

**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**ПАЛАМАРЧУК ПЕТРО ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК 361.348.4+ 531.7

**ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ НАВАНТАЖЕНОСТІ ТА  
РОБОТОЗДАТНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ  
ВЕНТИЛЯТОРНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ КЛАСУ ОВП- 2000**

**05.05.11** – машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Тернопіль - 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України  
**Рибак Тимофій Іванович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, завідувач кафедрою технічної механіки і сільськогосподарського машинобудування.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Підгурський Микола Іванович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедрою технології та обладнання зварювального виробництва;  
кандидат технічних наук, доцент  
**Онищенко Володимир Борисович,**  
Національний університет біоресурсів і природокористування України Кабінету Міністрів України, декан факультету конструювання і дизайну машин та обладнання сільського і лісового господарства.

Захист відбудеться «12» жовтня 2010 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, аудиторія 79.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий «11» вересня 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Попович П.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Машини для хімічного захисту у рослинництві, а саме: вентиляторні обприскувачі та обпилювачі - належать до особливого класу мобільної сільськогосподарської техніки. Специфіка цих машин полягає у генеруванні значних динамічних перевантажень, що виникають внаслідок різниці знакозмінних зусиль на опорах силових агрегатів, спричинених крутними моментами і відцентровими силами обертального руху коліс вентиляторів (потужність вентиляторів 20- 40 кВт). Як наслідок, такі знакозмінні кососиметричні силові фактори суттєво впливають на ресурс роботи елементів металоконструкцій вентиляторних обприскувачів.

Основними вимогами до проектування та виготовлення машин для хімічного захисту у рослинництві традиційно є виконання технологічних процесів і забезпечення необхідного ресурсу роботи. Перша вимога забезпечується призначенням машин, а друга залежить від багатьох експлуатаційних факторів, регламентація і вивчення яких постійно удосконалюються. Таким чином, дисертаційна робота спрямована на дослідження процесів навантаженості в умовах експлуатації та використання отриманих результатів для оцінки роботоздатності базової несучої конструкції вентиляторних обприскувачів класу ОВП-2000.

З метою створення бази розрахункових даних про силові фактори, що виникають в елементах металоконструкцій машин даного класу, та визначення на цій основі їх оптимальних конструктивних параметрів вперше застосовуються спеціально розроблені вимірювальні пристрої з залученням цифрових засобів реєстрації. Отримані таким чином числові значення навантажень дозволяють підвищувати працездатність машини в цілому при виконанні технологічних процесів, враховуючи реальну динаміку навантаженості і, як наслідок, оптимізувати несучу систему машини за геометричними параметрами, матеріалоємністю та працездатністю.

Вирішення даної задачі, зумовленої актуальною науково - технічною проблемою, має вагомое народногосподарське значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження дисертаційної роботи проведені згідно з угодою про створення науково-технічної продукції (№10-06 від 01.09.2006 р.) між Тернопільським державним технічним університетом імені Івана Пулюя (Зборівський коледж), СКБ ВАТ «Львівагромашпроект», ВАТ «Коломиясільмаш». Напрямки досліджень є складовою частиною науково-дослідницької тематики кафедри технічної механіки і сільськогосподарського машинобудування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя в рамках держбюджетної теми ДІ 158-09 (номер державної реєстрації 0109U002299).

**Мета і задачі дослідження.** Покращення працездатності причіпних вентиляторних обприскувачів, а також підвищення ефективності проектування та прискорення впровадження у виробництво нової конкурентноздатної сільськогосподарської техніки шляхом розробки методів

і засобів оцінки реальної динаміки навантаженості несучих конструкцій з метою їх удосконалення.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання досліджень:

- експериментально-аналітичне визначення фактичних величин кососиметричних циклічних навантажень, викликаних моментами приводу і дисбалансу обертових мас відносно поздовжньої площини симетрії машин, типу одновісних сільськогосподарських причепів, як необхідність при конструюванні та удосконаленні, зокрема вентиляторних обприскувачів;
- проведення аналізу номенклатури серійних причіпних вентиляторних обприскувачів з метою виявлення перспективних напрямів дослідження;
- створення нових і удосконалення наявних засобів вимірювання для реєстрації динамічних навантажень, включаючи крутні моменти приводу обертових мас сільськогосподарських машин;
- розробка методики, технічних засобів та оцінка на їх основі навантаженості в системі опор та кріплень вентиляторних установок з урахуванням дії знакозмінних кососиметричних експлуатаційних факторів;
- створення програмного продукту для забезпечення статистичної обробки та аналізу даних, отриманих експериментально;
- розробка ефективної науково-технічної методики розрахунку конструктивних параметрів елементів несучої рами, як просторової стержневої системи, на основі модифікованого методу мінімуму потенціальної енергії деформації та динаміки навантаженості від вентиляторної установки машини ОВП- 2000.

**Об'єкт дослідження** - симетричні та кососиметричні динамічні навантаження в опорах приводів і їх впливи на несучу систему вентиляторних обприскувачів.

**Предмет дослідження** - пружна рівновага зусиль в елементах базової несучої системи вентиляторних обприскувачів внаслідок впливу крутних моментів приводу обертових мас.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження проведено з використанням методів теоретичної механіки, математичного аналізу, опору матеріалів та матстатистики. Для обґрунтування раціональних конструктивних параметрів функціональних елементів обприскувача використано методи дослідження і вибору раціональних технічних рішень. Апробація розроблених алгоритмів, програм і методик проводилась методом комп'ютерного моделювання. Експериментальні дослідження здійснювалися за допомогою спеціально розробленого лабораторного устаткування, а саме: моментоміра (патент України на корисну модель № 31564 ) та динамометрів. Результати експерименту оброблялися спеціальним програмним забезпеченням «Krejator» (а.с №27992)

**Наукова новизна одержаних результатів** Робота полягає у створенні нового ефективного підходу для оцінки силових факторів навантаженості елементів вентиляторних обприскувачів, їх напружено - деформівного стану, прогнозування несучої здатності і ресурсу роботи, а також на їх оптимізацію

за матеріалоемністю і несучою здатністю. В основу даного підходу покладені такі результати:

- розроблена динамічна модель впливу обертових мас на перерозподіл зусиль в несучій системі вентиляторних обприскувачів, що забезпечує фактичну оцінку її навантаженості і коректність розрахунку;
- розроблена математична модель визначення напружено - деформівного стану несучої системи при кососиметрії навантаженості відносно поздовжньої площини симетрії, на основі якої проведена оцінка її роботоздатності;
- досягнута пружна рівновага в елементах базової несучої системи даної машини;
- отримано теоретичні залежності оцінки несучої здатності конструктивних елементів опори змінної жорсткості;
- оптимізовано за матеріалоемністю несучу систему вентиляторних обприскувачів даного класу при забезпеченні проектного ресурсу їх роботи.

**Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується застосуванням класичних положень теоретичної механіки в поєднанні з результатами експериментальних досліджень на основі досягнень сучасної обчислювальної техніки.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

- модернізована базова несуча система обприскувача ОВП-2000 і досягнута пружна рівновага її елементів, що забезпечило зниження металоємності на 8,7% , а також підвищення ресурсу роботи машини в цілому;
- створено прикладне програмне забезпечення "Krejator" для математичної обробки результатів вимірювання та їх візуалізації;
- досягнуто підвищення точності вимірювань величин пускових і номінальних крутних моментів приводу осьових та відцентрових вентиляторів машин для хімзахисту в рослинництві;
- розроблено методики отримання конструктивно-кінематичних параметрів моментоміра для визначення крутних моментів приводу сільськогосподарських машин від валу відбору потужності (ВВП) енергозасобу, а також обґрунтовано перевагу використання фотоелектричного перетворювача для безконтактного методу реєстрації сигналу від обертових мас;
- розроблено методику і засоби (спеціальна тензометрична апаратура і нові пристрої оцінки експлуатаційної динаміки) для проведення експериментальних досліджень з метою визначення навантаженості елементів рамних конструкцій мобільних сільськогосподарських машин при дії експлуатаційних факторів, що використовуються в "Навчально-науково-виробничому центрі випробування функціонально-технічних засобів виробництва і взаємодії з науково-промисловими комплексами", який функціонує при Зборівському коледжі, структурному підрозділі ТНТУ імені Івана Пулюя;

— отримані в дисертаційній роботі результати досліджень впроваджено на ВАТ «Львівагромашпроект» (акт від 08.04.2009 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи одержані дисертантом самостійно. В наукових працях, які виконано у співавторстві, особистий внесок такий: [3]- запропоновано методику розрахунку плоских просторово-навантажених рам сільськогосподарських машин складної геометричної форми; [4]- удосконалено методику обчислення потенціальної енергії деформації просторових рам складної геометричної форми; [5]- складено залежності для розрахунку рам складної геометричної форми модифікованим методом мінімуму потенціальної енергії; [6]- запропоновано сучасний засіб та методику досліджень енергетичних параметрів сільськогосподарських машин; [7] – запропоновано конструкцію моментоміра з безконтактним методом зняття сигналу; [8]- запропоновано заходи для підвищення коефіцієнта використання вентиляторних обприскувачів; [9]- розроблено математичну модель обробки зареєстрованого сигналу для виведення результатів вимірювання на монітор; [10]- запропоновано конструкцію динамометра для дослідження причіпних сільськогосподарських знарядь; [11]- здійснено постановку проблематики руйнування металоконструкцій при складному напруженому стані; [12]- запропоновано кінематичну модель стенда; [13]- запропоновано конструкцію тарувального стенда; [14]- запропоновано удосконалену конструкцію рами.

**Апробація результатів дисертації.** Положення дисертаційної роботи були представлені на: міжкафедральному семінарі факультету технічного сервісу (ХНТУСГ імені Петра Василенка м. Харків, 2008 р.); п'ятій всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції 26- 28 лютого 2009 року; всеукраїнській науковій конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя 13-14 травня 2009; технічний нараді ВАТ «Львівагромашпроект» 08.04.2009 р.; третій міжнародній конференції «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» (Москва, 12- 15 жовтня 2009); 7-ій міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Кіровоград, 28-30 жовтня 2009).

**Публікації.** Результати дисертації відображені у 14 публікаціях, в тому числі: 6 статей у фахових виданнях (з них 2 без співавторів), 3 патенти України на корисну модель, 1 авторське свідоцтво.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків і рекомендацій, списку використаних джерел, та додатків. Вона містить 225 сторінок, в тому числі 141 сторінок основного тексту, 15 таблиць, 57 рисунків, список використаних джерел з 169 найменувань на 16 стор., 13 додатків на 68 стор.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, визначено мету і завдання досліджень, наведені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі проведено аналіз світових тенденцій конструювання машин для хімзахисту у рослинництві та засобів проведення їх досліджень, а також розглядаються:

1. Питання надійності конструкції, зокрема, якості виготовлення рам та оптимізації компоновальних схем з метою забезпечення максимальної продуктивності вентиляторних обприскувачів при збереженні габаритності та зниженні їх матеріаломісткості.

2. Причини генерування динамічних навантажень, тобто рельєф оброблюваних площ; інерційність мас, циклічність тягових зусиль енергозасобу, пікові перевантаження від пускових моментів та дисбалансу обертових мас.

3. Типові поломки рамних конструкцій, зокрема систем кріплення вентиляторних установок.

4. Проблематика впливу на несучу систему даного класу машин знакозмінних кососиметричних навантажень, що генеруються приводом вентиляторних установок.

Проблематику динаміки завантаженості та підвищення роботоздатності несучих металоконструкцій мобільних сільськогосподарських машин досліджували: В.Я. Анілович, П.М. Василенко, С.В. Кардашевський, В.А. Кубишев, А.Б. Лур'є, В.П. Максимчук, М. Месарович, В.Б. Онищенко, М.І. Підгурський, Л.В. Погорілий, Т.І. Рибак, Б.С. Свірщевський, А.П. Терехов, Р.Ш. Хабатов, В.Д. Шеповалов.

Внаслідок виконаних досліджень і аналізу літературних джерел обґрунтовано мету, наукову новизну та завдання роботи.

У другому розділі подано програму випробувань, методику і результати експериментальних досліджень впливу обертових мас приводу вентиляторів на несучі конструкції машин для хімзахисту у рослинництві. Описано конструкцію і принципи роботи динамометрів, приведено технічні характеристики тензорезисторів, що використовувалися при експериментальних дослідженнях причіпних обприскувачів. Дана принципова схема, опис та деталізація функціональних елементів моментоміра (рис. 1.), а також характеристика за точністю і ефективністю проведення вимірювань, переваги над відомими ртутно-амальгамними (екологічно небезпечними) струмознімачами, яка досягнута в запропонованому вимірювальному засобі.

Методично розроблено визначення навантажень в опорах мультиплікатора вентиляторної установки як функції крутного моменту приводу, а також обґрунтовано необхідність розробки спеціального обладнання та методики замірів крутних моментів, кутових швидкостей, споживаної потужності від приводу ВВП трактора. Показана необхідність перелічених заходів, для реалізації зняття сигналу безконтактним методом

на основі фотоелектричного перетворювача.

Конструктивні параметри моментоміра регламентуються в залежності від процесу досліджень (частота обертання, величина крутного моменту), що забезпечило високу вірогідність отриманих експлуатаційних характеристик, а також процес їх реєстрації. Крім того, результати вимірювань взаємозв'язані з енергетичними та геометричними параметрами (таблиця 1) розробленою математичною моделлю моментоміра.

