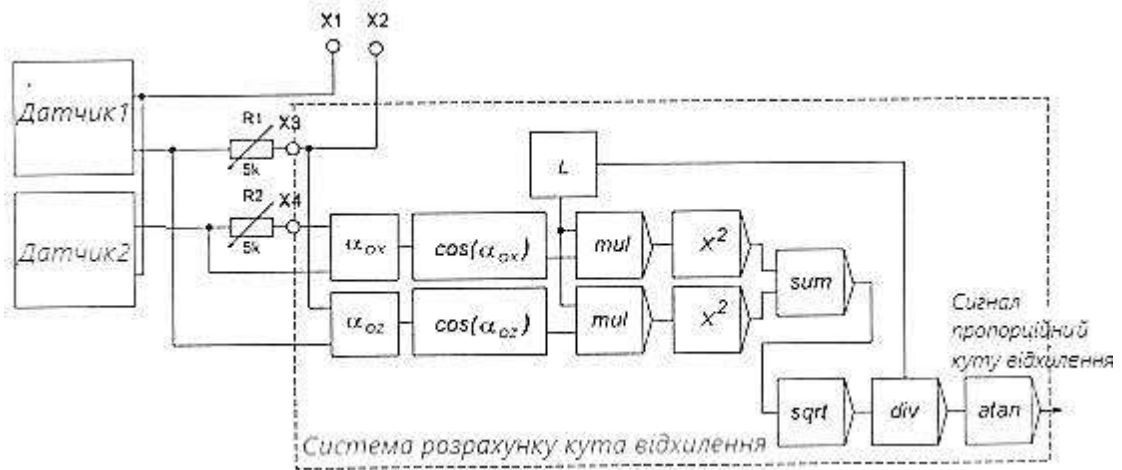


Рис. 2.7 – Система розрахунку кута відхилення агрегату від вертикалі

2.4. Динамічна модель датчика кута положення і обґрунтування його параметрів

Розглянемо маятниковий датчик (рис. 2.8), який має стійке положення рівноваги, від якого відраховуємо узагальнену координату φ – кут повороту маятника датчика [3].

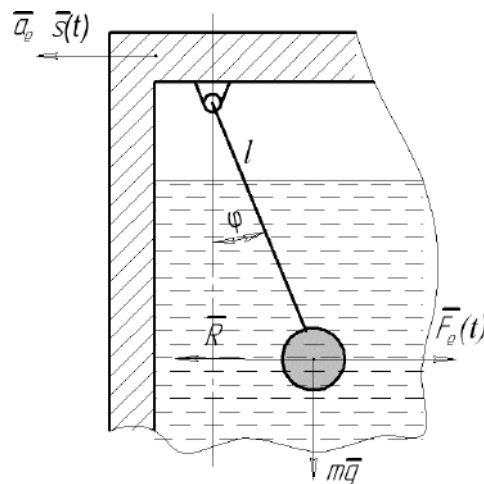


Рис. 2.8 – Розрахункова схема маятникового датчика положення об'єкта

Відповідно до припущення про незначні коливання узагальнену координату φ , її швидкість $\dot{\varphi}$ і прискорення $\ddot{\varphi}$ вважаємо величинами першого порядку. В диференціальні рівняння руху будемо враховувати величини першого порядку, а в виразах для кінетичної енергії T , потенціальної енергії Π і дисипативної функції Релея Φ – величини до другого порядку, оскільки використання рівняння Лагранжа II роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q, \quad (2.5)$$

внаслідок диференціювання призводить до зниження порядку на одиницю.

Рівняння Лагранжа II роду можна представити у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}} + \frac{\partial \Pi}{\partial q} = Q, \quad (2.6)$$

і тоді диференціальне рівняння вимушених коливань лінійної системи з одним ступенем вільності має вигляд [4]:

$$a\ddot{q} + b\dot{q} + cq = Q(t), \quad (2.7)$$

де $a > 0$ – узагальнений інерційний коефіцієнт, $b \geq 0$ – узагальнений дисипативний коефіцієнт, $c > 0$ – квазіпружний коефіцієнт, $Q(t)$ – узагальнена сила.

Узагальнену силу $Q(t)$, яка характеризує зовнішній вплив на коливальну систему, можна представити у вигляді [6]:

$$Q(t) = Q_0 \cdot \sin(pt + \beta), \quad (2.8)$$

де Q_0 – амплітуда узагальненої сили, p, β – її частота і початкова фаза, s^{-1} і рад відповідно.

Коли $Q(t)$ змінюється за законом синуса або косинуса, має місце гармонійне збудження коливань.

Розглянемо випадок інерційного збудження маятника датчика в разі нерівномірного руху вантажного агрегату (розгін або гальмування). Прийmemo, що система координат, пов'язана з корпусом датчика положення вилочного захоплення, рухається разом з ним поступально і прямолінійно, але нерівномірно. Тому при складанні диференціального рівняння

вимушених відносних коливань необхідно враховувати переносну силу інерції $\overline{F}_e(t) = -m\overline{a}_e$, що має напрямок проти переносного прискорення (рис. 2.8). Переносне прискорення вважаємо направленим в одному напрямку із переміщенням $S(t)$. Узагальнена сила $Q(t)$ буде визначатися переносною силою інерції $F_e(t)$, тобто:

$$Q(t) = \frac{-m \cdot \ddot{s}(t) \cdot l \cdot \cos(\varphi) \cdot \delta\varphi}{\delta\varphi} = m \cdot p^2 s_0 \cdot l \cdot \sin(pt + \beta) \cdot \cos(\varphi). \quad (2.9)$$

або з урахуванням малості кута φ :

$$Q(t) = m \cdot p^2 s_0 \cdot l \cdot \sin(pt + \beta), \quad (2.10)$$

де m – маса маятника, l – його довжина.

Виходячи з припущень про малість коливань, вважаємо $\cos(\varphi) = 1$, $\sin(\varphi) = \varphi$, і з урахуванням виразу (2.10) після перетворень отримаємо диференціальне рівняння руху маятника датчика при довільному інерційному збуренні, що виникає при русі вантажного агрегату по нерівностях:

$$\ddot{\varphi} + \frac{\mu}{m} \dot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = \frac{p^2 s_0}{l} \sin(pt + \beta), \quad (2.11)$$

або

$$\ddot{\varphi} + 2\varepsilon \dot{\varphi} + k^2 \varphi = \frac{p^2 s_0}{l} \sin(pt + \beta), \quad (2.12)$$

де $2\varepsilon = \mu / m$, $k^2 = g / l$.

Спільним рішенням лінійного неоднорідного диференціального рівняння буде:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2. \quad (2.13)$$

Складова власних коливань маятника при наявності вязкого опору визначиться:

$$\varphi_1 = \begin{cases} \sqrt{\varphi_0^2 + \left(\frac{\varphi_0}{\sqrt{g/l}}\right)^2} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t + \beta), \varepsilon < k \\ e^{-\varepsilon t} \cdot (C_1 + C_2 t), \varepsilon = k \\ e^{-\varepsilon t} \cdot (C_1 e^{k t} + C_2 e^{-k t}), \varepsilon > k \end{cases}. \quad (2.14)$$

Для виключення амплітудних спотворень маятникового датчика необхідно щоб частота власних коливань приладу $k = \sqrt{\frac{g}{l}}$ значно перевищувала максимальну частоту врахованих гармонік періодично

вимірюваної величини p , а для виключення фазових спотворень необхідно, щоб фазові зрушення були близькі до нуля [3]. Для цього прилад повинен мати якомога більшу добротність $D = 1 / d$ і відповідно якомога менший безрозмірний коефіцієнт загасання [6]. Як правило, при проектуванні приладів доводиться йти на компроміс між спотвореннями по фазі і амплітуді та добротністю.

Для маятникового датчика основним параметром, що впливає на його власну частоту і період коливань буде довжина підвісу l , яка ще додатково залежить від габаритів проектованого датчика.

Для визначення довжини підвісу датчика l вирішимо завдання пошуку найбільш раціональних параметрів маятникового датчика, що задовольняють наступним вимогам: мінімальні габарити датчика ($l \rightarrow \min$); якомога більша добротність системи ($D \rightarrow \max$); мінімальні значення коефіцієнта динамічності ($\lambda \rightarrow \min$); частота власних коливань якомога більше ($k \rightarrow \max$).

Очевидно, що задовольнити всі умови неможливо, тому спочатку визначимо області існування найбільш близьких до оптимальних параметрів значень добротності, побудувавши її залежності від коефіцієнта загасання і довжини підвісу, від якого безпосередньо залежить кругова частота власних коливань.

На рис. 2.9а представлена поверхня залежності добротності D від k і ε . Максимальне значення добротності для цього випадку становить $D = 0,495$ при довжині маятника $l = 0,025$ м. На рис. 2.9б представлена поверхня залежності добротності D від k і ε при $\varepsilon < k$, з якої видно, що найбільші значення добротності змінюються від 0,502 до 1,107, що більше задовольняє пропонованим вище вимогам (в порівнянні з результатами, представленими на рис. 2.9а). Рівняння руху маятника в цьому випадку буде описуватися першим рівнянням виразу (2.14). Визначення найбільш раціональних параметрів датчика маятникового типу далі будемо шукати в останній області залежності D (рис. 2.9б.). При цьому слід враховувати, що потрібно

прагнути, щоб коефіцієнт загасання ε був найбільшим.

Відзначимо також, що значення безрозмірного коефіцієнта загасання

$d = \frac{2\varepsilon}{k}$ змінюються від 0,903 до 1,999 при відповідних значеннях добротності

$D = 0,502 \dots 1,107$.

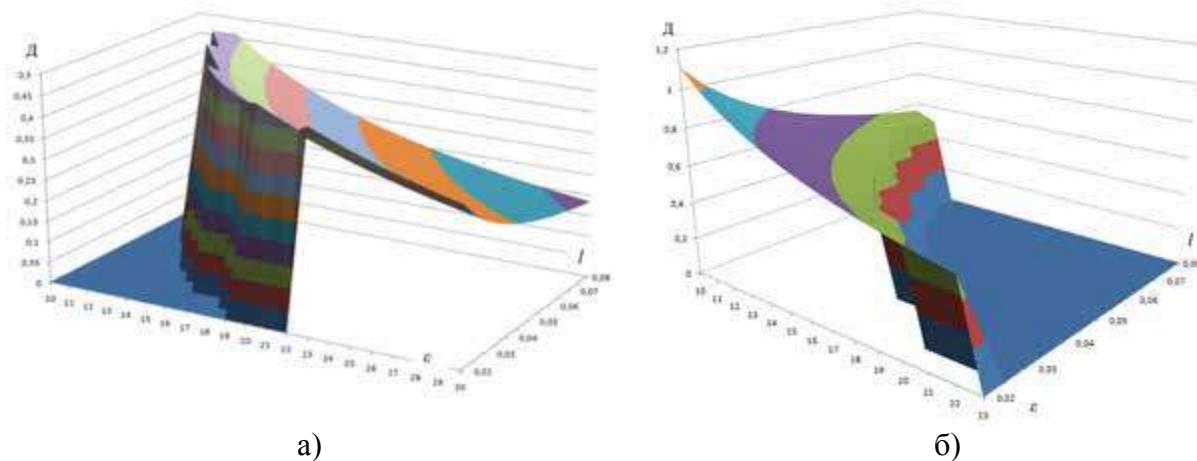


Рис. 2.9 – Залежність добротності D від k і ε : а) при $\varepsilon > k$; б) $\varepsilon < k$

Визначимо коефіцієнт динамічності:

$$\lambda = \frac{1}{(1 - z^2)^2 + d^2 z^2}, \quad (2.15)$$

де $z = p/k$ – коефіцієнт розладу.

Залежність коефіцієнта динамічності λ від коефіцієнта розладу z при різних значеннях d представлено на рис. 2.10 [19].

