

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**ДОВБУШ ТАРАС АНАТОЛІЙОВИЧ**

**УДК 631.3:669.539**

**ОЦІНКА РЕСУРСУ РОБОТИ І ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ  
НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ РОЗКИДАЧІВ ДОБРИВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

ТЕРНОПІЛЬ – 2016

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник:**

заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор **Рибак Тимофій Іванович**,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, завідувач кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин

доктор технічних наук, професор

**Гевко Роман Богданович**,

Тернопільський національний економічний університет

**Офіційні опоненти:**

в.о. завідувача кафедри менеджменту біоресурсів і природокористування

кандидат технічних наук

**Щур Тарас Григорович**,

Львівський національний аграрний університет,

доцент кафедри тракторів і автомобілів

Захист відбудеться “ 8 ” грудня 2016 року о “ 11 ” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська 56, аудиторія 74.

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

Автореферат розіслано “ 7 ” листопада 2016 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

І.Б. Гевко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** До 50% приросту врожаю сільськогосподарських культур отримують за рахунок внесення добрив. За дослідженнями «Агробізнес Сьогодні» при виробництві машин для внесення добрив в Україні до 2014 р., порівняно з попередніми двома роками, при прирості в середньому 17%, спостерігався імпорту аналогічної продукції в більших об'ємах, порівняно з попередніми роками, низька конкурентоспроможність вітчизняної техніки разом з привабливими лізинговими умовами спричинила нарощування обсягів продажу імпортованих машин, отже, ринок вказаної продукції є перспективним, проте імпортозалежним. Спрацьованість матеріально-технічної бази аграрних підприємств, використання фізично і морально застарілої сільськогосподарської техніки є одним з основних факторів втрат урожаїв. Внаслідок впливів складної динамічної навантаженості, зокрема на несучі системи машин для внесення добрив, виходять з ладу більше шістдесят відсотків деталей машин. Одними з найнебезпечніших чинників, які призводять до відмов машин і механізмів в аграрному виробництві, є руйнування базових несучих металоконструкцій сільськогосподарської техніки під час виконання технологічних процесів внаслідок втрати міцності з причин зародження і розвитку тріщин при комплексних впливах експлуатаційних факторів.

Підвищення вимог до показників металоемності і надійності розкидачів твердих добрив пов'язане з забезпеченням міцності і довговічності їхніх вузлів та агрегатів. Необхідність скорочення термінів проектування нової техніки, високі витрати на проведення досліджень експериментальними шляхами підвищують значення розрахунково-експериментальних методів оцінки довговічності конструкцій. Тому розробка та обґрунтування таких методів є комплексним завданням, яке вимагає поглибленого аналізу проблематики теорії розрахунків на міцність несучих систем машин, обґрунтування нових розрахункових моделей розвитку тріщин та навантаженості несучих систем, що в сукупності є науково-технічним завданням, яке має важливе значення. На сьогодні можливості методів оцінки ресурсу несучих систем причіпних машин для внесення твердих органічних добрив використовуються не повністю. Розгляду цих актуальних проблем і присвячена дисертаційна робота, яка має важливе народногосподарське значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертаційної роботи було виконано згідно з науково-дослідною тематикою кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя: держбюджетної науково-дослідної роботи ДІ 222-15 «Розробка методики прогнозування і покращення корозійно-втомної довговічності несучих систем розкидачів добрив типу РТД» (номер державної реєстрації 0115U002451).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка методики оцінки і підвищення ресурсу роботи з удосконаленням несучих систем машин для внесення твердих органічних добрив.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- побудова розрахункових моделей напружено-деформівного стану несучих систем причіпних розкидачів добрив з урахуванням фактичної навантаженості;
- формування методики і проведення експериментальних досліджень з визначення параметрів навантаженості розкидачів добрив у польових умовах;
- експериментальні дослідження впливу фактичної експлуатаційної навантаженості на процеси і характеристики циклічної тріщиностійкості матеріалів несучих металоконструкцій розкидачів твердих органічних добрив;
- створення математичної моделі кінетики розвитку крайових тріщин у тонкостінних елементах конструкцій машин для внесення твердих добрив при циклічній навантаженості;
- розробка аналітичних залежностей для визначення ресурсу роботи несучих систем розкидачів твердих добрив при динамічній навантаженості тонкостінних елементів з тріщинами та фактичних експлуатаційних впливах;
- розробка методики оцінки і підвищення ресурсу роботи з удосконаленням несучих систем машин для внесення органічних добрив.

*Об'єкт дослідження* – процеси руйнування несучих металоконструкцій розкидачів твердих органічних добрив.

*Предмет дослідження* – ресурс роботи тонкостінних несучих структур машин для розкидання органічних добрив з удосконаленням і підвищенням довговічності металоконструкцій.

*Методи дослідження.* Теоретичні та експериментальні дослідження базуються на основах опору матеріалів, вищої математики, теорії машин і механізмів, а також механіки руйнування матеріалів та сучасних уявленнях про механізми руйнування металоконструкцій, методах теорії надійності машин і конструкцій. Експериментальні дослідження напружено-деформівного стану (надалі НДС) несучих металоконструкцій розкидачів органічних добрив у польових умовах здійснювали методами тензометрії; кінетичні діаграми втомного руйнування, залежно від умов випробувань досліджуваних сталей, визначали методами механіки руйнування. Обробка результатів експериментальних випробувань, зокрема візуалізація даних, відбувалася в ППП Kriator, також застосовано Matlab та EXCEL. При побудові розрахункових моделей використано пакети прикладних програм SolidWorks, ЛИРА.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. На основі модифікації методу мінімуму потенціальної енергії деформації (надалі ММПЕД) для просторових несучих систем розкидачів органічних добрив з урахуванням фактичної навантаженості побудовано оригінальні розрахункові моделі НДС тонкостінних металоконструкцій машин цього класу.