Силкові характеристики приводу вентиляторів обприскувачів обчислювалися на підставі даних, зареєстрованих моментоміром, та параметрів файлу налаштувань універсальної реєструючої системи. Вірогідність отримання результатів досліджень забезпечується відповідними конструктивними параметрами моментоміра:  $r_{p.e.}$  - радіус встановлення пружних елементів;  $r_{vum}$  - радіус розташування фотоелектричного перетворювача;  $z$  - кількість пазів;  $z_{p.e.}$  - кількість пружних елементів (рис. 2).

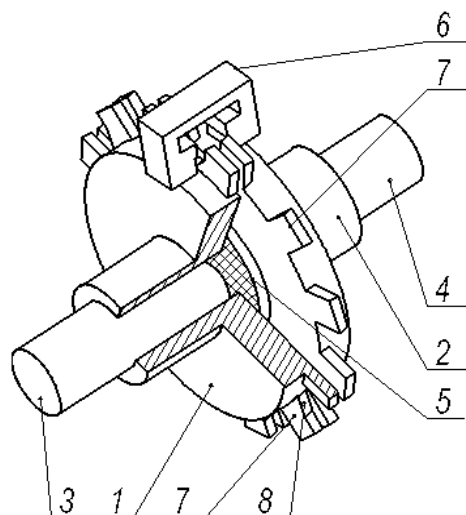


Рис. 1. Конструкція моментоміра (Патент №31564 від 10.04.2008 р.):

1, 2 – півмуфти, 3, 4 – ведучий і ведений вали, 5 – пружний елемент, 6 – фотоелектричний перетворювач, 7 – прямі виступи на правій півмуфті, 8 – виступи зі скосами на лівій півмуфті.

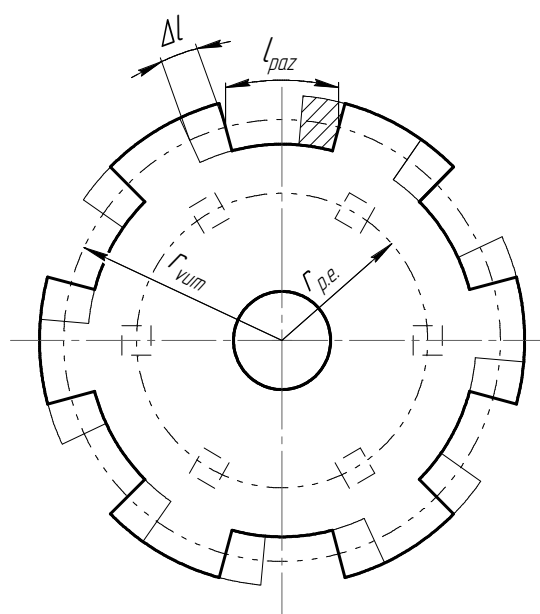


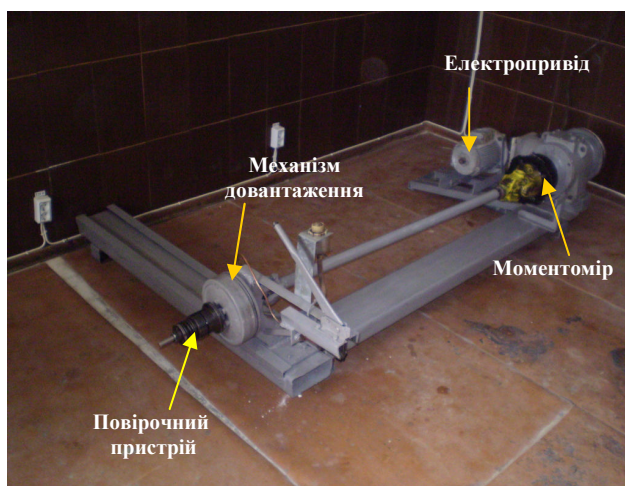
Рис. 2. Схематизація геометричних параметрів моментоміра

Приведено методику тарування динамометрів та тензорезисторів на універсальному пресі УП-8, а також тарування запропонованого моментоміра на розробленому устаткуванні за створеною відповідно методикою тарування (рис. 3). За отриманими результатами тарування, побудовано відповідні графічні залежності величин, а також приведено математичні залежності цих величин, що використано при визначенні НДС несучих конструкцій та оцінки їх працездатності.

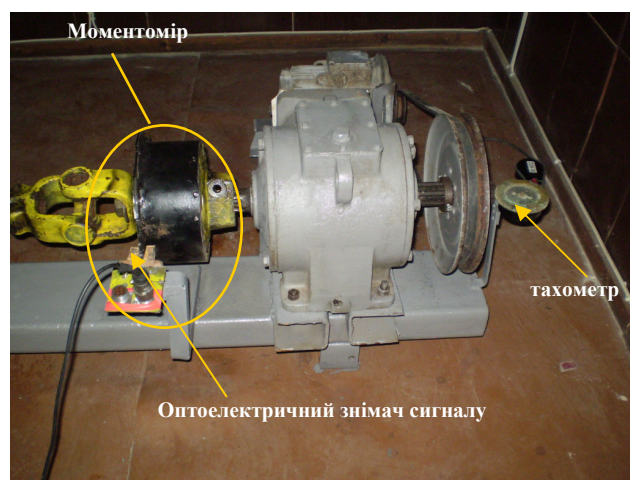


## Конструктивно-енергетичні параметри моментоміра.

Дані реєстрації сигналу від моментоміра: $t_c, t_m$ - тривалість світлового і темного струму, отриманих з фотоелемента моментоміра (у відносних одиницях).	
Дані з файлу налаштувань: $f$ - частота дискретизації реєструючої системи, Гц;	
Конструктивні параметри моментоміра: $r_{p.e.}$ - радіус середньої лінії закріплення пружних елементів, м; $\Delta l$ - зміщення півмуфти на радіусі $r_{vum}$ , м; $c$ - характеристика жорсткості пружного елемента, $\frac{H}{M}$ ; $z_{p.e.}$ - кількість пружних елементів, шт.; $l_{paz}$ - довжина паза $l$ , м; $r_{vum}$ - відстань від осі обертання моментоміра до лінії встановлення фотоелектричного перетворювача, м; $k$ - коефіцієнт пропорційності.	
Сила, яка діє на пружний елемент при передачі крутного моменту через моментомір	$F = \Delta l \cdot c \cdot z_{p.e.}$ ; де: $\Delta l = \frac{l \cdot n(t_m - t_c)}{f}$ ; $l = 2\pi \cdot r_{vum}$
Крутний момент	$M = \frac{l \cdot n(t_m - t_c)}{f} \cdot c \cdot z_{p.e.} \cdot r_{p.e.}$
Частота обертання	$n = \frac{f}{(t_c + t_m)z}$
Споживна потужність	$P = k(n \cdot F)$



а)



б)

Рис. 3. Тарувальний стенд для моментоміра:  
а- загальний вигляд; б- силовий привід моментоміра.