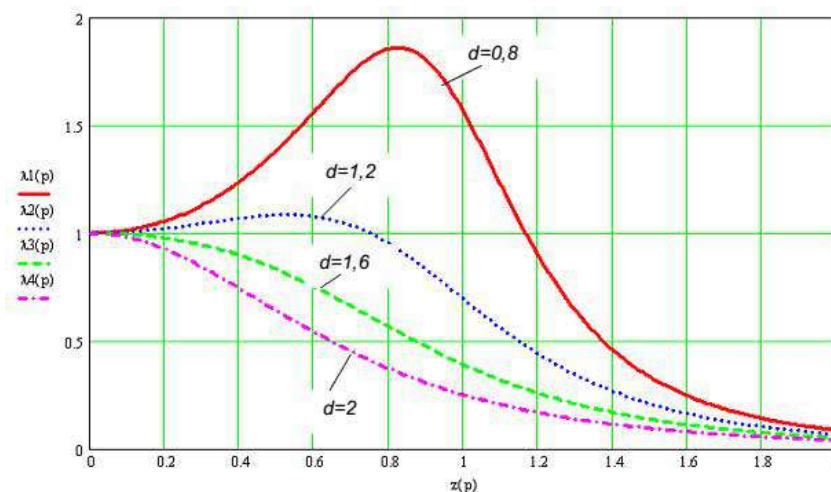


Рис. 2.10 – Залежність коефіцієнта динамічності λ від коефіцієнта розладу z

З таблиці 2.4 видно, що при різних значеннях довжин маятника варіюванням коефіцієнта загасання, можна досягти потрібних значень безрозмірного коефіцієнта загасання, що відповідають максимальним значенням добротності D . Тому приймаємо довжину підвісу рівну 0,04 м.

Для розглянутого датчика положення маятничого типу при $l = 0,04$ м власна кругова частота коливань:

$$k = \sqrt{\frac{g}{l}} = \sqrt{\frac{9,81}{0,04}} = 15,56c^{-1}. \quad (2.17)$$

$$\text{Період вільних коливань } T_c = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{15,66} = 0,401c.$$

Період коливань маятника датчика з урахуванням в'язкого опору в демпферної рідини, визначений дослідним шляхом становить $T_D = 0,205$ с. Тоді коефіцієнт загасання коливань:

$$\varepsilon = \frac{\mu}{2m} = \frac{\pi}{T_c T_D} \sqrt{T_c^2 - T_D^2} = \frac{\pi}{0,425 \cdot 0,205} \sqrt{0,425^2 - 0,205^2} = 13,17c^{-1}. \quad (2.18)$$

Так як $\varepsilon < k$, то маємо випадок згасаючих коливань, і відповідно до виразу (2.14) маємо:

$$\varphi_1 = \sqrt{\varphi_0^2 + \left(\frac{\dot{\varphi}_0}{\sqrt{g/l}}\right)^2} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t + \beta); \quad (2.19)$$

$$\varphi_2 = B \cdot \sin(pt + \beta). \quad (2.20)$$

Для визначення величин амплітуди B і фази β вимушених коливань обчислимо першу і другу похідні φ_2 і підставимо в рівняння (2.12):

$$-Bp^2 \cdot \sin(pt + \beta) + 2\varepsilon \cdot Bp \cos(pt + \beta) + k^2 B \sin(pt + \beta) = \frac{p^2 s_0}{l} \sin(pt + \beta). \quad (2.21)$$

Отримана рівність (2.17) має виконуватися при будь-яких значеннях аргументів $(pt + \beta)$ [23, 62], тому коефіцієнти при обох частинах повинні бути рівні, що дає:

$$\left. \begin{aligned} B(k^2 - p^2) &= \frac{p^2 s_0}{l} \cos p \\ B \cdot 2\varepsilon p &= -\frac{p^2 s_0}{l} \sin p \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

Рішення системи (2.22) дозволяє визначити амплітуду B і $\text{tg}(p)$:

$$B = \frac{p^2 s_0 / l}{\sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon^2 p^2}} \left. \begin{array}{l} \\ \operatorname{tg}(p) = -\frac{2 \cdot \varepsilon \cdot p}{k^2 - p^2} \end{array} \right\} \quad (2.23)$$

Знак «мінус» в правій частині другого виразу показує, що вимушені коливання по фазі відстають від допустимої сили. Отримані вирази (2.23) є відповідно амплітудно-частотною і фазочастотною характеристиками коливальної системи (рис. 2.12).

Загальне аналітичне вирішення рівняння (2.12) з урахуванням виразів (2.19), (2.20) і (2.23) після відповідних перетворень набуде вигляду:

$$\varphi = \sqrt{\varphi_0^2 + \left(\frac{\dot{\varphi}_0}{\sqrt{n/l}} \right)^2} \cdot e^{-\varepsilon t} \cdot \sin(\omega t + \beta) + \frac{p^2 s_0 / l}{\sqrt{(k^2 - p^2)^2 + 4\varepsilon^2 p^2}} \sin(pt + \beta) \quad (2.24)$$

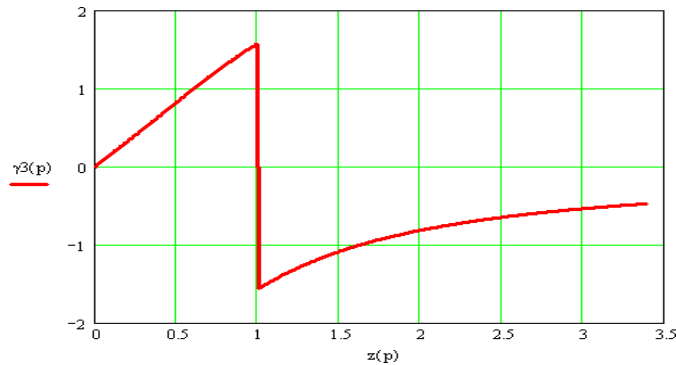


Рис. 2.12 – Фазочастотна характеристика маятничого датчика при $l = 0,04$ і $\varepsilon = 13 \text{ с}^{-1}$.

На рис. 2.13а і 2.13б представлені графіки коливань маятника датчика при інерційному збуренні, реалізовані в MathCad [19, 29].

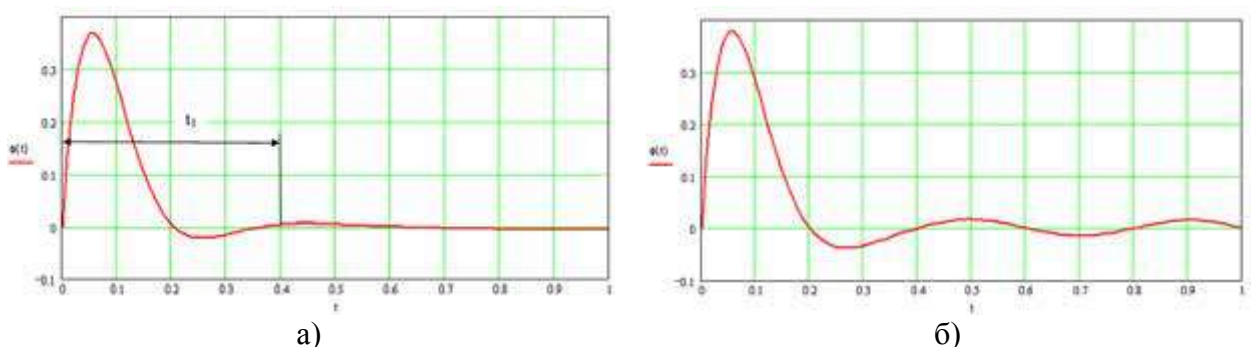


Рис. 2.13 – Коливання маятника датчика при інерційному збуренні: а) частота $p = 5 \text{ с}^{-1}$; б) резонансна частота $p = k = 15,66 \text{ с}^{-1}$.

Як видно з графіків коливань маятника датчика (рис. 2.13а, б) коливальний процес аперіодичний, що дозволяє за $t_1 = 0,4$ секунди

повернутися маятнику в стан рівноваги, демпфірування коливань відбувається за 0,2 ... 0,3 с., А при частоті вимушених коливань, близькою до резонансної, спостерігаються гармоніки з періодом $T = 0,4$ с але з незначною амплітудою в 0,016 рад. (0,920). Таким чином можна зробити висновок про оптимально розраховані параметри маятничого датчика положень.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА КОНТРОЛЮ СТІЙКОСТІ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

3.1 Прилади, обладнання та методи досліджень системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів

Для перевірки працездатності системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів, наладки приладу реєстрації параметрів і датчиків був створений імітаційний лабораторний стенд (рис. 3.1).



Рис. 3.1 – Імітаційний лабораторний стенд для перевірки працездатності системи: 1 – прилад реєстрації параметрів і обчислення експлуатаційних показників; 2 – тумблер імітації включення двигуна; 3 – тумблер імітації включення гідروприводу; 4 – тумблер імітації включення передач (вперед/назад); 5 – тумблер імітації спрацьовування датчика вантажопідйомності; 6, 7, 8, 9 – світлові діоди індикації включення імітованих дій.

Даний імітаційний стенд дозволяє імітувати включення двигуна (початок подачі напруги з клем генератора), перемикання важелів виконавчого гідроприводу, перемикання важеля коробки передач трактора і

наявність / відсутність вантажу на гаку підвіски. Імітаційний стенд використовувався на етапах налагодження алгоритмів і для налаштування датчиків, зокрема, датчика руху вантажного агрегату.

Датчик руху (оптичний енкодер) бар'єрного типу являє собою оптичну пару на інфрачервоних світлових діодах *VD2* – випромінювачі і фотодіоді *VD3* – приймачі. Випромінювач і приймач знаходяться в окремих корпусах, які встановлюються один напроти одного на одній осі. Переривання проходження променя здійснюється за допомогою перфорованого диска, закріпленого на валу колеса вантажного агрегату (рис. 3.2а). На диску виконані 18 отворів. Зміна освітленості фіксується приймачем, сигнал подається на прилад реєстрації [32].



Рис. 3.2 – Датчики: а) датчик руху бар'єрного типу (оптичний енкодер); б) розміщення датчиків включення гідроприводу; 1 – гідророзподільник, 2 – мікроперемикач МП, 3 – важіль управління золотником, 4 – пружинна кнопка мікроперемикача.

Датчики включення гідроприводу – мікроперемикачі типу МП, контакти яких кінематично пов'язані з важелями переключення золотників гідравлічного розподільника (рис. 3.2б).

Датчик наявності вантажу на гаку 1 (рис. 3.3) складається з важеля 2, встановленого на шарнірі 3. Одне плече важеля 2 повторює поверхню ложа гака, а інше діє на кнопку мікроперемикача 4, мікроперемикач жорстко встановлений на гаку 1 за допомогою кріплення 5. Повернення важеля 2 при відсутності вантажу забезпечується пружиною 6.



Рис. 3.3 – Датчик наявності вантажу на гаку: а) схема датчика наявності вантажу на гаку, б) зовнішній вигляд підвіски з датчиком наявності вантажу.

Практична апробація програмно-апаратного комплексу моніторингу роботи навантажувального агрегату проводилася як в лабораторних умовах, так і на вантажному маніпуляторі НПМ-0,6 на базі самохідного шасі Т-16МГ (рис. 3.4).



Рис. 3.4 – Зовнішній вигляд навантажувального агрегату на базі СШ Т-16МГ і навісного маніпулятора НПМ-0,6

Схема комутації датчиків з приладом реєстрації параметрів представлена на рис. 3.5.