2. Створено математичні моделі докритичного росту крайових тріщин у тонкостінних холодногнутих профілях елементів несучих металоконструкцій машин для внесення твердих органічних добрив при експлуатаційних умовах.

3. Розроблено аналітичні залежності для оцінки ресурсу роботи несучих систем розкидачів добрив при циклічній навантаженості тонкостінних елементів з тріщинами і фактичній навантаженості.

4. Розроблено методику розрахунку ресурсу роботи несучих балкових елементів відкритих профілів металоконструкцій рам розкидачів твердих органічних добрив з урахуванням особливостей їх експлуатації.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в розробці методики визначення раціональних параметрів несучих систем машин для внесення твердих органічних добрив з урахуванням впливу фактичної експлуатаційної навантаженості. На цій основі запропоновано покращення показників довговічності несучих рам машин типу ПРТ. Запропоновані алгоритми інженерних розрахунків та отримані результати мають прикладне значення і дають змогу здійснювати розрахунок конструктивних параметрів несучих систем, обґрунтовувати раціональний вибір матеріалів металоконструкцій розкидачів добрив. Експериментальним шляхом визначено характеристики циклічної тріщиностійкості матеріалу несучої металоконструкції при типових для машин цього класу режимах навантаження. Удосконалено методику моделювання навантаженості несучих металоконструкцій, що дає змогу з високою точністю виконати оцінку НДС несучих систем розкидачів. Результати досліджень впроваджено на ТОВ «ВО «Ковельсьільмаш», на основі проведених аналітичних та експериментальних досліджень, методики і рекомендацій, здійснено модернізацію несучої системи розкидача твердих ПРТ-9. Запропоновано вдосконалення конструктивної системи розкидача твердих добрив, а також практичні інженерні рішення для дослідження НДС тримких систем, які захищені патентами України [13, 14]. Теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи використовують у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин при вивченні навчальних курсів «Методи проектування сільськогосподарських машин» та «Пошукове конструювання сільськогосподарського машинобудування».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Особистий внесок здобувача у роботах, виконаних у співавторстві, полягає в побудові розрахункових моделей НДС несучих систем причіпних розкидачів добрив з урахуванням фактичної навантаженості конструктивних систем [2, 4]; удосконаленні методик моделювання експлуатаційної навантаженості металоконструкцій сільськогосподарських машин [3, 5, 6, 9]; розробці аналітичних моделей за встановленим характерним зовнішнім навантаженням тримких рам сільськогосподарських машин [7, 10]; уточненні методики розрахунку зварних елементів тонкостінних перетинів з урахуванням деформації стисненого кручення [11, 12]; моделюванні докритичного росту крайових тріщин у тонкостінних холодногнутих профілях елементів несучих металоконструкцій сільськогосподарських машин в експлуатаційних умовах [1, 8].

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення і результати досліджень було висвітлено і обговорено на: Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт з природничих, технічних і гуманітарних наук у 2012 році «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (Харків, 2012), XVI Науковій конференції ТНТУ імені Івана Пулюя «Матеріалознавство та машинобудування». (Тернопіль, 2012), VI Всеукраїнській

студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопіль, 2013), Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2013), XVIII науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 2014), IV Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2015).

У повному обсязі робота доповідалась та отримала позитивні відгуки на засіданнях науково-технічних семінарів у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя.

**Публікації.** Основний зміст дисертаційної роботи відображено в 19 публікаціях, з яких 12 у фахових виданнях, 5 у матеріалах конференцій та 2-х патентах України на корисні моделі.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційну роботу викладено на 189 машинописних сторінках. Вона складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 147 назв, містить 62 рисунки, 17 таблиць, а також додатків на 65 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, зазначено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, наведено дані про апробацію і публікації, які відображають основний зміст результатів досліджень.

У **першому розділі** викладено огляд літературних джерел, розглянуто тенденції розвитку машин для внесення твердих добрив, результати випробувань та причини виходу з ладу несучих конструктивних систем розкидачів, на основі аналізу обґрунтовано вибір теми та завдання досліджень.

Основні напрямки та наукові концепції розвитку сільськогосподарської техніки досліджено в працях Адамчука В.В., Булгакова В.М., Василенка П.М., Войтюка Д.Г., Гукова Я.С., Кравчука В.І., Лінника М.К., Мироненка В.Г., Погорілого Л.В., Пастухова В.І., Рибака Т.І. та ін. Теоретичним та експериментальним дослідженням надійності і довговічності сільськогосподарських машин присвячено праці Аніловича В.Я., Баловнева Г.Г., Бичкова Д.В., Бойка А.І., Вейбулла В., Волкова П.М., Дмитриченко С.С., Ловейкіна В.С., Погорілого В.В., Спиченкова В.В. та ін. Фундаментальним питанням міцності, втоми та тріщиностійкості матеріалів присвячено роботи Андрейківа О.Є., Когаєва В.П., Махутова М.А., Меддокса С.Дж., Никифорчина Г.М., Панасюка В.В., Партоні В.З., Трощенко В.Т., Черепанова Г.П., Яснія П.В. та ін.