Проведено систематизацію результатів досліджень впливу обертових мас на динаміку навантаженості в опорах мультиплікатора машини ОВП-2000 з використанням запропонованих засобів (рис. 4, а.). Сигнали замірів фіксувалися універсальною реєструючою системою (рис. 4, б), яка має 8 синхронізованих каналів, що працюють з окремими аналогово-цифровими перетворювачами. Тривалість автономного процесу роботи - 52 хвилини, при максимальній частоті дискретизації 2000 Гц. Режими роботи і зчитування інформації попередньо задавалися через стандартний інтерфейс за допомогою ПК. Висока чутливість реєструючої системи дозволяє застосовувати стандартизовані тензорезистори з низькою чутливістю.

Експерименти проводилися на дослідній машині ОВП-2000 відомчої випробувальної станції ВАТ «Львіввагромашпроект» та на серійній машині ОШУ-50А.



Рис.4. Розміщення обладнання при проведенні експерименту:  
а-моментомір; б-реєструюча система.

Для дослідження тягових зусиль обприскувачів розроблено спеціальний динамометр (патент України на корисну модель №31564 від 25.06.2009р).

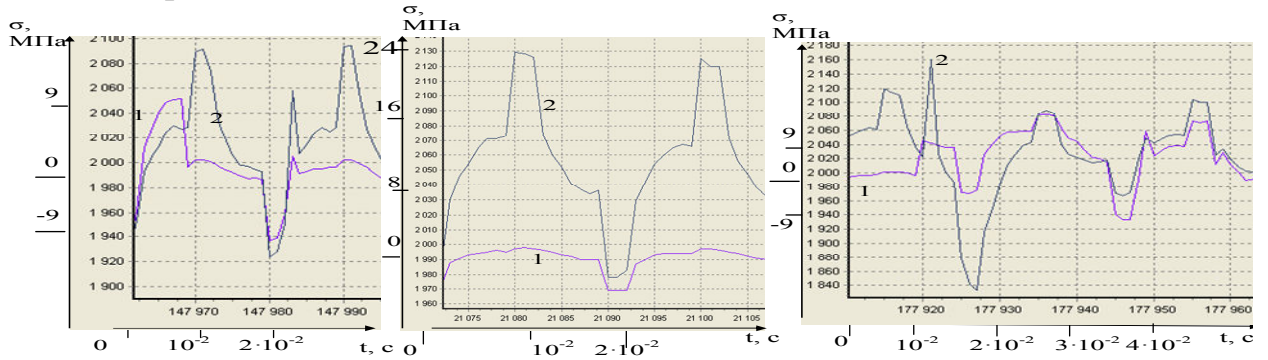
Формування файлу налаштувань і графічне виведення на монітор сигналів, зареєстрованих системою, здійснювалось розробленою програмою «Крејатор» (а.с. №27992 від 13.03. 2009 р.). В основу алгоритму обробки сигналу даною програмою покладено математичну модель роботи моментоміра.

З фрагментів осцилограм (рис. 5) очевидно, що, при відсутності крутного моменту, навантаження в правій і лівій опорах силового агрегату максимально наближені; в робочому режимі різниця навантажень суттєва.

На опори мультиплікатора машини ОВП-2000, крім реакцій приводу, діють додаткові сили, що пов'язано з особливостями кінематичної схеми. Порівняльний експеримент було проведено з приводом вентилятора машини ОШУ-50А, де під опори мультиплікатора змонтовано спеціальні

динамометри (рис. 6.а). Аналізуючи характер зміни зусиль в опорах машин ОВП-2000 (осцилограма, рис. 5) та ОШУ-50А (осцилограма, рис. 6,б) встановлено вплив вентиляторних установок на формування циклічних знакозмінних навантажень.

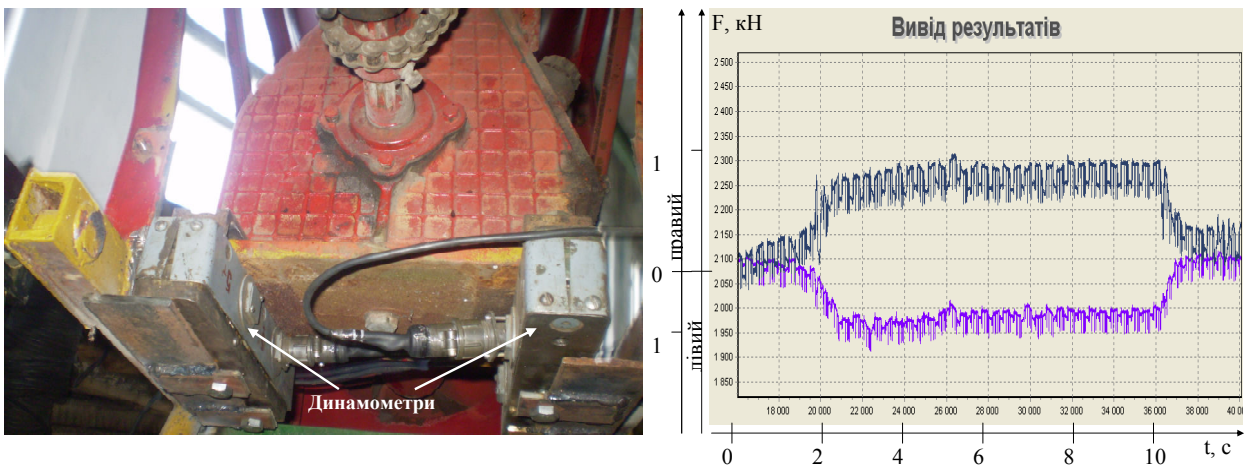
Обробка результатів досліджень дозволила отримати числові значення силових факторів, що діють на елементи опорної системи приводу вентилятора.



а) б) в)

Рис. 5. Фрагменти осцилограм замірів навантаженості в опорах мультиплікатора обприскувача ОВП-2000:

1- ліва опора; 2- права опора; а- пусковий момент вентилятора (різниця зусиль в опорах зростає); б- робочий процес (різниця зусиль досягає 24,5 МПа); в- виключення приводу аж до зупинки вентилятора (різниця зусиль в опорах вирівнюється).



а) б)

Рис. 6. Дослідження динаміки в опорах мультиплікатора машини ОШУ-50А:

а - розміщення динамометрів в опорах мультиплікатора;

б - осцилограма зміни навантаження в опорах мультиплікатора.