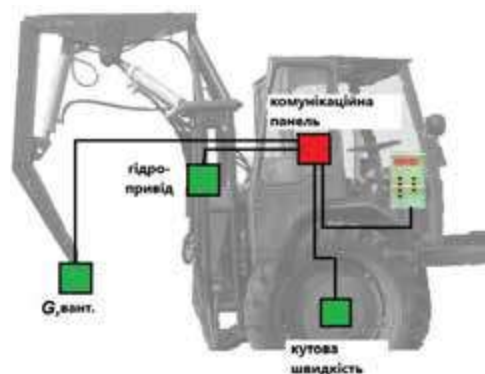


Рис. 3.5 – Схема розміщення кабелів, комутаційних панелей і приладу моніторингу

Для обробки реєстрованих експлуатаційно-технологічних параметрів на стаціонарному комп'ютері розроблено програмне забезпечення на мові Visual Basic ver.6 [89]. Програмне забезпечення дозволяє за отриманими через COM-порт даними з приладу реєстрації визначати час холостого позиціонування робочого обладнання, час холостих переїздів, коефіцієнт використання гідроприводу, коефіцієнт корисного використання навантажувального агрегату, коефіцієнт простою агрегату, коефіцієнт використання навантажувача за вантажопідйомністю, коефіцієнт використання по продуктивності, експлуатаційну змінну продуктивність. Скріншот програми представлений на рис. 3.6.

Рис. 3.6 – Скріншот програми визначення показників ефективності використання навантажувача.

3.2 Результати досліджень системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів

Експериментальні дослідження проводилися на прикладі технологічного процесу штабелювання рулонів сіна на висоту 2,8 м і дальності перевезень до 100 м. Одночасно з реєстрацією параметрів здійснювався хронометраж складових технологічного циклу, загальний час якого склав:

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_{11} (T \approx 2,5 \text{ хв}), \quad (3.1)$$

де t_1 – час нахилу вантажопідйомником вперед для заведення вил під вантаж ($t_1 \approx 10 \dots 15$ с) і підйом вантажу на 0,3 м; t_2 – час для розвороту автотранспорту (автонавантажувача) ($t_2 = 10 \dots 15$ с); t_3 – час руху автотранспорту з вантажем, с; $t_3 = 3,6 L / V_{\text{п}}$ (L – дальність перевезення, $V_{\text{п}}$ – швидкість пересування з вантажем (за вимогами охорони праці її приймають не більше 10 м / с); t_4 – час установки підйомника у вертикальне положення з вантажем на вилах $t_4 \approx 3$ с; t_5 – час підйому вил, с; $t_5 = (H - 0,3) 60 / V_{\text{в}}$; H – висота підйому вантажу, м, 0,3 – транспортна висота підйому, яка була врахована при визначенні часу t_1 ; $V_{\text{в}}$ – швидкість підйому вантажу, м / хв; t_6 – час для укладання вантажу в штабель, с, $t_6 \approx 8$ с; t_7 – час нахилу вантажопідйомником назад без вантажу, с; t_8 – час спуску вил без вантажу, с; t_9 – час розвороту автотранспорту без вантажу $t_9 = 10 \dots 15$ с; t_{10} – час зворотного холостого ходу навантажувача, с. (аналогічно t_3); t_{11} – сумарний час для перемикання важелів, $t_{11} \approx 6 \dots 8$ с.

Технологічний цикл штабелювання рулонів сіна складається з тимчасових інтервалів – тактів, які графічно представлені на діаграмі Ганта (рисунок 3.7).

Співвідношення часових складових технологічного циклу завантаження-розвантаження рулонів сіна вантажним агрегатом представлено на рис. 3.8.

На основі реєстрованих тимчасових інтервалів для даної технологічної операції для навантажувального агрегату отримані показники ефективності технологічного процесу:

- $K_{\text{гдр}} = 0,73$ – коефіцієнт використання гідроприводу навантажувального агрегату;

- $K_{\text{н}} = 0,89$ – коефіцієнт корисного використання навантажувального агрегату на вантажно-розвантажувальних (вантажно-транспортних) роботах;

- $K_{\text{в}} = 0,31$ – коефіцієнт використання навантажувача за вантажопідйомністю;

- $K_{\text{в}} = 0,75$ – коефіцієнт використання по продуктивності.

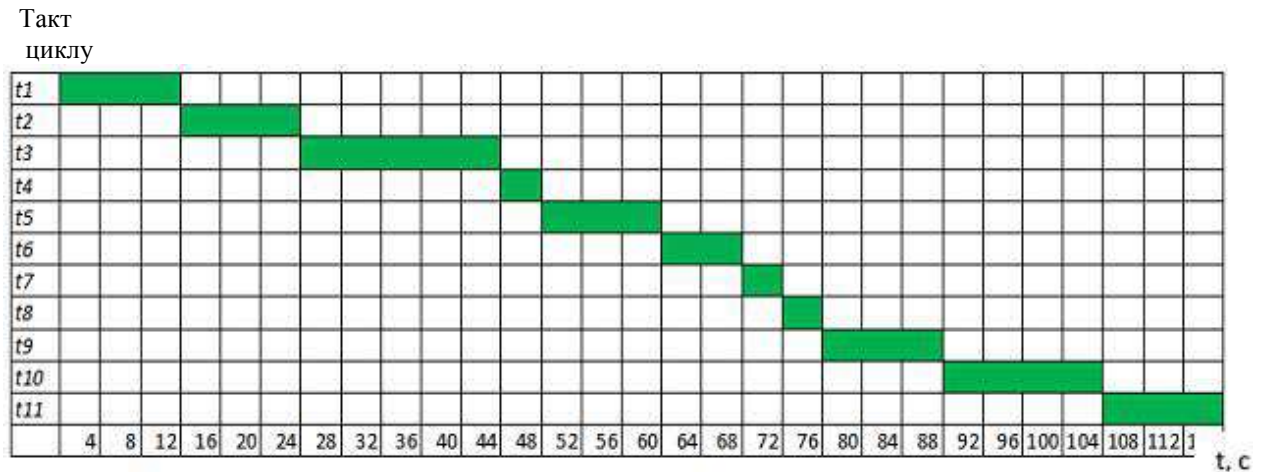


Рис. 3.7 – Часова (усереднена) діаграма технологічного циклу



Рис. 3.8 – Співвідношення часових складових технологічного циклу

Значення коефіцієнтів показують, що є істотний запас підвищення ефективності використання вантажного агрегату за рахунок підвищення продуктивності шляхом більш ретельного планування технологічних процесів навантаження-розвантаження вантажів.

3.3 Прилади, обладнання та методи досліджень системи контролю стійкості

Датчик положення (рис. 3.9) складається з герметичного корпусу 1,

кришки 2, на корпусі датчика є вушка 3 для кріплення датчика, всередині корпусу на осі 4 підвішений маятник 5, на кінці якого встановлений постійний магніт 6, в маятнику виконані дросельні отвори 7. В корпусі датчика на дузі радіуса обертання магніту 6 кріпиться секторна рейка 8 з герконами S1, S2, S3, S4, S5, виходи від герконів виводяться назовні з корпусу 1 датчика за допомогою роз'єму 9. У герметичному корпусі 1 знаходиться демпферна рідина 10, пробка 11 герметизує заливний отвір в корпусі 1 [38, 86].

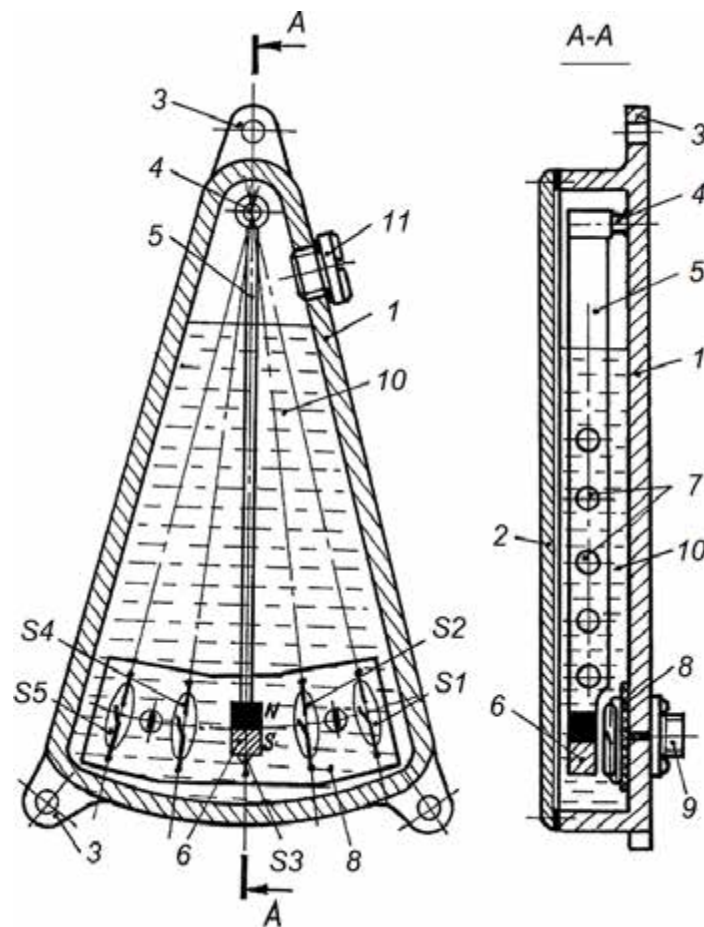


Рис. 3.9 – Датчик положення маятникового типу

Бортова інформаційна система забезпечення безпеки роботи мобільного навантажувального агрегату складається з датчиків кута нахилу 1 і 2, датчиків зусиль 3 і 4, інформаційної панелі 5 і стабілізатора напруги 6 (рис. 3.10). Датчики кута нахилу 1 і 2 розташовані на рамі навісного маніпулятора в подовжній і поперечній площинах відповідно.

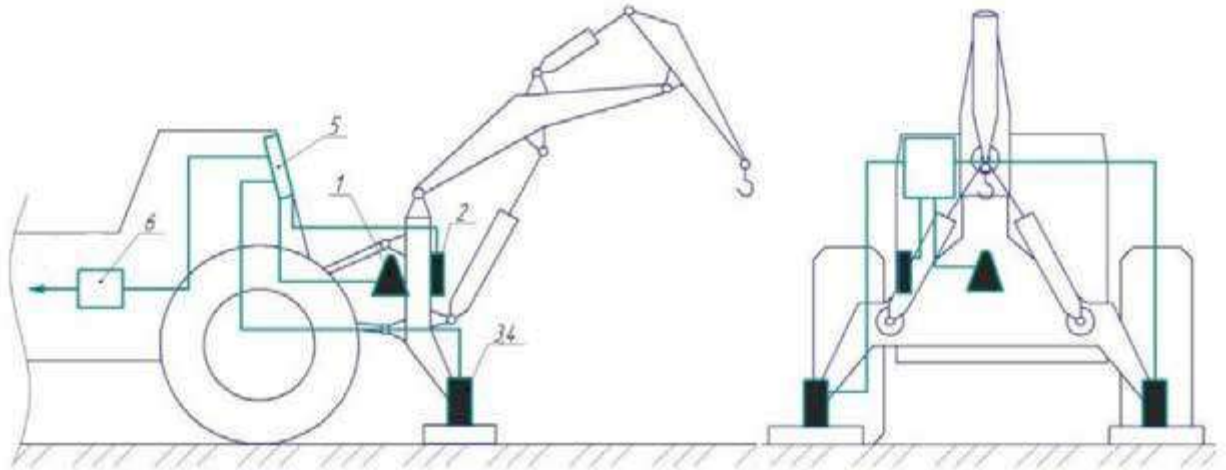


Рис. 3.10 – Навантажувальний агрегат та схема розташування основних елементів бортової інформаційної системи безпеки

Як джерело сигналу кута нахилу датчиків 1 і 2 (рис. 3.11, а, б) використовуються герметичні магнітні керовані контакти (геркони) S1, S2, S3, S4 і S5, один з виходів яких підключений до плюсового виходу стабілізатора 6, інші виходи підключені до струмообмежувальних резисторів R1, R2, R3, R4 і R5 відповідно, а резистори в свою чергу з'єднані з анодами світлодіодів VD1, VD2, VD3, VD4 і VD5 відповідно, катоди яких підключені на загальний провідник – «масу». Світлові діоди VD1-VD5 утворюють сегмент 7 індикації нахилу навантажувального агрегату в поздовжній площині інформаційної панелі 5, причому VD3 виконаний зеленого світіння, світлові діоди VD2 і VD4 – оранжевого, а VD1 і VD5 – червоного [38].