Незважаючи на поширені втомні руйнування металоконструкцій сільськогосподарських машин цього класу (рис. 1), враховуючи те, що розкидачі працюють у складних технологічних умовах, на сьогодні терміни служби встановлюють без урахування впливів фактичної експлуатаційної навантаженості, найбільш небезпечними з позиції зародження і розвитку втомних пошкоджень.



Рис. 1. Експлуатаційна дефектність типів тріщин несучої системи розкидача ПРТ-9

Встановлено, що норми припустимих пошкоджень і зменшення несучої здатності елементів конструкцій машин для внесення твердих органічних добрив не визначено, що створює складнощі під час оцінки граничного стану металоконструкцій, в плануванні витрат на виробництво та ремонтні роботи.

Незважаючи на значний об'єм досліджень, відзначено, що закономірності докритичного розвитку дефектності в статично невизначених несучих системах розкидачів твердих добрив з урахуванням фізичної природи відмов, розвитку втомних дефектів при динамічних навантаженнях, вивчено недостатньо. Дослідження зародження і розвитку втомних пошкоджень збільшують кількість питань, пов'язаних із нормуванням допустимої дефектності в рамних конструкціях машин. На цій підставі сформульовано мету та завдання дослідження.

У **другому розділі** запропоновано математичні моделі НДС несучих систем причіпних розкидачів, що описують характерні для машин даного класу закономірності розподілу ваги робочого матеріалу на несучі системи як функції зміни нерівномірно-розподіленого навантаження у поперечно-поздовжній площині типовому для експлуатаційних умов (рис. 2).

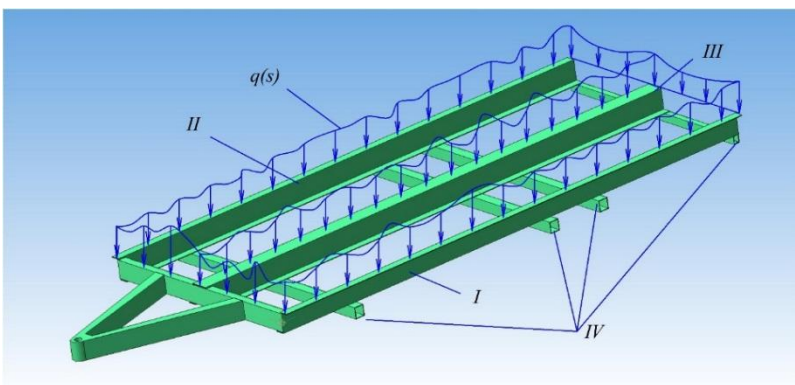


Рис. 2. Схематизація розподілу навантаженості тримкої металоконструкції розкидача добрив ПРТ-9:

$q(s)$  – розподілене навантаження;  
 I, II, III – лонжерони Z-подібних профілів;  
 IV – траверси коробчастих профілів.

Моделювання конструктивної системи детермінують дискретними конструктивними елементами з лімітованими геометричними характеристиками, лінійними розмірами та навантаженістю (рис. 3). Виходячи з цього складено функції силових факторів потенціальних енергій деформацій.

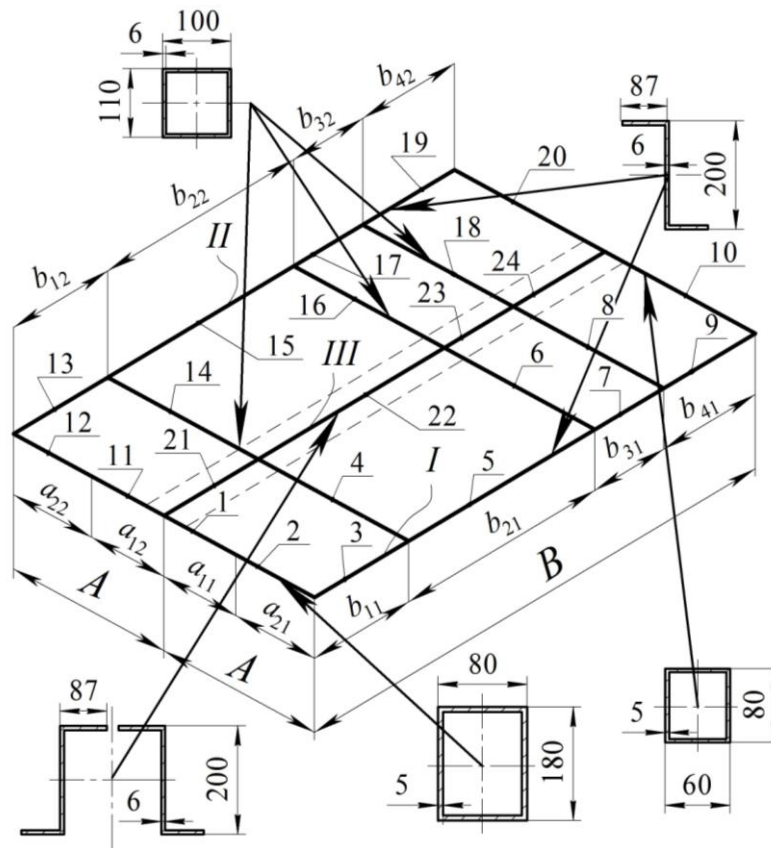


Рис. 3. Схематизація несучої системи і профілів розкидача добрив ПРТ-9

Побудовано розрахункові моделі для визначення внутрішніх силових факторів як функцій впливу встановлених характерних типів експлуатаційної навантаженості (рис. 4), враховуючи диференціальні залежності при згинальних деформаціях металоконструкцій несучих структур розкидачів