У третьому розділі за отриманою фактичною динамікою навантаженості і аналітичними напрацюваннями, створено алгоритм визначення зусиль в елементах несучої системи мультиплікатора вентилятора машини ОВП-2000. Для розрахунку НДС даної несучої стержневої системи ефективним виявився модифікований метод мінімуму

потенціальної енергії деформації. Встановлено зв'язок між напруженнями в опорних стійках і реакціями опор, що виражається наступними рівняннями зв'язку:

$$\begin{cases} R_1 = \frac{0,291 \cdot 10^{-3} W (\sigma_2 - 1,46 \sigma_1)}{b} \\ R_2 = \frac{0,291 \cdot 10^{-3} W (\sigma_1 - 1,46 \sigma_2)}{b} \end{cases}; \quad (1)$$

де:  $R_1, R_2$  - зосереджені динамічні реакції в лівій і правій опорах мультиплікатора викликані приводом вентилятора, Н;  $W$  - осьовий момент опору,  $\text{м}^3$ ;  $\sigma_1, \sigma_2$  - напруження в лівій і правій частинах опори мультиплікатора, отримані експериментально, МПа;  $b$  - відстань до лівого і правого перетинів розташування тензорезисторів, м.

Проведеними експериментально-аналітичними дослідженнями встановлено характер зміни реакцій  $R_1$  і  $R_2$  в опорах мультиплікатора (рис. 7).

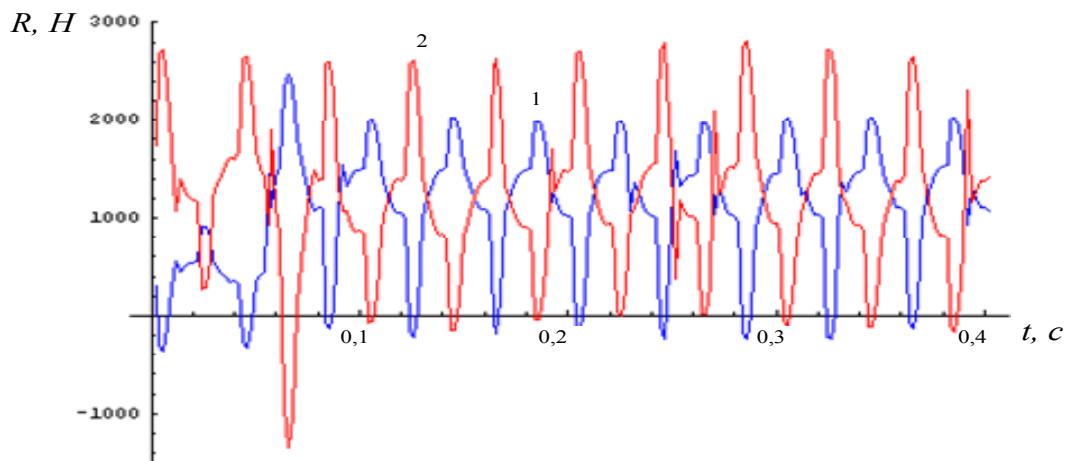


Рис. 7. Характер розподілу динамічних реакцій в опорах мультиплікатора:  
1 - ліва опора; 2 - права опора.

Проведено розрахунок НДС опорної системи вентиляторної установки обприскувача ОВП-2000 (рис.8. а) в цілому з урахуванням реальної динаміки навантаженості.

Загальний вираз функції потенціальної енергії деформації  $U$  несучої системи вентиляторної установки, згідно розрахункової схеми (рис.8. б), враховуючи адитивність функції потенціальної енергії, запишеться:

$$U = U_I + U_{II}; \quad (2)$$

де:  $U_I, U_{II}$  - потенціальні енергії деформації як функції від  $U_I = U_I(M_i, K_i, Q_i, R_1)$ ;  $U_{II} = U_{II}(M_i, K_i, Q_i, R_2)$  відповідно лівої та правої частин (рис. 8. б), де  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Впливом енергії деформації від поздовжніх та поперечних сил, враховуючи відкриті профілі металоконструкції, нехтували як незначними, у порівнянні з енергіями згинальної та крутної деформацій.

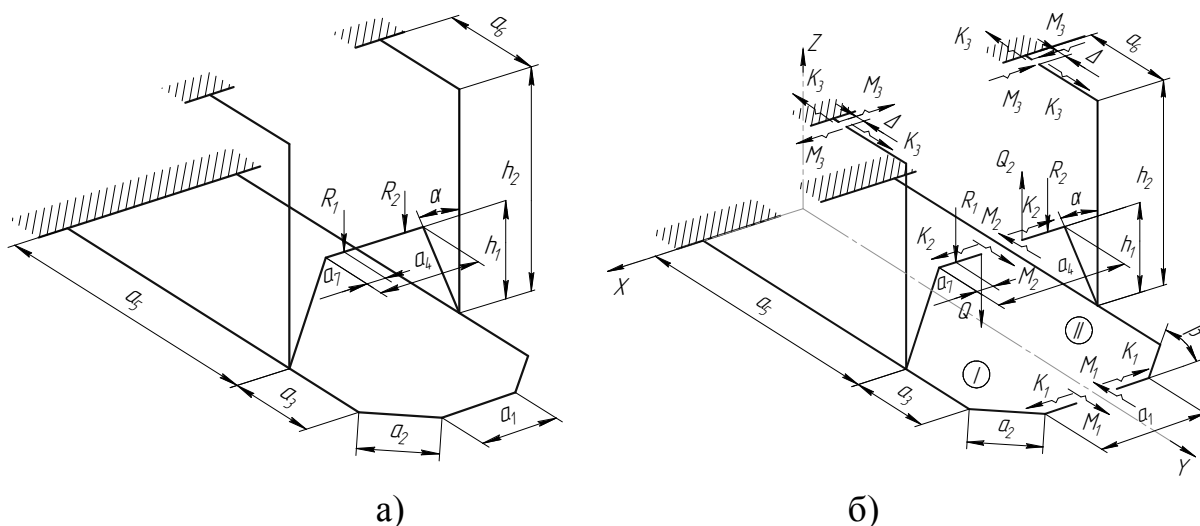


Рис.8. Задана (а) та розрахункова (б) схема кріплення вентиляторної установки

Для даного розгляду система канонічних рівнянь запишеться:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial U_I}{\partial M_i} = 0; \quad \frac{\partial U_I}{\partial K_i} = 0; \quad \frac{\partial U_I}{\partial Q_i} = 0; \quad \frac{\partial U_{II}}{\partial M_i} = 0; \quad \frac{\partial U_{II}}{\partial K_i} = 0; \quad \frac{\partial U_{II}}{\partial Q_i} = 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

Розв'язок системи рівнянь (3) забезпечив отримання значень шуканих силових факторів з урахуванням реальної динаміки навантаженості від обертових та інерційних мас вентиляторної установки обприскувача ОВП-2000.