Сегмент 8 (рис. 3.11, б) інформаційної панелі 5 складається з п'яти послідовно з'єднаних світлових діодів VD6 і VD7, VD8 і VD9, VD10 і VD11, VD12 і VD13, VD14 і VD15. Аноди світлових діодів VD6, VD8, VD10, VD12 і VD14 з'єднуються з герконами датчика 2 кута нахилу навантажувального агрегату в поперечній площині, а катоди світлових діодів VD7, VD9, VD11, VD13 і VD15 підключені на «масу». Світлові діоди VD10 і VD11 виконані зеленого світіння, VD8, VD9, VD12 і VD13 – оранжевого, а VD6, VD7, VD14 і VD15 – червоного.

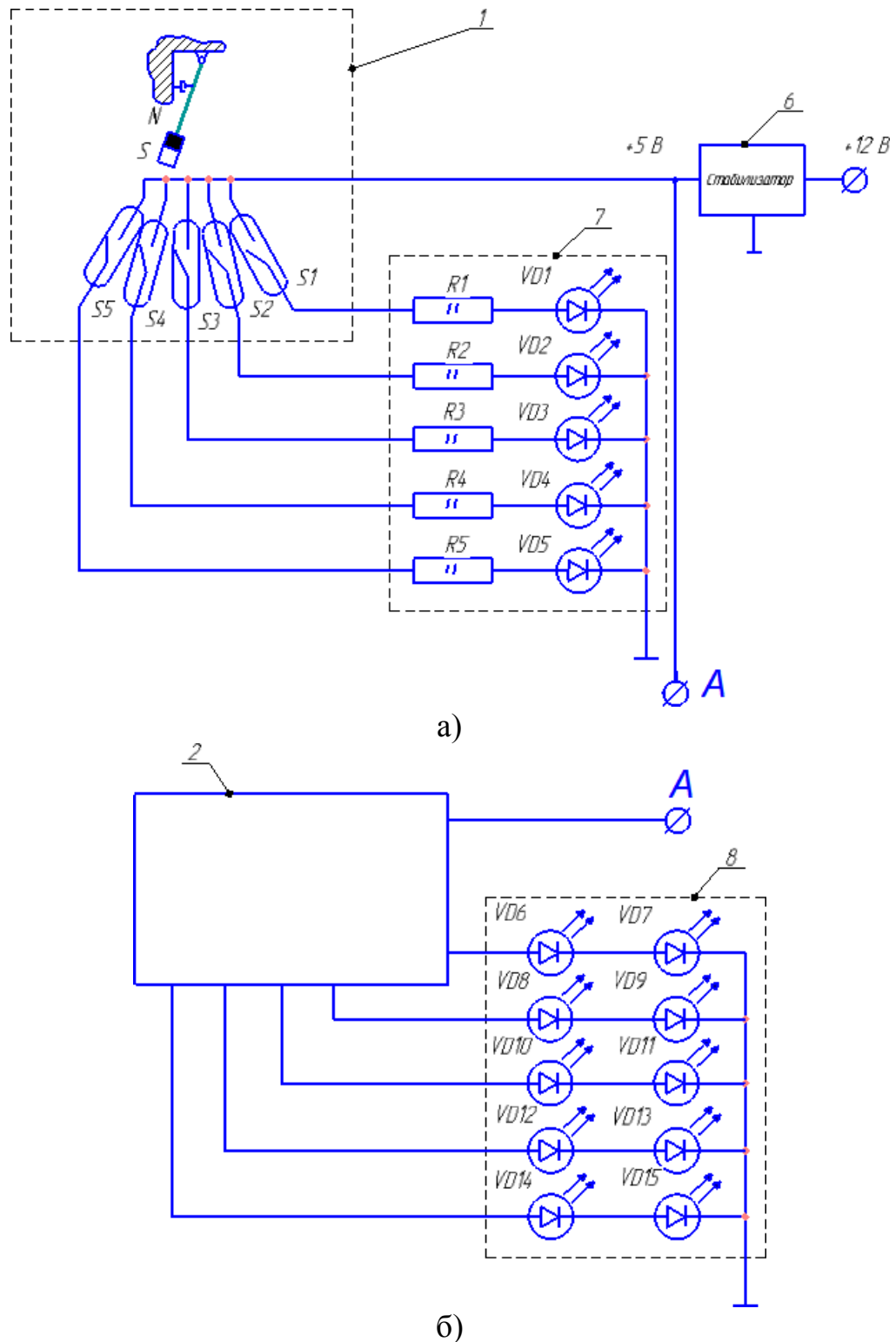


Рис. 3.11 – Принципова схема бортової інформаційної системи

Датчики зусиль 3 і 4 (рис. 3.12) являють собою тензорні ланки, з'єднані відповідно з блоками 9 і 10 посилення та індикації сигналу. Блок 9 складається з тензорного підсилювача D1, вихідного транзистора VT1, струмообмежувальних резисторів R6 - R14, діодів VD17, VD19, VD21, VD23,

VD25, VD27 і світлових діодів VD16, VD18, VD20, VD22, VD24, VD26, VD28 утворюють сегмент 9 індикації зусилля на опорі навантажувального агрегату. Блок 10 влаштований аналогічно блоку 9. Світловий діод VD16 виконаний синього світіння, світловий діод VD18, VD20 – зеленого, VD22, VD24 – оранжевого, VD26 – червоного, VD28 – червоний миготливий [70].

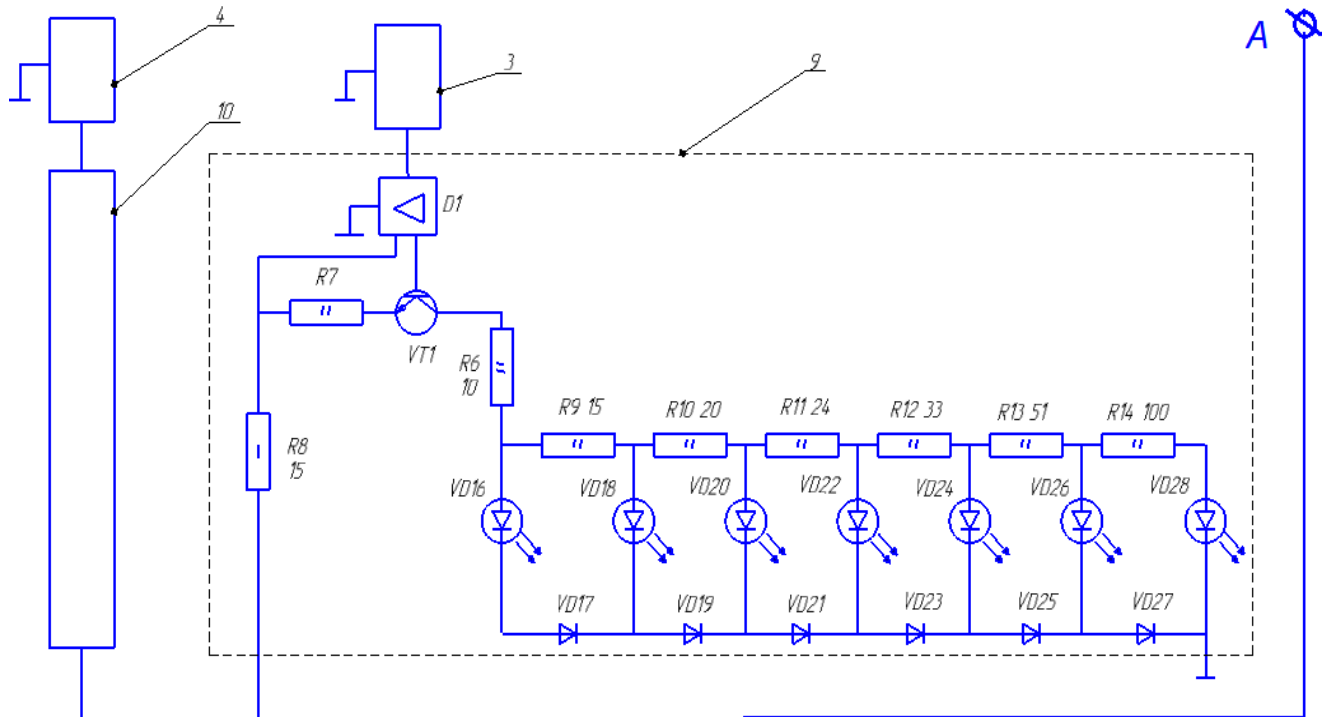


Рис. 3.12 – Частина принципової схеми бортової інформаційної системи, що відповідає за реєстрацію та індикацію зусиль на опорі навантажувального агрегату

На схемах рис. 3.11 і 3.12 точка А є спільною для всіх трьох схем [71].

На інформаційній панелі 5 (рис. 4.11) ряд світлових діодів VD6, VD8, VD10, VD12, VD14 розташований зліва по дузі зверху вниз, а ряд VD7, VD9, VD11, VD13, VD15 справа по дузі від низу до верху. Інформаційна панель 5 складається з сегмента 7 індикації нахилу навантажувального агрегату в поздовжній площині, сегмента 8 індикації нахилу навантажувального агрегату в поперечній площині, сегментів 9 і 10 індикації зусилля на опорах навантажувального агрегату. Інформаційна панель 5 розміщується на склі кабіни оператора трохи зміщеною від лінії огляду робочого простору виконавчого органу навантажувального агрегату.

Візуалізація кута нахилу корпусу навантажувального маніпулятора (рами) відносно вертикалі в подовжній площині (тангажу) відображається в центрі інформаційної панелі в області «А» (рис. 4.13), нахил корпусу навантажувального маніпулятора щодо вертикалі в поперечній площині (крен) відображається в областях «Б» інформаційній панелі. Области панелі «В» сигналізують випадки підвищення навантаження на опори і аварійні випадки, можливі відриви опори від поверхні та подальше перекидання агрегату. Якщо індикація відбувається тільки в області «Г», то агрегат зайняв стійке положення, про що свідчить зелений колір індикаторів [9, 57].

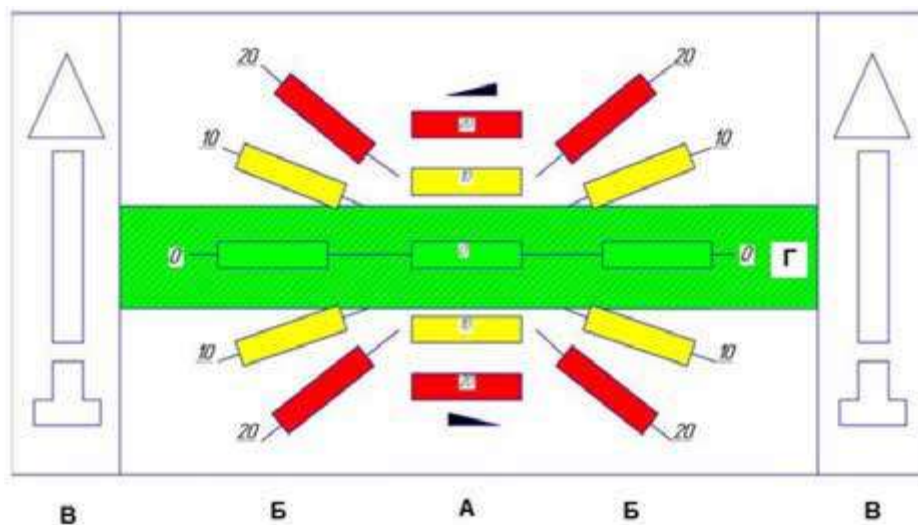


Рис. 3.13 – Зони інформаційної панелі

Жовтий колір індикаторів характеризує відхилення від горизонтального положення, але в межах допустимих значень, червоний колір – наближення до критичних значень, та необхідність дій оператора по запобіганню аварійної ситуації.