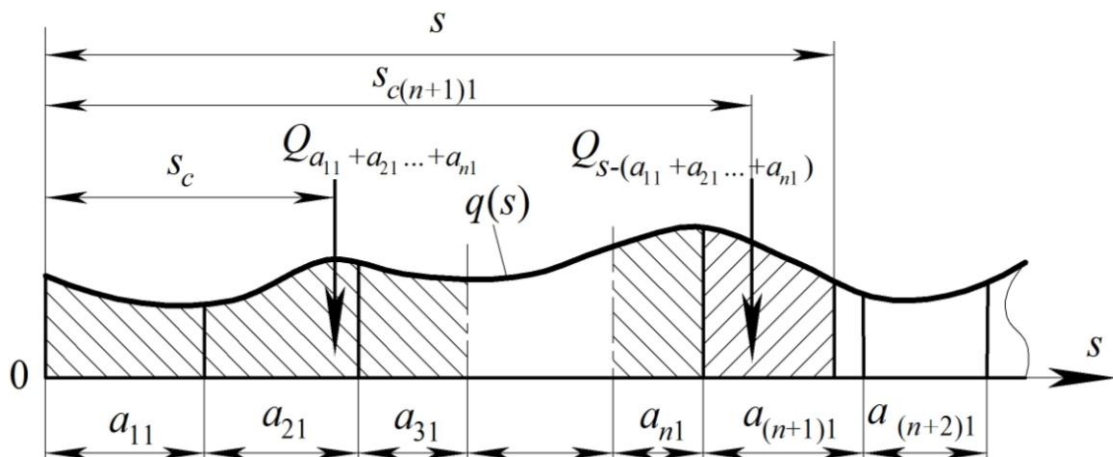


Рис. 4. Схематизація впливу встановлених характерних типів експлуатаційної навантаженості

$$M(s) = Q_{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1}} \cdot (s - s_c) + Q_{s-(a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1})} \cdot (s - s_{c(n+1)1}) \quad (1)$$



де  $M(s)$  – функція згинального моменту на проміжку  $(a_{11} + a_{21} + \dots + a_{n1}) \leq s \leq (a_{11} + a_{21} + \dots + a_{n1} + a_{(n+1)1})$ ;

де  $Q_{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1}} = \int_0^{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1}} q(s) \cdot ds$  – значення рівнодійної поперечної сили, що

діє на ділянках  $(a_{11}, a_{21}, \dots, a_{n1})$ ;

$s_c = \left( \begin{array}{c} a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1} \\ \int_0^{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1}} q(s) \cdot s \cdot ds \\ 0 \\ a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1} \\ \int_0^{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1}} q(s) \cdot ds \\ 0 \end{array} \right)$  – координата прикладання рівнодійної поперечної сили

$Q_{a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1}}$ ;

$Q_{s-(a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1})} = \int_0^s q(s) \cdot ds$  – значення рівнодійної поперечної сили, що діє на

частині ділянки  $(n+1)1$ ;

$s_{c(n+1)1} = \left( \begin{array}{c} s \\ \int_0^s q(s) \cdot s \cdot ds \\ a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1} \\ \int_0^s q(s) \cdot ds \end{array} \right)$  – координата прикладання рівнодійної поперечної

сили  $Q_{s-(a_{11}+a_{21}+\dots+a_{n1})}$  відносно початку координат.

При асиметричному навантаженні добривами кузова машини отримано функцію згинально-крутного бімоменту для  $i$ -ої ділянки конструктивної системи від стисненого кручення елементів металоконструкції

$$B_{\omega_i}(s) = B_{\omega_0i} \frac{sh(k_i(l_i - s))}{sh(k_i l_i)} + B_{\omega_i} \frac{sh(k_i s)}{sh(k_i l_i)}, \quad (2)$$

де  $B_{\omega_0i} = B_{\omega_i} = \frac{K_{oi}}{k_i} \cdot \frac{k_i l_i - sh(k_i l_i)}{1 - ch(k_i l_i)}$  – бімоменти в перетинах закріплення елементів;

$K_{oi}$  – величини загального крутного моменту на початку  $i$ -го елемента;

$ch(k_i s)$ ,  $sh(k_i s)$  – гіперболічні функції.

Модель аналітичного опису НДС несучих систем причіпних розкидачів описує характерні для машин цього класу закономірності розподілу ваги робочого матеріалу на несучі системи як функції зміни нерівномірно-розподіленого навантаження у поперечно-поздовжній площині, типовому для експлуатаційних умов (рис. 5), базується на модифікації методу мінімуму потенціальної енергії деформації у поєднанні з розробленою математичною моделлю, що враховує

нерівномірності навантаження несучої системи відповідно до реальних умов експлуатації.