Отримані значення добре корелюються з результатами комп'ютерного моделювання (похибка не перевищує 9%).

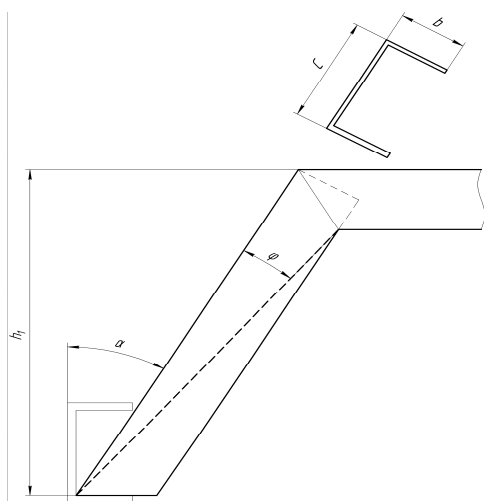


Рис. 9. Розрахункова модель елементів опор мультіплікатора змінної жорсткості

Проведені комплексні дослідження в цілому дозволили внести зміни в конструкцію опорної системи вентиляторної установки і забезпечили зменшення її металоемності.

В даному розділі також розглянуто особливість опор мультіплікатора змінної жорсткості (рис. 9), що виражається функцією від параметра  $s$  - висоти елементів:

$$b(s) = \frac{s}{\cos \alpha} \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

У четвертому розділі наведено результати дослідження НДС серійної та удосконаленої конструкцій рами машини ОВП-2000.

На підставі експериментально отриманих даних реальної динаміки навантаженості виконано порівняльні розрахунки серійної та удосконаленої

конструкції рам. Встановлено, що елементи № 36, 37, 38, 39 серійної рами суттєво не впливають на перерозподіл НДС конструкції в цілому. Між підрамником кріплення бака (елементи 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 55, 56, 57) і консольною частиною системи кріплення мультиплікатора (лонжерони 59, 63) не забезпечується жорсткісний зв'язок, внаслідок чого послаблюється структура несучої системи машини ОВП-2000 в цілому (таблиця 2).

Таблиця 2.

Порівняльна характеристика НДС серійної та модернізованої конструкцій рами машини ОВП-2000.

Номери елементів відповідно до розрахункових моделей серійної та модернізованої конструкцій.	Розрахункові моделі:					
	серійна конструкція			модернізована конструкція (патент України на корисну модель № 48663)		
	Статичне навантаження; $\sigma$ , МПа:	Статичне навантаження з урахуванням коефіцієнта динамічності; $\sigma$ , МПа:	Динамічне кососиметричне навантаження; $\sigma$ , МПа:	Статичне навантаження; $\sigma$ , МПа:	Статичне навантаження з урахуванням коефіцієнта динамічності; $\sigma$ , МПа:	Динамічне кососиметричне навантаження; $\sigma$ , МПа:
3	51	49	46	50	49	49
13	29	29	32	34	39	46
14	17	15	18	21	22	30
15	29	29	29	34	36	39
16	17	15	12	21	22	19
59	28	34	52	20	23	34
63	28	34	63	20	23	36

З метою досягнення пружної рівноваги між елементами консольної частини кріплення мультиплікатора і базовою несучою системою запропоновано конструктивні рішення, які принципово змінили її НДС. В основу рішення закладено, що згинальна жорсткість елементів 36; 37; 38 і 39, які з'єднують опорну частину вентиляторної установки з базовою рамою,

більш як на порядок нижча від жорсткості розтягу-стиску елементів 67, 68 запропонованої конструкції (таблиця 2). Таким чином, даними конструктивними змінами досягнуто перерозподіл НДС: лонжерон 59 з 52 МПа до 34 МПа; лонжерона 63 з 63 МПа до 36 МПа.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень створили базу даних для обчислення ресурсу роботи розглядуваних конструктивних структур відповідно до реальних умов експлуатації. На основі залежностей механіки крихкого руйнування проведено оцінку фактичного ресурсу роботи серійної та модернізованої несучих систем обприскувача ОВП-2000 за характеристичною функцією втомного руйнування (графічні залежності рис. 10). Одним із ключових параметрів функції втомного руйнування виступає коефіцієнт інтенсивності напружень  $K_I$ , вершини тріщини нормального відриву.  $K_I$  у даному розгляді включає геометричні параметри елементів профілю конструкції, а також фактичні величини внутрішніх силових факторів у неттоперетині:

$$K_I(l) = 1.985 \frac{M}{I} \cdot F(\varepsilon), \quad \varepsilon = \frac{l}{H + 2b} \quad [5]$$

де:  $I$  – осьовий момент інерції,  $m^4$ ;  $H$  – висота швелера,  $m$ ;  $b$  – ширина полиці швелера,  $m$ ;  $F(\varepsilon)$  – параметр, який залежить від геометричних характеристик швелера, та довжини тріщини,  $m^{3/2}$ .

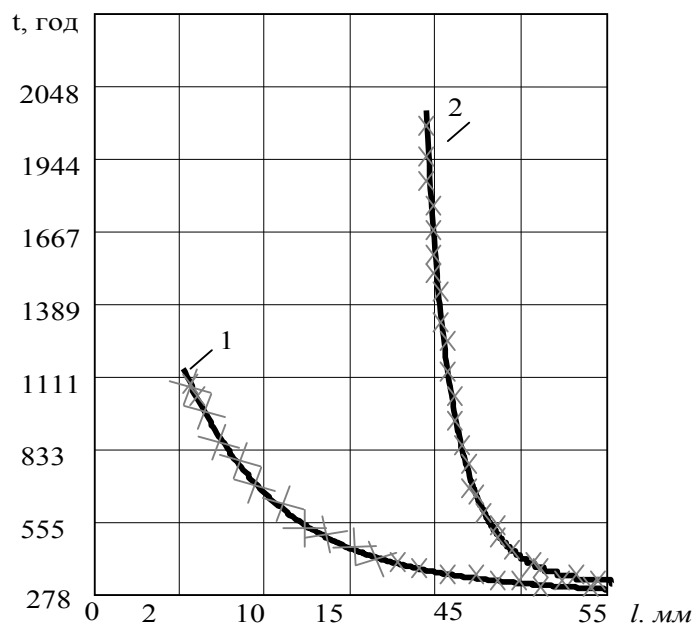


Рис.10. Залежність ресурсу роботи серійної та модернізованої конструкцій від розміру дефектності:

- 1 – серійна конструкція (швелер №8);
- 2 – модернізована конструкція (швелер № 6,5, патент України на корисну модель № 48663 від 25.04.2010 р.).