Система працює наступним чином. У разі, коли вантажний агрегат займає горизонтальне положення, як в подовжньої, так і в поперечній площинах, і корпусу датчиків 1 і 2 знаходяться у вертикальному положенні, замкнутим виявляється геркон S3 датчиків і на сегменті 7 інформаційної панелі світиться зелений світловий діод VD3, на лівому і правій ділянках сегмента 8 світяться зелені світлові діоди VD10 і VD11 (рис. 3.14, п.1

таблиці) – це сигналізує оператору про стійке положення навантажувального агрегату [10].

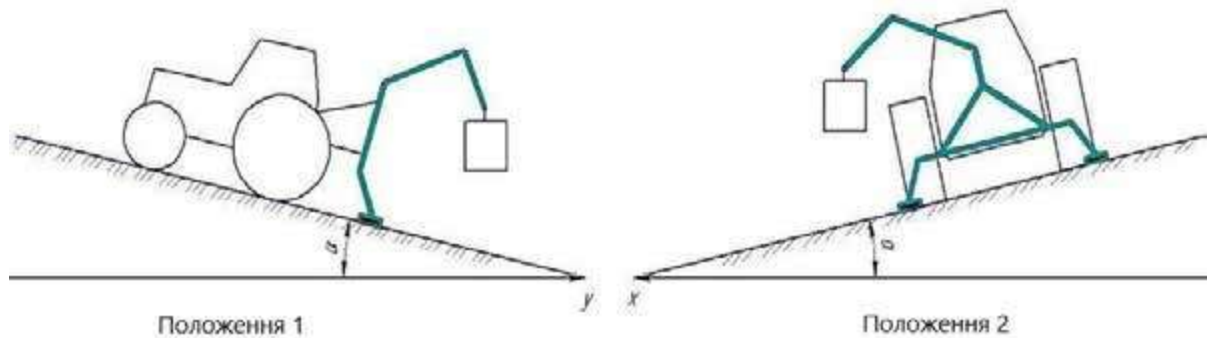
У випадку, коли вантажний агрегат займе положення 1 (рис. 3.14) – нахил відносно поздовжньої осі назад, корпус датчика 1 нахилиться і замкнеться геркон S5, почне світитися світлодіод червоного кольору VD5, який сигналізує про критичний кут нахилу і необхідність термінового прийняття рішення про запобігання перекидання (рис. 3.14, п.2 таблиці), при цьому світлові діоди VD10 і VD11 залишаться світитись. Якщо навантажувальний агрегат займе положення 2 (рис. 4.8) – невеликий нахил щодо поперечної осі нахилить корпус датчика 2 і відповідно почнуть світитися світлові діоди VD12 і VD13, розташовані в сегменті 8. Помаранчевий колір світлових діодів попереджає оператора про недопущення подальшого нахилу агрегату.

У тому випадку, коли вантажний агрегат займає положення з одночасним нахилом, як в поздовжній, так і в поперечній площинах, наприклад, поєднання положення 1 і положення 2 (п.4 таблиці, рис. 3.14). На інформаційній панелі 5 світитимуться світлові діоди VD5 (червоний), VD12 і VD13 (помаранчеві), при цьому оператор повинен прийняти рішення про подальше продовження робіт, або зміну положення агрегату.

При роботі навантажувального агрегату, тиск на опори змінюється в широкому діапазоні. Це залежить від положення навантажувального агрегату, вильоту стріли, положенні стріли відносно поздовжньої осі і маси вантажу.

На сегментах 9 і 10 інформаційної панелі відображаються зусилля на опорах. Якщо опори не дотикаються опорної поверхні, сигнал від датчиків 3 і 4 не надходить і світлові діоди VD16, VD18, VD20, VD22, VD24, VD26, VD28 горіти не будуть. Якщо навантажувальний агрегат працює при горизонтальному положенні з вантажами середньої маси від максимально передбаченої, а стріла знаходиться в поздовжній площині агрегату, то сигнали від датчиків 3 і 4 будуть однакові, сигнал посилюється на

тензорному підсилювачі D1 і надходить на базу транзистора VT1, що виконує роль електронного ключа.



№	Положення навантажувального агрегату	Індикація на інформаційній панелі
1	Горизонтальне положення як і в продольній, так і в поперечній площинах	
2	Нахил відносно продольної осі у (Положення 1)	
3	Нахил відносно поперечної осі x	
4	Нахил відносно поперечної (x) і продольної (y) осей (Положення 1+Положення 2)	

Рис. 3.14 – Варіанти індикації на інформаційній панелі

Підсилений сигнал з колектора надходить на блок індикації з світлових діодів і струмообмежувальних резисторів. При описаних вище умовах горіти будуть світлові діоди VD16, VD18, VD20, VD22. Якщо навантаження на опору підвищиться до критичної позначки, засвітяться всі світлові діоди, включаючи верхній за схемою миготливий світловий діод VD28, що говорить про можливість аварійної ситуації, якщо навантаження на опору зменшиться

до значення близького до нуля, залишиться світитися тільки синій світловий діод VD16 [38, 57].

Для вирішення завдань експериментального дослідження була створена лабораторна установка, що складається з імітаційного стенду, ручної системи управління, мікрокомп'ютера, що виконує роль АЦП, ноутбука для реєстрації, збереження і обробки експериментальних даних (рис. 3.15) [1].

Імітаційний стенд складається з нерухомої стійки 1 (рис. 3.16), на якій шарнірно встановлено основу 2. Основа може повертатися відносно точки А. На основі 2 з можливістю поступального переміщення відносно неї встановлена в пазах 3 платформа 4. До платформи 4 в точці В шарнірно кріпиться коромисло 5, на кінці якого встановлений датчик положення 6.

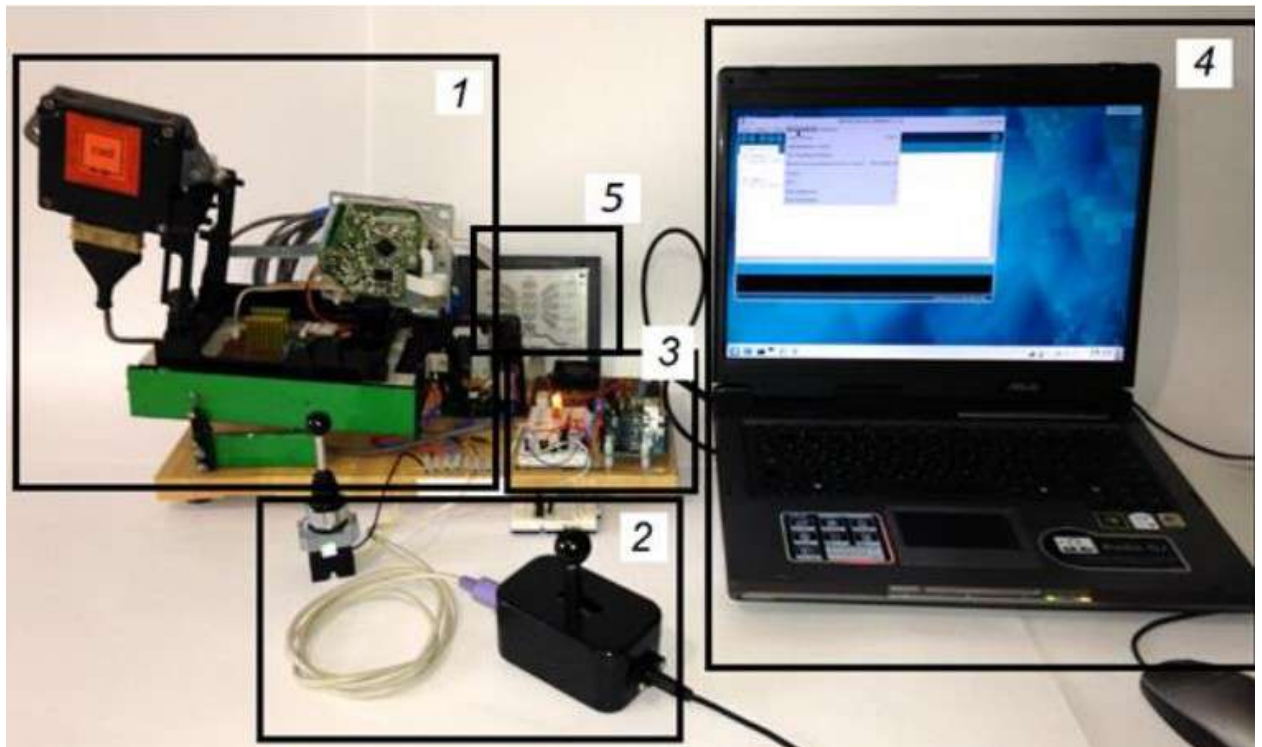


Рис. 3.15 – Зовнішній вигляд лабораторної установки: 1 – імітаційний стенд; 2 – ручна система управління; 3 – мікрокомп'ютер на базі ATmega328; 4 – ноутбук; 5 – інформаційна панель.

Ступінь рухомості датчика відносно стійки становить $W = 3$ [66], кожна рухомість керується електродвигуном постійного струму за допомогою механічних передач. В кінцевому варіанті мають значення тільки переміщення, швидкість і прискорення коромисла, а зокрема, корпусу

датчика положення. Можливих варіантів руху датчика кілька: від різних приводів і при додаванні двох і трьох рухів. В цілому рух датчика є складним. Спочатку розглянемо кожен рух окремо [62, 63].

Привод основи. На стійці 1 встановлено електродвигун постійного струму М3, вал якого пов'язаний з редуктором, що складається з зубчастих коліс 7, 8, 9, 10 з числом зубів відповідно z_7, z_8, z_9, z_{10} . Зубчасті колеса 8 і 9 спарені, вал колеса 10 є продовженням гвинтової передачі, що складається з гвинта 11 і гайки 12, до якої шарнірно кріпиться шатун 13. З іншого боку, шатун 13 шарнірно з'єднаний з основою 2 в точці С.