Загальна функція потенціальних енергій деформації згину та кручення конструктивної системи є адитивною, що детермінується  $U_1, U_2, U_3$  – функціями потенціальних енергій деформації згину та кручення компонент: першої, другої та третьої частини конструктивної системи. Використовуючи модифікований ММПЕД отримано і розв’язано систему канонічних рівнянь, встановлено розподіл внутрішніх силових факторів для характерних зовнішніх навантажень. При асиметричному розподілі навантаження рами розкидача в елементах конструктивної системи домінують крутні моменти, отже, під час розв’язку системи рівнянь враховують потенціальну енергію деформації кручення, обґрунтовано застосування під час модифікації ММПЕД потенціальної енергії деформації від біпари, доведено детермінуючий вплив бімоментів на НДС елементів несучих металоконструкцій розкидачів добрив.

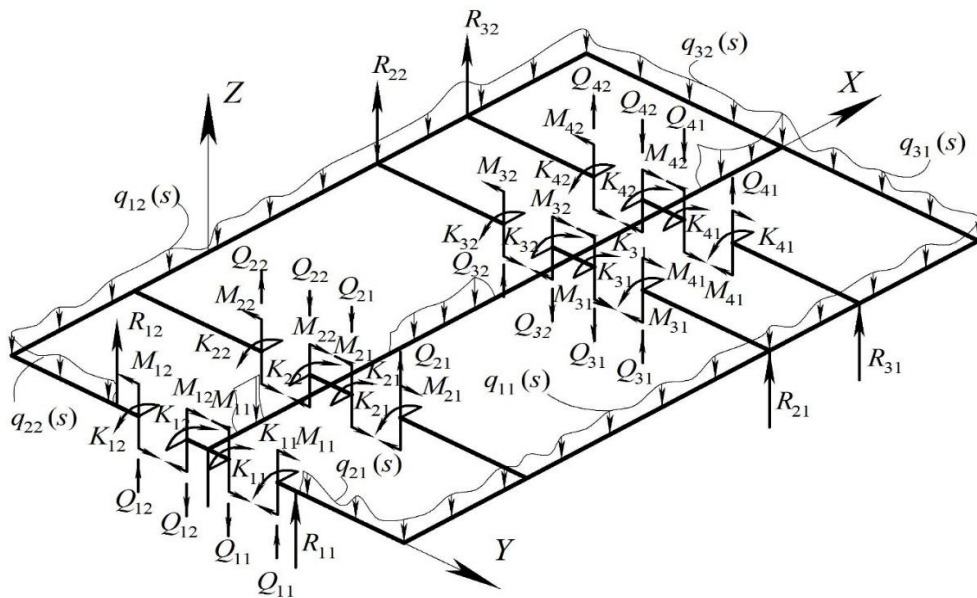


Рис. 5. Схематизація навантаження конструктивної системи розкидача добрив

ПРТ-9:  $q_{11}(s), q_{12}(s), q_{21}(s), q_{22}(s), q_{31}(s), q_{32}(s)$  – функції довільних зовнішніх розподілених навантажень; внутрішні силові фактори:  $Q_{11}, Q_{12}, \dots, Q_{42}$  – поперечні сили в елементах конструктивної системи;  $M_{11}, M_{12}, \dots, M_{42}$  – згинальні моменти в елементах конструктивної системи;  $K_{11}, K_{12}, \dots, K_{42}$  – крутні моменти в елементах конструктивної системи

Аналіз НДС встановленого при моделюванні небезпечного перетину конструктивної системи розкидача добрив ПРТ-9 (рис. 6) за умови повного завантаження причепа, використовуючи універсальне рівняння кутів повороту поперечних перетинів, початкові умови та складені диференціальні рівняння внутрішніх силових факторів, отримано функцію

$$B_{\omega}(s) = -E \cdot I_{\omega} \cdot \theta''(s) = -B_0 \cdot ch(k \cdot s) - \frac{m}{k^2} \cdot ch(k \cdot s) - \frac{K_0}{k} \cdot sh(k \cdot s) + \frac{m}{k^2}. \quad (3)$$

## Нормальні напруження

$$\sigma(B_\omega) = \frac{-B_0 \cdot ch(k \cdot s) - \frac{m}{k^2} \cdot ch(k \cdot s) - \frac{K_0}{k} \cdot sh(k \cdot s) + \frac{m}{k^2}}{I_\omega} \cdot \omega_{\max}, \quad (4)$$

де  $\omega_{\max}$  – максимальна секторіальна координата точки поперечного перетину.

Визначений на основі моделювання НДС розподіл нормальних напружень у встановленому небезпечному перетині лонжерона рами розкидача добрив, зображено на рис. 6.