Запропонованими конструктивними змінами досягнута пружна рівновага в елементах базової несучої системи (в цілому), підвищена її довговічність, покращена технологічність виготовлення, зменшена маса рами на 20 кг, що складає 8,7% від її загальної металоємності. В грошовому еквіваленті це становить до 500 грн. на одиницю продукції. Сумарний річний економічний ефект від удосконалення несучої системи вентиляторного обприскувача ОВП-2000 відповідно складає 3350 грн.

### **ВИСНОВКИ**

У роботі вирішено важливу науково-технічну задачу - підвищення працездатності сільськогосподарських машин, типу вентиляторних обприскувачів, з приводом від ВВП енергозасобу. В основу роботи покладено дослідження впливу знакозмінної різниці навантажень в опорах мультиплікатора від приводу крутними моментами, а також дисбалансу обертових мас вентиляторної установки, що підвищує вірогідність оцінки несучої здатності, оптимізацію і необхідну довговічність розглянутої конструкції.

Головні підсумки роботи:

1. Встановлено, що конструкція серійної рами обприскувача ОВП- 2000 недосконала, оскільки ресурс роботи лонжеронів консольної частини кріплення мультиплікатора вдвічі нижчий від нормативного.

2. При нормативному терміні служби обприскувачів 7 років і сезонній експлуатації 300 годин ресурс роботи складає: серійної конструкції (швелер №8)-1100 годин; модернізованої (швелер №8)-7200 годин; модернізованої (швелер 6,5П)-2250 годин (Патент України на корисну модель №48663, від 25.04.2010 р.), що цілком відповідає нормативному терміну служби на експлуатаційній швидкості обприскувача ОВП-2000 до 12 км/год. Зазначені результати впроваджені на ВАТ «Львівагрошапроект».

3. Розроблено науково-технічну методику з визначення експлуатаційних кососиметричних знакозмінних навантажень відносно поздовжньої площини симетрії машин типу одновісних сільськогосподарських причепів. Дана особливість викликана моментами приводу і дисбалансу обертових мас обприскувачів класу ОВП-2000 і, при удосконаленні їх несучої системи, розглянута вперше.

4. За результатами експериментально-аналітичних досліджень встановлено кососиметрію завантаженості, яка складає 4,3 кН при усередненому значенні коефіцієнта динамічності - 1,75.

5. Розроблено алгоритм аналітично-експериментального дослідження, який поєднує в собі модифікований метод мінімуму потенціальної енергії деформації конструктивних структур зі спеціально сконструйованими засобами експлуатаційних досліджень реальної динаміки навантаженості.

6. В експлуатаційному режимі машини ОВП- 2000 встановлено, що опори мультиплікатора навантажені циклічно за експоненціальним законом при дискретизації сигналу  $\Delta t = 0.05$  с.

7. Реалізований комплексний підхід забезпечив: зниження НДС в лонжеронах консольного кріплення вентиляторної установки з 52 МПа до 34



МПа (лонжерон 59) і з 63 МПа до 36 МПа (лонжерони 63). Завдяки досягненню пружної рівноваги в елементах базової несучої системи металоємність удосконаленої металоконструкції знизилась на 8,7%, при забезпеченні нормативного ресурсу роботи

8. Запропоновано моментомір і безконтактний спосіб замірів енергетичних показників приводу обертових мас машин типу вентиляторних обприскувачів, що суттєво підвищує точність замірів завдяки відсутності втрат сигналу в рухомих контактах (патент України на корисну модель № 31564).

9. Отримано оптимальні конструктивно-функціональні параметри моментоміра: споживана потужність агрегатів ефективно реєструється при  $n = 540$  об/хв.,  $M_{\max} \approx 2000$  Нм із застосуванням 6-ти пружних елементів з коефіцієнтом жорсткості  $c = 44$  кН/м; кількість пазів фотоелектричного перетворювача  $z=6$  з шириною паза  $l_{\text{паз}} = 77$  мм; відстань від осі обертання до лінії встановлення фотоелектричного перетворювача  $r_{\text{вим}} = 147$  мм; радіус середньої лінії встановлення пружних елементів  $r_{\text{пруж}} = 98$  мм.

10. Створено комп'ютерну програму (а.с. № 27992), яка забезпечує виведення на монітор результатів замірів динамічних навантажень відповідно до реальних умов експлуатації розглядуваного типу машин.

11. Річний економічний ефект від удосконалення несучої системи машини ОВП-2000 становить 3350 грн. на один виріб.

## СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Паламарчук П.В. Обґрунтування параметрів моментоміра для дослідження циклічних навантажень приводу обертових мас сільськогосподарських машин /Паламарчук П.В.- Тернопіль: ТДТУ, 2008. - (№3). - С.98-104- (Вісник Тернопільського державного технічного університету).
2. Паламарчук П.В. Дослідження впливу додаткових навантажень в опорах мультиплікатора на несучу систему машини ОВП-2000. / П.В.Паламарчук. /Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 39.- Кіровоград 2009.- С 188- 194.
3. Рибак Т.І. Особливості розподілу внутрішніх силових факторів з урахуванням геометрії конструкцій рам сільськогосподарських машин. /Рибак Т.І. Паламарчук П. В., Михайлишин М. С. //(Вісник Тернопільського державного технічного університету).- Тернопіль: ТДТУ, 2007. - (№3). - С.46-53.
4. Рибак Т.І. Інженерна методика визначення потенціальної енергії деформації просторово навантажених плоских рам складної геометричної форми./ Рибак Т.І., Паламарчук П.В. //(Вісник Тернопільського державного технічного університету).- Тернопіль: ТДТУ, 2008. - (№1). - С.80-88.