Передавальне відношення редуктора [82]:

$$u_{7-10} = (z_7 \cdot z_9) / (z_8 \cdot z_{10}) = (40 \cdot 36) / (12 \cdot 12) = 10. \quad (3.2)$$

Частота обертання гвинта 11 при номінальній частоті обертання валу електродвигуна М3 $n_7 = 750$ об / хв.:

$$n_{11} = n_7 / u_{7-10} = 750 / 10 = 75 \text{ об / хв.} \quad (3.3)$$

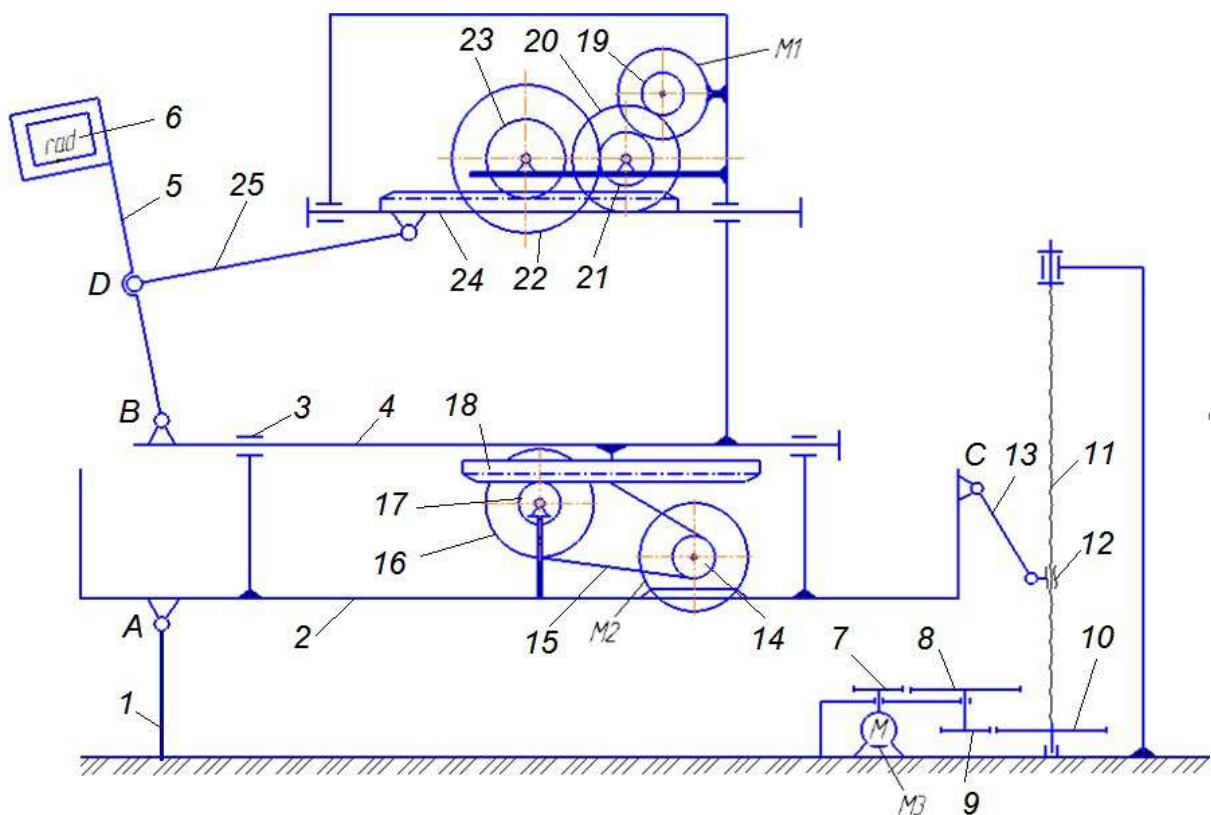


Рис. 3.16 – Кінематична схема імітаційного стенду

Швидкість гайки 12:

$$V_{12} = z \cdot p \cdot n_{11} / 60 = 1 \cdot 2,5 \cdot 30 / 75 = 0,1 \text{ м/с}, \quad (3.4)$$

де z – число заходів різьби гвинта; p – крок різьби гвинта, мм.

Для визначення швидкості V_C скористаємося теоремою про швидкість точки фігури, що знаходиться в плоскопаралельному русі [64]:

$$\bar{V}_C = \bar{V}_{12} + \bar{V}_{CF}, \quad (3.5)$$

де $V_{CF} = \omega_{13} \cdot l_{13}$ – відносна швидкість.

Вираз 3.5 спроектуємо на осі координат (рис. 3.17) і отримаємо наступні рівняння:

$$V_C \cdot \sin \alpha = \omega_{13} l_{13} \cos \beta; \quad (3.6)$$

$$V_C \cdot \cos \alpha = V_{12} - \omega_{13} l_{13} \sin \beta. \quad (3.7)$$

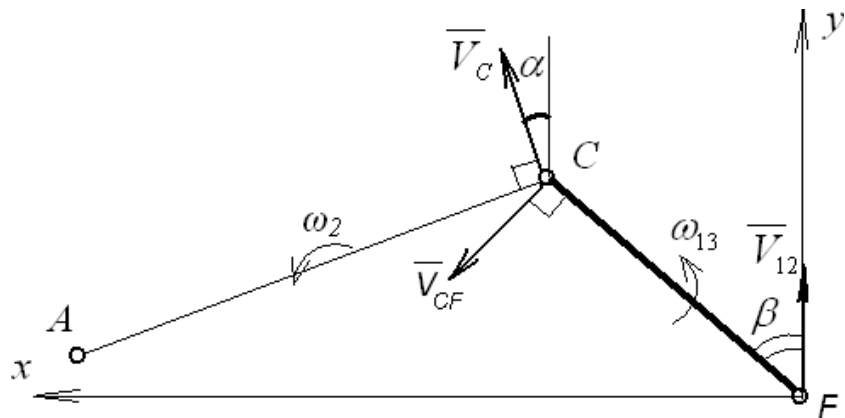


Рис. 3.17 – До визначення швидкостей і прискорень точок основи
З рівняння 3.6 знайдемо кутову швидкість ланки 13:

$$\omega_{13} = \frac{V_C \cdot \sin \alpha}{l_{13} \cos \beta}, \quad (3.8)$$

підставляючи її у рівняння 3.7 отримаємо залежність лінійної швидкості точки C від швидкості гайки і зміни кутів нахилу ланки:

$$V_C = \frac{V_{12}}{\cos \alpha + \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \beta}. \quad (3.9)$$

Як видно, швидкість V_C не є величиною постійною і змінюється в міру переміщення гайки 12, відповідно буде присутнє прискорення.

Знаючи V_C знайдемо кутову швидкість основи 2

$$\omega_2 = \frac{V_C}{AC}. \quad (3.10)$$

Кутове прискорення основи:

$$\varepsilon_2 = \frac{d\omega_2}{dt}. \quad (3.11)$$

Швидкість точки В:

$$V_B = \omega_2 \cdot h, \quad (3.12)$$

де h – плече.

Прискорення точки В:

$$a_B = \sqrt{(a_B^r)^2 + (a_B^n)^2}, \quad (3.13)$$

де $a_B^r = \varepsilon_2 h$ – дотичне прискорення точки В, $a_B^n = \omega_2^2 h$ – нормальне прискорення точки В.

Привод платформи. На основі 2 встановлений електродвигун постійного струму М2, на валу якого встановлений шків 14, обертовий рух від якого за допомогою пасової передачі 15 передається на ведений шків 16, жорстко зв'язаний з зубчастим колесом 17. Зубчасте колесо змінює рух зубчастої рейки 18, в свою чергу жорстко з'єднаної з платформою 4, забезпечуючи її переміщення відносно основи 2.

Передавальне відношення редуктора [83]:

$$u_{14-16} = d_{16} / d_{14} = 22/5 = 4,4. \quad (3.14)$$

Частота обертання колеса 17 при номінальній частоті обертання валу електродвигуна М2 $n_{14} = 350$ об / хв.:

$$n_{17} = n_{14} / u_{14-16} = 350 / 4,4 = 79,54 \text{ об / хв.} \quad (3.15)$$

Кутова швидкість колеса 17:

$$\omega_{17} = \pi \cdot n_{17} / 30 = 3,14 \cdot 79,54 / 30 = 8,32 \text{ с}^{-1}. \quad (3.16)$$

При цьому лінійна швидкість зубчастої рейки 18 і платформи 4 на всьому діапазоні переміщення залишається величиною постійною і становить:

$$V_{18} = V_4 = \omega_{17} \cdot r_{17} = 8,32 \cdot 0,012 = 0,1 \text{ м / с.} \quad (3.17)$$

Привод коромисла. На платформі 4 встановлений електродвигун постійного струму М1, вал електродвигуна пов'язаний з редуктором, що

складається з зубчастих коліс 19, 20, 21, 22, 23 з числом зубів відповідно z_5 , z_6 , z_7 , z_8 і зубчастої рейки 24, шарнірно пов'язаної з шатуном 25, який іншим кінцем в точці D шарнірно пов'язаний з коромислом 5.

Передавальне відношення редуктора [82, 83]:

$$U_{19-22} = (z_{20} \cdot z_{22}) / (z_{19} \cdot z_{21}) = (40 \cdot 36) / (12 \cdot 12) = 10. \quad (3.18)$$

Частота обертання гвинта при номінальній частоті обертання вала електродвигуна M1 $n_{19} = 950$ об / хв.:

$$n_{23} = n_{19} / u_{19-22} = 950 / 10 = 95 \text{ об / хв.} \quad (3.19)$$

Кутова швидкість колеса 23:

$$\omega_{23} = \pi \cdot n_{23} / 30 = 3,14 \cdot 95 / 30 = 9,94 \text{ с}^{-1}. \quad (3.20)$$

При цьому лінійна швидкість зубчастої рейки 24 на всьому діапазоні переміщення залишається величиною постійною і становить:

$$V_{24} = \omega_{23} \cdot r_{23} = 9,94 \cdot 0,015 = 0,15 \text{ м / с.} \quad (3.21)$$

Визначимо швидкість і прискорення точки D коромисла.

$$\bar{V}_D = \bar{V}_{24} + \bar{V}_{DE}, \quad (3.22)$$

де $V_{DE} = \omega_{25} \cdot l_{25}$ – відносна швидкість.

Рівняння 3.22 в проекціях на осі координат (рис. 3.18) набуде вигляду:

$$V_D \cdot \sin \varphi = \omega_{25} l_{25} \cos \delta. \quad (3.23)$$

$$V_D \cdot \cos \varphi = V_{24} - \omega_{25} l_{25} \sin \delta. \quad (3.24)$$

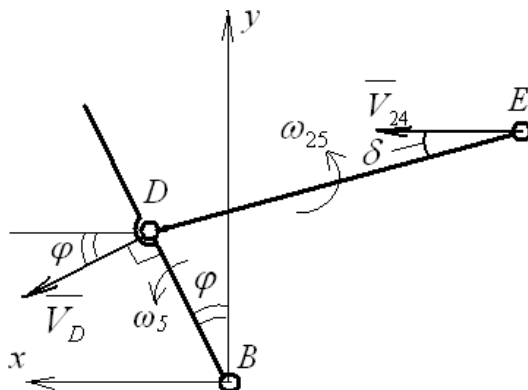


Рис. 3.18 – До визначення швидкостей і прискорень точок коромисла

Вирішуючи рівняння 3.23 і 3.24 отримаємо залежність лінійної швидкості точки D від швидкості рейки і зміни кутів нахилу шатуна:

$$V_D = \frac{V_{24}}{\cos \varphi + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta}. \quad (3.25)$$

Швидкість V_D не є постійною величиною і змінюється в міру кутового переміщення коромисла, характер зміни швидкості і прискорення точки D аналогічний характеру зміни кінематичних параметрів точки B (рис. 3.17), відмінності лише в значеннях величини швидкості і прискорення.

Кутова швидкість коромисла 5:

$$\omega_5 = \frac{V_D}{DB}. \quad (3.26)$$

Кутове прискорення коромисла:

$$\varepsilon_5 = \frac{d\omega_5}{dt}. \quad (3.27)$$

Прискорення точки D:

$$a_D = \sqrt{(a_D^t)^2 + (a_D^n)^2}, \quad (3.28)$$

де $a_D^t = \varepsilon_5 DB$ – дотичне прискорення точки D, $a_D^n = \omega_5^2 DB$ – нормальне прискорення точки D.

Привод основи забезпечує його нахил в межах кута $\alpha = 21^\circ$ (рис. 3.19), привід коромисла забезпечує рух датчика в межах кута $\varphi = 35^\circ$.