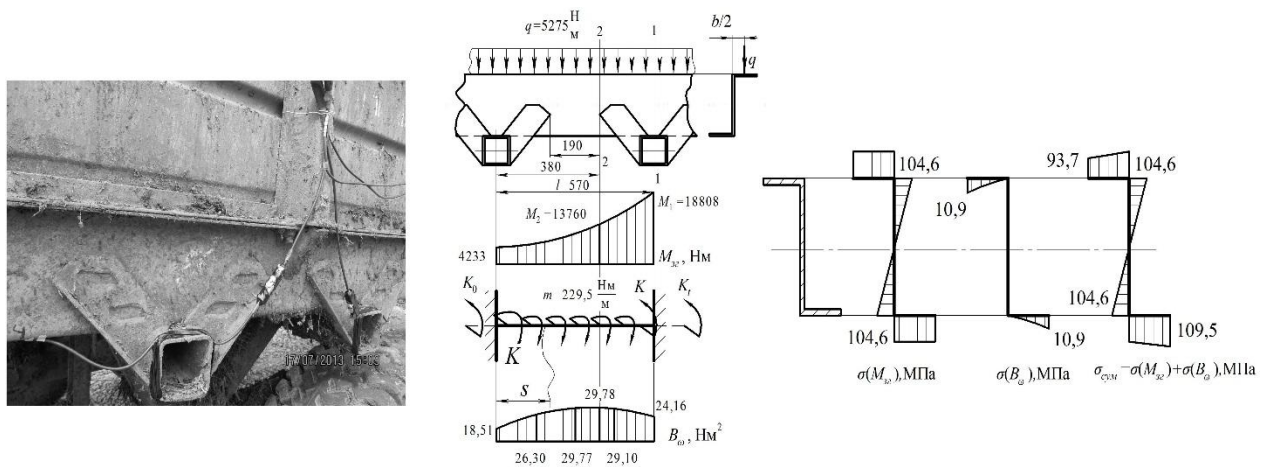


Рис. 6. Розрахункова схема небезпечного перетину рами розкидача добрив ПРТ-9

Адаптація розрахункових моделей НДС тонкостінних металоконструкцій машин цього класу, проведена на прикладі конструктивної системи рами ПРТ-9 з застосуванням ППП Ліра 9.2, виявила розбіжність результатів до 1%, при модифікації ММПЕД шляхом врахування складених аналітичних виразів потенціальної енергії кручення і згинально-крутного моменту забезпечує похибку до 10%.

У **третьому розділі** обґрунтовано аналітичні моделі кінетики розвитку крайових тріщин у тонкостінних елементах конструкцій машин для внесення твердих добрив при фактичній циклічній навантаженості.

В несучих системах розкидачів органічних добрив типово застосовують тонкостінні холодно гнуті профілі типу швелер та Z-подібний профіль, ін., причому довговічність лімітується ресурсом максимально навантажених елементів, які працюють у складних експлуатаційних умовах. Під час згину балки Z-подібного перетину, тріщина росте з полиці, для отримання математичної залежності науково-технічного типу досліджують встановлені характерні для несучих металоконструкцій машин такого типу випадки розвитку дефекту при експлуатаційних навантаженнях. Проведено порівняльне аналітичне моделювання з розрахунками досліджуваного з'єднання несучої системи ПРТ-9 без, а також з врахуванням внутрішніх силових факторів від стисненого кручення (рис. 7).

Аналітичним моделюванням НДС досліджуваних з'єднань з врахуванням стисненого кручення, після обчислень, доведено, максимальні напруження в з'єднанні зростають в 1,74 рази. У дослідженні докритичного росту крайової тріщини при згині тонкостінних Z-подібного та спарених Z-подібних профілів визначено раціональність застосування для матеріалів металоконструкції міри сингулярності напружень в околі втомної тріщини – коефіцієнта інтенсивності напружень (надалі КІН) першого роду, які отримано як складові напружень від розтягу і чистого згину, враховуючи моделі В.В. Панасюка

$$K_I^{(p)} = \sigma_{НОМ}^{(p)} \cdot (1 - \varepsilon) \sqrt{L \cdot \pi} \times [1 + 0,128\varepsilon - 0,288\varepsilon^2 + 1,525\varepsilon^3]; \quad (5)$$

$$K_I^{(3z)} = \sigma_{НОМ}^{(3z)} \cdot (1 - \varepsilon)^2 \sqrt{L \cdot \pi} \times [1,122 - 1,4\varepsilon + 7,33\varepsilon^2 - 13,08\varepsilon^3 + 14\varepsilon^4], \quad (6)$$

де  $\sigma_{НОМ}^{(p)}$  і  $\sigma_{НОМ}^{(3z)}$  – відповідно, номінальні напруження від деформацій розтягу і згину елемента несучої системи розкидача, МПа.