5. Рибак Т.І. Окремі випадки методики визначення потенціальної енергії деформовано-напруженого стану рам сільськогосподарських машин / [Рибак Т.І., Паламарчук П.В., Костюк В.І., Анвар Дзія Махлі ].- Харків: 2007. - С.352-361.- (Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 69.)
6. Паламарчук П.В. Дослідження потужності оберткових систем окремих сільськогосподарських машин./ Паламарчук П.В., Костюк В.І., Рибак Т.І. - Харків: 2007. - С.340-346.- (Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 69).
7. Пат. України на корисну модель 31564, МПКG01L 5/24. Моментомір від 10.04.2008 р./ Рибак Т.І., Костюк В. І., Паламарчук П.В., Бабій А.В., Матвіїшин А.Й; заявл. 24.12.2007; опубл.10.04.2008. Бюл. №7 2008р.
8. Рибак Т. І., Розширення функціональних можливостей вентиляторних обприскувачів. / Рибак Т. І., Паламарчук П. В.-Київ, 2009., с. 76- 78.,- (Сучасна наука в мережі Інтернет. Матеріали п'ятої всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції 26- 28 лютого 2009 року. Частина 2.) [www.intkonf.org](http://www.intkonf.org).
9. А.с. 27992 України, Комп'ютерна програма «Krejtor» / Рибак Т. І., Паламарчук П.В., Федик В.Я. Дата реєстрації 13.03.2009 р.
10. Пат. України на корисну модель 42276, МПК G01L 1/04 G01L 1/22. Динамометр від 25.06.2009 р./ Рибак Т.І., Паламарчук П.В., Бабій А.В., Матвіїшин А.Й; заявл. 16.02.2009; опубл. 25.06.2009. Бюл. №12 2009р.
11. Паламарчук П.В. Дослідження впливу приводу оберткових мас вентиляторного обприскувача ОВП-2000 на розподіл зусиль в несучій рамі. / П. Паламарчук, М. Сташків, П.Попович //(Матеріали всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя). - Тернопіль: ТДТУ, 13-14 травня 2009. - С.144.
12. Рыбак Т.И. Определение характеристик усталостного разрушения при сложном напряженном состоянии. /Рыбак Т.И., Попович П.В., Сташків Н.Я., Паламарчук П.В. //Сборник материалов Третьей международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов» DFMN-09, Москва, 12- 15 октября 2009.- С.95-96.
13. Рибак Т.І. Розробка засобів оцінки динамічних навантажень несучих конструкцій сільськогосподарських машин від приводу оберткових мас. / Рибак Т.І. Паламарчук П.В. Сташків М.Я. Бабій В.В. Матвіїшин А.Й. //- Київ, 2009., с. 51- 53.,-(Сучасна наука в мережі Інтернет. Матеріали шостої всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції 21- 23 грудня 2009 року. Частина 6.) [www.intkonf.org](http://www.intkonf.org).
14. Пат. України на корисну модель 48663, МПКА01М, F16M. Рама причіпного вентиляторного обприскувача від 25.04.2008 р./ Рибак Т.І., Паламарчук П.В., Бабій А.В., Сташків М.Я., Матвіїшин А.Й., Попович П.В.; заявл. 27.10.209; опубл.25.03.2010. Бюл. №6 2010р.

## АНОТАЦІЯ

Паламарчук П.В. Оцінка процесів навантаженості та роботоздатності елементів металоконструкцій вентиляторних обприскувачів класу ОВП-2000.- Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11- машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2009.

У дисертаційній роботі на сучасному технічному рівні вирішується завдання дослідження впливу обертових мас приводу на несучі конструкції сільськогосподарських машин. Впроваджено фотоелектричний моментомір, створено математичне обґрунтування обробки цифрового сигналу, записаного реєструючою системою, яке закладено в основу комп'ютерної програми «Krejator» для виведення сигналу на екран монітора у формі придатній для статистичної обробки.

З використанням розроблених засобів вимірювання проведено дослідження машин ОВП-2000 та ОШУ-50А. Результати досліджень покладено в основу розрахунку консолі кріплення вентилятора методом мінімуму потенціальної енергії деформації. За результатами теоретичних досліджень запропоновано внести зміни в конструкцію консолі, що дозволить знизити її матеріалоємність, та забезпечить нормативний ресурс роботи

**Ключові слова:** вентиляторний обприскувач, пружна рівновага, ресурс роботи, моментомір, комп'ютерна програма «Krejator», дослідження завантаженості, математичне обґрунтування, зниження матеріалоємності.

## АННОТАЦИЯ

Паламарчук П.В. Оценка процессов нагруженности и работоспособности элементов металлоконструкций вентиляторных опрыскивателей класса ОВП-2000. - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11-машини и средства механизации сельскохозяйственного производства. Тернопольский государственный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2009.

В диссертационной работе на современном техническом уровне решено важную научно-техническую задачу - повышение работоспособности сельскохозяйственных машин, типа вентиляторных опрыскивателей с приводом от ВВП энергосредства. В основу работы положены исследования влияния разницы знакопеременных нагрузок в опорах мультипликатора от привода крутящего момента, а также дисбаланса вращающихся масс вентиляторной установки, что повышает достоверность оценки несущей способности, оптимизацию и необходимую долговечность рассматриваемой конструкции.

Разработано научно-техническую методику по определению эксплуатационных кососимметрических знакопеременных нагрузок относительно продольной плоскости симметрии машин типа одноосных сельскохозяйственных прицепов и алгоритм аналитически-

экспериментального исследования, сочетающий в себе модифицированный метод минимума потенциальной энергии деформации конструктивных структур со специально сконструированными средствами эксплуатационных исследований реальной динамики нагруженности.

Реализованный комплексный подход обеспечил: снижение НДС в лонжеронах консольного крепления вентиляторной установки с 52 МПа до 34 МПа (лонжерон 59) и с 63 МПа до 36 МПа (лонжероны 63). Благодаря достижению упругого равновесия в элементах базовой несущей системы металлоемкость усовершенствованной металлоконструкции снизилась на 8,7%.

При нормативном сроке службы опрыскивателей 7 лет и сезонной эксплуатации 300 часов ресурс работы составляет: серийной конструкции - 1100 часов; модернизированной - 2250 часов (Патент Украины на полезную модель № 48663, от 25.04.2010 г.), что вполне соответствует нормативному сроку службы.

Годовой экономический эффект от усовершенствования несущей системы машины ОВП-2000 составляет 3350 грн. на одно изделие.

**Ключевые слова:** вентиляторный опрыскиватель, упругое равновесие, ресурс работы, моментомир, компьютерная программа «Krejator», исследование загруженности, математическое обоснование, снижение материалоемкости.

## SUMMARU

Palamarchuk P.V. Assessment of loading processes and functions of metal elements fan sprayers, class ОВП-2000 .- Manuscript. Dissertation for achseving the candidate degree in Engineering sciences in speciality 05.05.11- Machines and means of mechanization of agricultural production.- Ternopil Ivan Pul'uj State Technical University, Ternopil, 2009.

The research of influence the rotating mass drive over the main constructions of agricultural machines on the modern level is decided in this dissertation work.

Photoelectrical momentomir is used, the mathematical study of digital signal processing is created, recorded by the recording system, which laid the basis for the computer program "Krejator" for output a signal on the monitor screen in a form suitable for statistical processing.

Such machines as ОВП-2000 and ОШУ-50А are tested using developed means of measuring. The results of research are put in the basis for calculating the console fan fastensng using method of minimum potential energy of deformation. According to the results of theoretical studies modifications to the console consumption are proposed which will help to reduce its material consumption and provide normative resource of work.

**Keywords:** spray fan, resilient balance, momentomir, the computer program "Krejator, load research, mathematical justification, reduce material consumption.