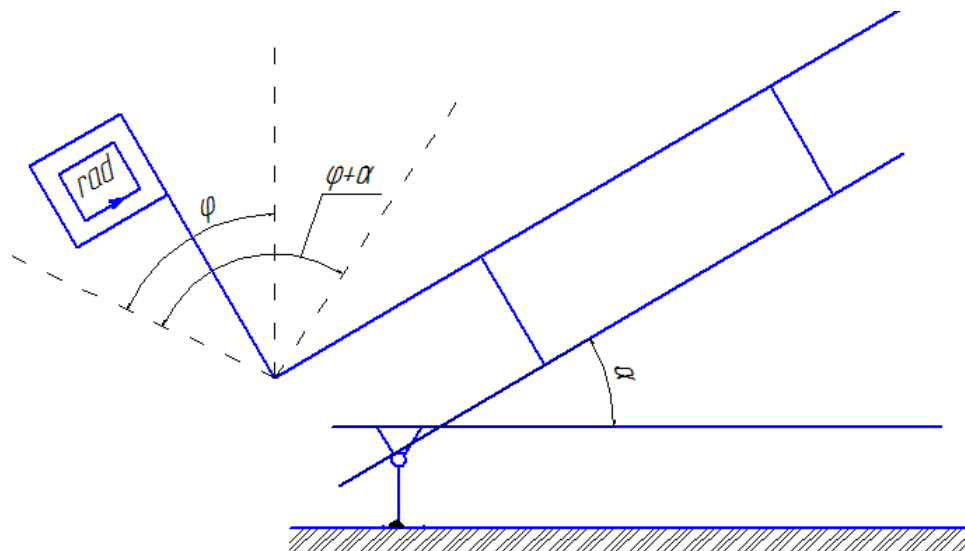


Рис. 3.19 – Забезпечуваний кутовий сектор переміщення датчика положення

Спільна робота приводів основи і коромисла дозволяє збільшити сектор кута нахилу випробуваного датчика до $\alpha + \varphi = 56^\circ$.

Таблиця 3.1. – Технічна характеристика стенду

Напруга живлення, В	$12 \pm 0,5$
Максимальний споживаний струм, А	0,85
Кількість ступенів рухомості	3
Діапазон кутів нахилу датчика, градусів	-21 ... + 35
Діапазони лінійних швидкостей переміщення датчика, м / с	0,25 ... 1,6
Діапазони лінійних прискорень датчика, м / с ²	0,75 ... 2,65
Способи завдання керуючих рухів ланок	- ручний; - програмний (через LPT порт ПК)
Габарити, мм:	300 × 200 × 250
маса, кг	1,6

3.4 Результати досліджень системи контролю стійкості

Зміна величини кутів поворотних частин лабораторної установки реєструвалися за допомогою реохордних датчиків на основі резисторів змінного опору з лінійною характеристикою і діапазоном вимірювання 0 ... 120°.

В ході експериментального дослідження були отримані осциллографічні записи основних характерних динамічних режимів при русі навантажувача по нерівностях (рис. 3.20). За отриманими експериментальними даними коефіцієнт динамічності при інерційному збуренні на датчик становить 1,5 ... 1,8, що знаходиться в межах теоретично визначеного інтервалу 1,2..2.



Рис. 3.20 – Динаміка реагування датчика при русі навантажувача по нерівностях

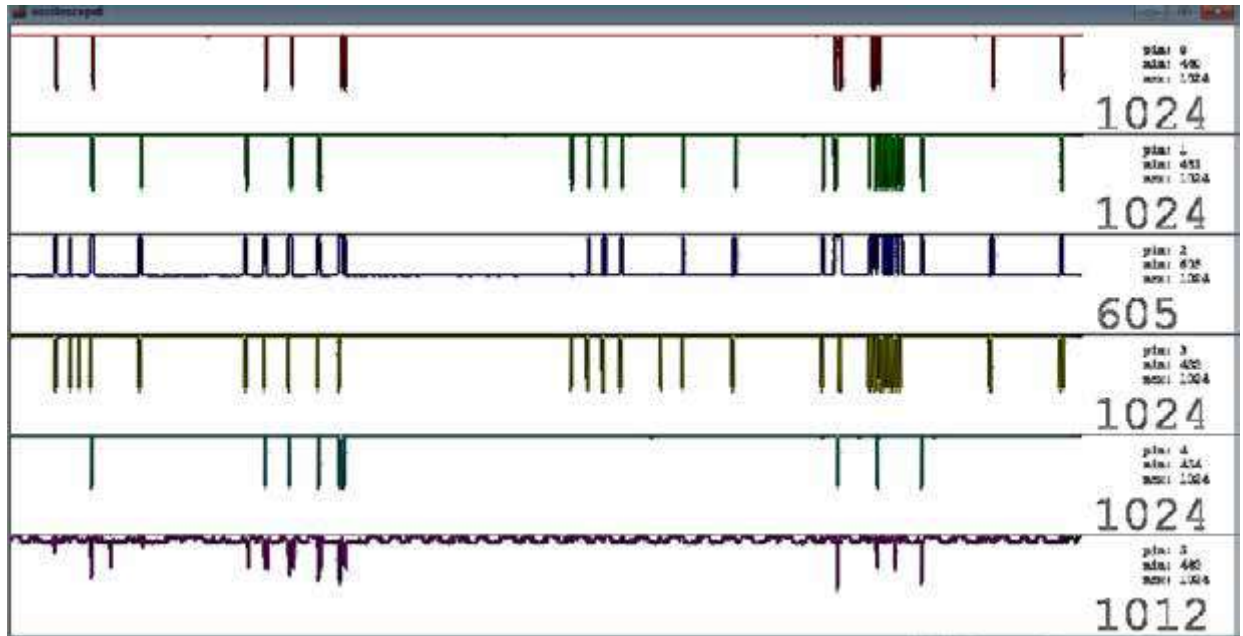


Рис. 3.21 – Осцилограма дослідження процесу впливу ударних навантажень на датчик

Стійкість датчика кута нахилу до вібраційних коливань оцінювалася на основі експериментальних даних (рис. 3.21). Загасання коливань маятника датчика при вібраційному збуренні відбувається за 0,25 ... 0,45 с, при цьому відхилення від теоретичних розрахунків не перевищує 8%.

РОЗДІЛ 4 ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

4.1 Варіант застосування елементів системи контролю положення навантажувального агрегату

Для підвищення зручності контролю і управління вилковим захопленням фронтального навантажувача з робочого місця оператора, виключення перекидання та зісковзування вантажу з вилочного захвату при русі навантажувача на вантажному маніпуляторі може бути застосований наступний пристрій.

Датчик положення 1 (рисунок 4.1) кріпиться до захвату 15, на якому розташований контейнер 16.

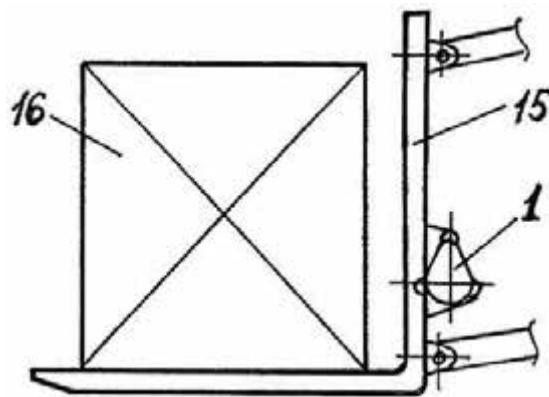


Рис. 4.1 – Розташування датчика положення на захваті контейнера

Візуалізація кута нахилу вантажу на захваті відносно горизонталі здійснюється за допомогою інформаційної панелі 17 (рис. 3.2), розміщеної в кабіні оператора. Панель має п'ять світлофільтрів: червоний 18, помаранчевий 19, зелений 20, помаранчевий 21 і червоний 22, мають зображення відповідного кута нахилу вилочного захоплення.

Робота пристрою здійснюється наступним чином. Коли захват 15 з контейнером 16 знаходяться в горизонтальній площині, датчик положень 1 знаходиться у вертикальному положенні. Маятник 5 (рис. 3.9) датчика з

постійним магнітом 6 знаходяться строго вертикально і симетрично щодо корпусу датчика 1. Магніт 6 знаходиться навпроти геркона S3, який під дією магнітного поля замикається, внаслідок чого електричний струм від бортової мережі навантажувального агрегату через стабілізатор, геркон S3, струмообмежувальний резистор R3 протікає через світловий діод VD3 зеленого кольору (рис. 3.11, а). На інформаційній панелі світиться світлофільтр 20 (рис. 4.2), що показує, що контейнер знаходиться в нейтральному положенні.

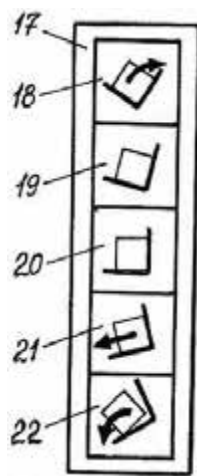


Рис. 4.2 – Інформаційна панель системи контролю положення контейнера

При нахилі захвату 15 вліво на певний кут контейнер 16 також нахиляється на той же кут, разом з захватом 15 нахиляється і датчик положень 1. При нахилі корпусу датчика вліво від вертикалі маятник 5 з постійним магнітом 6 намагаються повернутися у вертикальне положення під дією сили тяжіння, і тоді магніт 6 зупиняється навпроти геркона S4, який замикаючись під дією магнітного поля пропускає струм від стабілізатора через струмообмежувальний резистор R4 до світлового діоду VD4, починає світитися оранжевим кольором світлофільтр 21, інформуючи оператора про те, що вантаж нахилений і потрібно його вирівнювання за допомогою системи управління нахилом захвату (рис. 3.11, а).

При великому куті нахилу захвата 15 вліво, маятник 5 займе крайнє ліве положення в корпусі 1, магніт 6 встановиться навпроти геркона S5, струм пройде через струмообмежувальний резистор R5 і світловий діод VD5. Засвітиться червоним кольором світлофільтр 22 (рис. 4.2), інформуючи оператора про критичний нахил захвату та необхідності прийняття рішень про негайне вирівнюванні вантажу відносно горизонталі.

При нахилі вилочного захоплення в протилежну сторону робота системи відбувається аналогічно, світяться світлофільтри 18 або 19 (рис. 4.2).

Таким чином бортова інформаційна система забезпечення безпеки роботи мобільного навантажувального агрегату представляє з себе частину інтегрованої системи підвищення експлуатаційної технологічності, може застосовуватися як самостійний прилад візуального відображення інформації про стійкість навантажувального агрегату з можливістю розширення його функцій. Пропоноване обладнання не потребує конструктивної зміни навантажувального агрегату і його окремих вузлів, має оригінальне і просте конструктивне рішення з використанням недорогих та доступних елементів і матеріалів. В результаті чого, кінцевий продукт має низьку собівартість, низьке енергоспоживання, простоту в обслуговуванні і експлуатації.

4.2 Техніко-економічна оцінка розробки

Аналіз часу робочого циклу навантаження рулонів сіна показує, що основний час витрачається на холостий переїзд навантажувача до вантажу і позиціонування вантажозахоплювального пристрою, що в середньому становить 22 ... 35% від загального часу циклу.

Використання систем приладового контролю на навантажувальних агрегатах обумовлює підвищення продуктивності на 12 ... 15% при зниженні витрат палива на 12 ... 18% на 1 тону навантаженого вантажу [56].

Очікувана економічна ефективність досягається за рахунок впровадження заходів щодо збільшення експлуатаційної продуктивності

визначалася за відомими апробованим методикам [34]. Основні техніко-економічні показники зведені в таблицю 5.1.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники

Економічні показники	Базове оснащення	З системою моніторингу
Балансова вартість, тис. грн.	75	84
Продуктивність за годину чистого часу, т / год	1,22	1,53
Річний обсяг робіт, т	80	80
Приведені витрати, тис. грн.	76,9	73,35
Експлуатаційні витрати, тис. грн.	45,5	30
Зниження витрат, %	-	15,6
Річна економія витрат, тис. грн.	-	19
Термін окупності, років	-	0,47

Слід зазначити, що економічний ефект від впровадження запропонованої комплексної системи моніторингу експлуатаційно-технологічних параметрів і контролю стійкості навантажувального агрегату може бути отриманий і за рахунок зниження аварійних ситуацій, нещасних випадків і поліпшення умов праці трактористів.