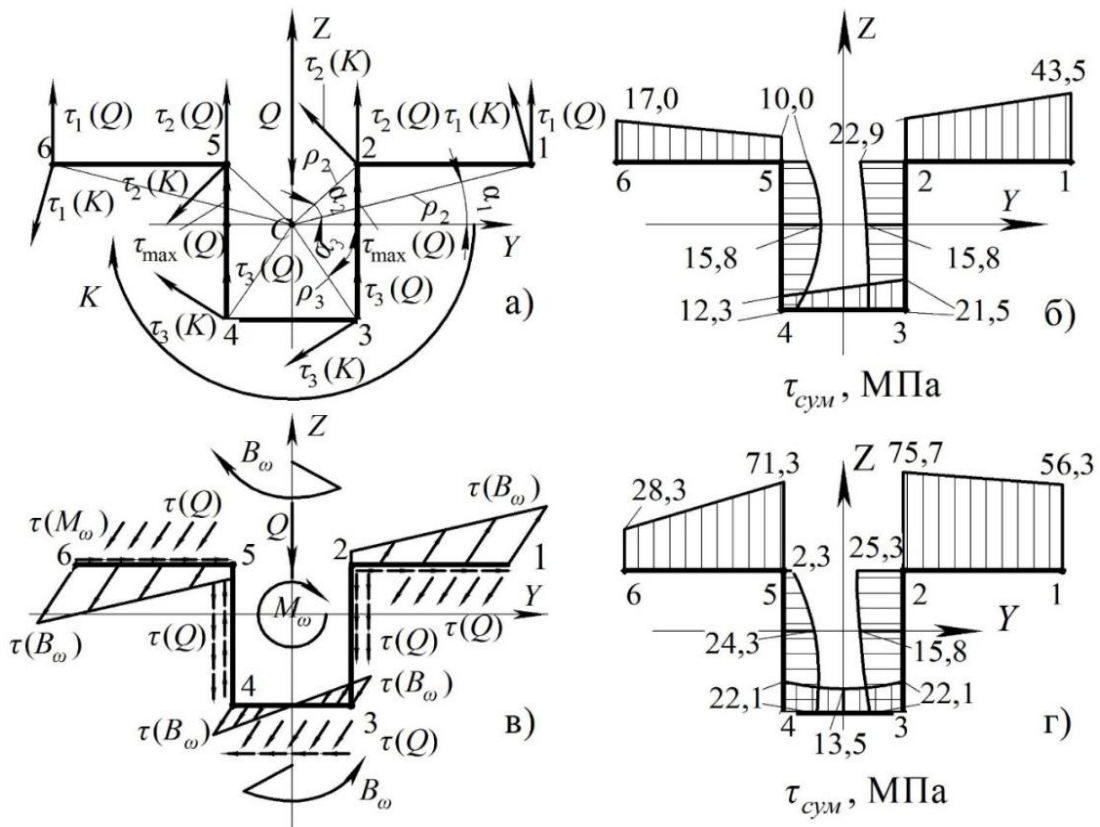


Рис. 7. Векторна схематизація фактичних внутрішніх силових факторів і розподіл сумарних напружень: а, б – без урахування стисненого кручення; в, г – з урахуванням стисненого кручення

Номінальні напруження, відповідно, в полиці і стінці Z-подібного перетину (рис. 8):

$$\sigma_{НОМ}^{(p)} = \frac{M(h - z_{C1i})}{I_{Y1i}}; \quad (7)$$

$$\sigma_{НОМ}^{(3z)} = \frac{M \cdot (h - L_2 - z_{C2})}{I_{Y2i}}; \quad (8)$$

де  $z_{C1i}$ ,  $I_{Y1i}$  – відповідно, координата центру мас і осьовий момент інерції поперечного перетину як функції довжини тріщини.

Після перетворень отримано

$$K_I^{(p)} = \sigma^{(p)} \cdot (1 - \varepsilon) \sqrt{L_1 \cdot \pi} \cdot F_1(\varepsilon); \quad (9)$$

$$K_I^{(3z)} = \sigma^{(3z)} \cdot (1 - \varepsilon)^2 \sqrt{L_2 \cdot \pi} \cdot F_2(\varepsilon), \quad (10)$$

де  $F_1(\varepsilon)$ ,  $F_2(\varepsilon)$  – поправочні функції, які враховують зміну геометрії тонкостінного профілю при поширенні втомної тріщини (рис. 8);

$\varepsilon$  – відносна характеристика росту тріщини,  $\varepsilon = \frac{L}{b + h + b}$ .

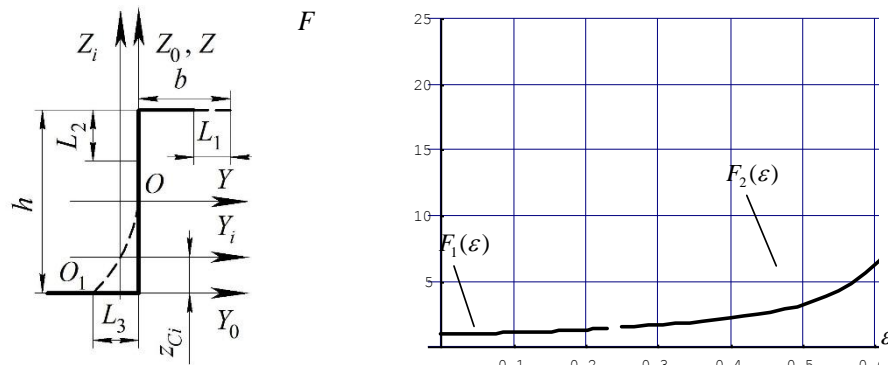


Рис. 8. Розрахункова схема дослідження докритичного росту крайової тріщини і графічні залежності  $F_1(\varepsilon)$ ,  $F_2(\varepsilon)$

Базуючись на аналогічних припущеннях, записано формули для визначення КІН спарених Z-подібних перетинів центральної балки розкидача твердих органічних добрив ПРТ-9. Зміну поправочних функцій від характеристики росту тріщини показано на рис. 9.