Поліпшення ергономічних властивостей навантажувальних агрегатів направлено на підвищення їх експлуатаційних якостей. У таблиці 5.2. представлені порівняльні дані запропонованої системи з аналогами.

Таблиця 4.2. – Порівняння системи контролю стійкості навантажувального агрегату з аналогами

Показники	Аналоги		Розроблена системи	Відмінні ознаки
	Прилад безпеки ОНК- 140 (160)	Система контролю навантажувача Multifarmer 30.6 classic 2		
Встановлення на вантажопідйомний засіб	Потрібен час для монтажу і налаштування	Вбудована	Швидко монтується	Можливість установки системи на різні типи навантажувальних засобів та агрегати
Ресурс, років	11-15	-	15-25	Простота доопрацювання
Ціна, грн.	30 000	-	9000	Простота конструкції, доступні і дешеві деталі

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу існуючих конструкцій і розробок обґрунтовано структура комплексної системи оцінки експлуатаційної ефективності мобільних навантажувальних агрегатів, яка представляє собою модульну систему моніторингу експлуатаційно-технологічних показників роботи і підвищення безпеки експлуатації вантажного агрегату.

2. Запропоновано методику і розроблено алгоритм визначення експлуатаційно-технологічних показників ефективності використання вантажного агрегату на вантажно-розвантажувальних роботах по непрямим параметрах.

3. Сформульовано підходи до визначення стійкості навантажувальних маніпуляторів з різним агрегуванням навантажувача і розроблена математична модель датчика положення навантажувача у вертикальній площині, що враховує інерційні та резонансні навантаження на навантажувальний агрегат при його русі по нерівностях. Розв'язана задача вибору раціональних параметрів маятникового датчика положення навантажувального агрегату з урахуванням заданих показників точності і зовнішнього інерційного впливу. Адекватність динамічної моделі датчика положення навантажувального агрегату перевірено на лабораторному стенді навантажувального агрегату і на повномасштабному стенді навантажувального маніпулятора НПМ-0,5 на базі самохідного шасі Т-16М. Розбіжність теоретичних і експериментальних даних не перевищує 7,8%.

4. Отримані значення коефіцієнтів ефективності використання вантажного агрегату показують, що є істотний запас підвищення продуктивності на 12 ... 23% шляхом більш ретельного планування технологічних процесів навантаження-розвантаження вантажів. Використання запропонованої системи дозволить поряд зі зниженням аварійних ситуацій та поліпшенням умов праці отримати річний економічний ефект на один вантажний агрегат в середньому 19 тис. грн. при терміні окупності капітальних вкладень 0,47 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш Р., Михалюк М., Шолудько В., Шолудько Я. Обоснование рационального размещения и функционирования пункта технического обслуживания. MOTROL : Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. An International Journal on Operation of Farm and Agri–food Industry Machinery. Lublin; Rzeszow, 2014. Vol. 16, No. 4 P. 98–104. 7.
2. Барабаш Р. Вплив збільшення кількості постів на показники ефективності технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–150К–09. Сільськогосподарські машини: зб. наук. праць. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. Вип. 32. С. 18–26
3. Вітвіцький В. В., Лосина М. С., Гулька М. С. Методика розробки та типові норми часу на технічне обслуговування тракторів. Київ: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2015. 219 с. 15.
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. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Параметри та показники ефективності технологічних процесів технічного сервісу, що виконуються на стаціонарних постах. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2006. № 10. С. 66–73. 40.
6. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Підвищення коефіцієнта технічного використання тракторів ХТЗ скороченням тривалості їх технічного обслуговування. Вісник ХНТУ ім. П. Василенка: Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. 2015. № 163. С. 78–83. 41.
7. Кузьмінський Р. Д., Іванишин В. В., Барабаш Р. І., Ткач О. В. Вплив збільшення кількості постів на показники ефективності технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–3522. Збірник наукових праць. Подільського державного аграрно-технічного університету: Технічні науки. 2016. № 24. т.2. С. 175–184

8. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. И., Михалюк М. А. Анализ технологической и производственной составляющих структуры процессов технического обслуживания тракторов ХТЗ–Т150К–09. MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. An International Journal on Operation of Farm and Agri–food Industry Machinery. Lublin; Rzeszow, 2014. Vol. 16, No. 4. P. 303–309. 149 43.
9. Kuzminskyj R., Krajnyk L., Barabash R., Sosnowski S. Organizational and technological compatibility of the technological processes of all different types of maintenance of KhTZ-3522 tractors in the joint technological flow. ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal. 2017. Vol. 6, No. 3, P. 5–16. 44.
10. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Параметри та показники ефективності процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ–17221. Развитие науки в XXI веке: Междунар. науч.-практ. конф. (Харьков, 11 апр. 2015 г.). Харьков, 2015. С. 60–65. 45.
11. Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Організаційно-технологічна сумісність технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. Крамаровські читання: матеріали VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 21 лют. 2019 р.). Київ: Вид. центр НУБіП України, 2019. С. 257–259. 46.
12. Кузьмінський Р. Д. Про можливість використання алгоритму “наповнення контейнерів” для моделювання технологічних процесів відновлення. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 1998. № 2. С. 25–28. 47.
13. Кузьмінський Р. Д., Соколовський О. Р. Алгоритм проектування технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. Збірник наукових статей ЛНТУ: Сільськогосподарські машини. Луцьк, 2016. Вип. 21, т. 1. С. 228–235. 51.
14. Кузьмінський Р. Д. Конструктивно-технологічний базис процесів ремонту коробок передач зернозбиральних комбайнів. Наукові і практичні аспекти агропромислового виробництва та розвитку сільських регіонів: матеріали

Міжнар. наук.-практ. форуму, 22-24 вер. 2010 р. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2010. С. 458–467. 52.

15. Кузьмінський Р. Структура, параметри та ефективність технологічних процесів ремонту. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2015. № 9. С. 50–60.

16. Кузьмінський Р., Кордоба В. Алгоритм визначення продуктивності та виробничої структури технологічних ділянок відновлення зношених деталей на етапі проектування. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2015. № 15. С. 297–308.

17. Семкович О., Барабаш Р. Стан і перспективи розвитку ринку технічного сервісу в агропромисловому комплексі України. Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2005. № 9. С. 9–15. 98.

18. Сидорчук О. В., Семерак М. М., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Концепція управління проектом технічного обслуговування тракторів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2018. № 12, т. 1. С. 16–21. 99.

19. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Закономірності кількісних і якісних змін надходжень замовлень на ремонт агрегатів. Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць. Київ: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Вип. 10 (24), кн. 1. С. 69–76. 100.

20. Сидорчук О. В., Боярчук В. М., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І. Основні функції і форми управління системою технічного обслуговування тракторів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2009. № 13, т. 2. С. 51–56. 101.

21. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І., Михалюк М. А. Технологічна складова функціональної структури системи фірмового технічного обслуговування тракторів ХТЗ. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2009. № 13, т. 2. С. 73–80.

22. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2016 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2017. 108.
23. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2017 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2018. 109.
24. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2018 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2019. 110.
25. Наявність сільськогосподарської техніки та енергетичних потужностей у сільському господарстві у 2019 році: стат. бюл. / Державна служба статистики України. Київ, 2020. 157 111.
26. Стукалець І. Г. Організаційно-технологічна сумісність ремонтновідновних процесів підприємств багатопредметної спеціалізації. Студентська молодь і науковий прогрес в АПК: матеріали 4-ої Міжнар. студ. наук. конф. (26-30 верес. 2004 р.). Львів: ЛДАУ, 2004. С. 333–341. 112.
27. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2017 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2017. 226 с. 113.
28. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2018 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2018. 227 с. 114.
29. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2019 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2019. 226 с. 115.
30. Виробництво промислової продукції за видами в Україні за січень–грудень 2020 р.: стат. бюл. Київ: Держкомстат України, 2020. 225 с.
31. Технологические карты на предпродажное и техническое обслуживание тракторов ХТЗ–16131, ХТЗ–16331 / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 92 с. 124.
32. Технологические карты на предпродажное и техническое обслуживание тракторов ХТЗ–150К–09 / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 67 с.

33. Трактор ХТЗ–150К–09–25. Руководство по эксплуатации 151.00.000– 09 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 267 с. 127.
34. Трактор ХТЗ–3512. Руководство по эксплуатации 3512.00.001 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 46 с. 128.
35. Тракторы ХТЗ–17021 и ХТЗ–17221. Руководство по эксплуатации 170.00.000 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 215 с. 129.
36. Трактор ХТЗ–17221–18. Руководство по эксплуатации 17221.00.000– 18 РЭ. Дополнение к руководству по эксплуатации 170.00.000 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 27 с. 130.
37. Трактор ХТЗ–17221–19 «Руководство по эксплуатации» 17221.00.000–19 РЭ. Дополнение к руководству по эксплуатации 170.00.000 РЭ / Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2013. 30 с.
38. Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г. Машины для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / за ред. Сало В.М. –Х.: Мачулін, 2016. –244 с
39. Застосування способів основного обробітку ґрунту в сівозмінах/ В.М.Кабанець, М.Г.Собко, О.В.Радченко/під ред. М.Г. Собка. Сад, 2015. 16 с.
40. Надикто В. Оранка: міфи та реалії // Агробізнес сьогодні. 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http:// agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html](http://agro-business.com.ua/agro/ideitrendy/item/8395-oranka-mify-ta-realii.html)
41. Сивак Р.І. Пластичність металів при немонотонному навантаженні / Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця, 2016. - №1 (91). – С.108-111 10.
42. Сердюк О.В., Сивак І.О., Сухоруков С.І., Сивак Р.І. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / Наукові нотатки. – Випуск 54. – Луцьк, 2016. – С.277-281 (науково-метрична база РИНЦ)
43. Гунько І.В. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки / І.В. Гунько, Л.Г.

Коваль // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – №3 (95). – Вінниця. – 2016. – С. 89-93.

44. Анісімов Ф.Ф. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів / В.Ф. Анісімов, Д.В. Борисюк, О.В. Черкевич // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – №2 (94). – Вінниця. – 2016. – С. 34-36.

45. Булгаков В.М. Дослідження та розробка методів діагностування гідравлічних приводів зернозбиральних комбайнів / Г.М. Калетнік, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.В. Яременко // Всеукраїнський науковотехнічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №2 (94) 2016. – С.12- 19 73

46. Солоня О.В., Рудницький Б.О., Деревенько І.А., Омелянов О.М. «Аналіз умов експлуатації електроустаткування в сільському господарстві» Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Вінниця – 2017. №4(99), – С. 41-45

47. Калетнік Г.М. Стан та основні перспективи підготовки висококваліфікованих та наукових кадрів в галузі агроінженерії / Г.М. Калетнік, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №1 (96) 2017. – С.5-15

48. Сало В.М. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві [Текст] / В.М. Сало, Д.В. Богатирьов, С.М. Лещенко, М.І. Савицький // Техніка і технології АПК – Дослідницьке: УКРНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2014 – № 10 (61) – С. 16-19.

49. Сало В.М. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів [Текст] / В.М. Сало, С.М. Лещенко, В.А. Пашинський, Р.В. Ярових // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2015. – Вип. 45, Ч.1 – С. 126-132

50. Лещенко С.М. Технічне забезпечення збереження родючості ґрунтів в системі ресурсозберігаючих технологій [Текст] / С.М. Лещенко, В.М. Сало // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2016. – Вип. 43, ч.1 – С. 96-102.