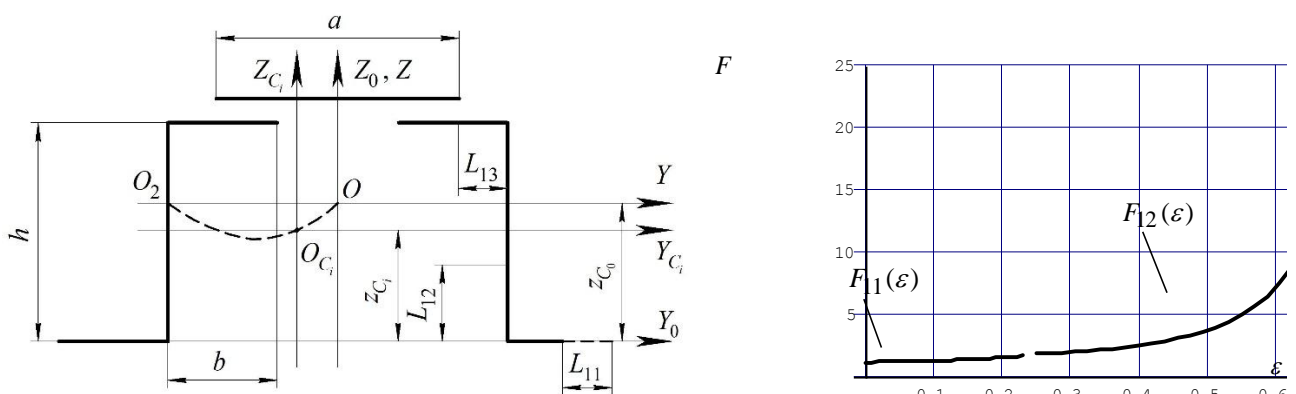


Рис. 9. Розрахункова схема дослідження докритичного росту крайової тріщини в спарених Z-подібних поперечних перетинах і графічні залежності  $F_{11}(\varepsilon)$ ,  $F_{12}(\varepsilon)$ .

**У розділі 4** подано методики експериментальних досліджень визначення параметрів навантаженості причіпних розкидачів добрив та результати польових випробувань динаміки навантаженості, також характеристик тріщиноотривкості тонкостінних профілів металокопструкцій розкидача ПРТ-9.

Відповідно до виконаних аналітичних досліджень тримкої копструкції розкидача добрив, визначено перетини, в яких діють максимальні внутрішні силові фактори. У вказаних перетинах: ділянок кріплення колісної пари до центральної балки і бокових лонжеронів для дослідження реальної динаміки напруженого стану встановлено тензорезистори. Експериментальні заміри НДС досліджуваних елементів рами розкидача добрив ПРТ-9 проводили на експлуатаційних режимах при виконанні повного циклу технологічного процесу.

Оцінка фактичної навантаженості несучих металокопструкцій розкидачів органічних добрив базується на виконаних аналітичних дослідженнях і побудованих розрахункових моделях НДС, запропоновано методику і проведено польові експериментальні дослідження розкидача твердих органічних добрив ПРТ-9 з визначенням частотного і компонентного складу напружень під час виконання технологічного процесу. Експериментальні дослідження проводили при розкиданні свинячого підстилкового гною масою 10т, повторення восьмикратне, енергетичний засіб – МТЗ-1523, стабільність режимів забезпечено контролем величини робочого навантаження, тиску в колесах і швидкості.

Після формалізації обробки методами математичної статистики вихідних даних визначено значення максимальних і мінімальних середньостатистичних напружень в небезпечному перетині при виконанні повного циклу технологічного процесу  $\sigma_{\max} = 98$  МПа,  $\sigma_{\min} = 34$  МПа, причому спектр випадкових процесів навантаженості несучої системи включає навантаження частот у діапазонах 1–2 Гц, 3–6 Гц, 7–8 Гц, при гармоніці основного тону частотою 1–5 Гц. Експериментальними дослідженнями НДС доведено, що при статичному навантаженні розрахункові та експериментальні дані відрізняються до 9%.

Режими експериментальних досліджень характеристик тріщиностійкості матеріалів металокопструкцій розкидача типу ПРТ-9 визначено з досліджень характеристик експлуатаційної навантаженості несучої рами в польових умовах для випробувань використано зразки, вирізані з стінок елемента рами Z-подібного перетину зі Сталі 10 6x22x220 мм з нарізаними концентраторами напружень. За результатами досліджень отримано:  $K_{fc} = 71,5 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ ;  $n = 2,94$ ;  
 $C = 8,75 \cdot 10^{-12} \text{ м/цикл} \cdot (\text{МПа} \sqrt{\text{м}})^n$ .

**У розділі 5** обґрунтовано методику оцінки і підвищення ресурсу роботи з удосконаленням несучих систем машин для внесення твердих органічних добрив. Ресурс роботи елементів конструктивної системи розкидача добрив

$$T_i = \frac{\int_{l_0}^{l_{K_i}} \frac{dL}{C \cdot (\sigma_i \cdot \sqrt{\pi \cdot L} \cdot F_{Z_i}(\varepsilon))^n}}{3600 \cdot \omega}, \quad (11)$$

де  $\sigma_i$  – фактичні напруження в досліджуваних елементах металоконструкції;

$F_{Z_i}$  – узагальнююча поправочна функція для  $i$ -го поперечного перетину досліджуваного конструктивного елемента;

$l_{K_i}$  – встановлена розрахунково-аналітичним шляхом критична величина дефекту.

Для Z-подібного лонжерона розкидача органічних добрив (рис. 10) при визначених:  $\sigma_1 = 66$  МПа,  $l_{K_1} = 0,1135$  м,

$$F_{Z_1}(\varepsilon) = 1 - 2,586 \cdot \varepsilon + 132,249 \cdot \varepsilon^2 - 1628,850 \cdot \varepsilon^3 + 5035,670 \cdot \varepsilon^4 + \\ + 54598,249 \cdot \varepsilon^5 - 579311,0 \cdot \varepsilon^6 + 2,457 \cdot 10^6 \cdot \varepsilon^7 - 5,753 \cdot 10^6 \cdot \varepsilon^8 + \\ + 7,786 \cdot 10^6 \cdot \varepsilon^9 - 5,724 \cdot 10^6 \cdot \varepsilon^{10} + 1,775 \cdot 10^6 \cdot \varepsilon^{11}. \quad (12)$$

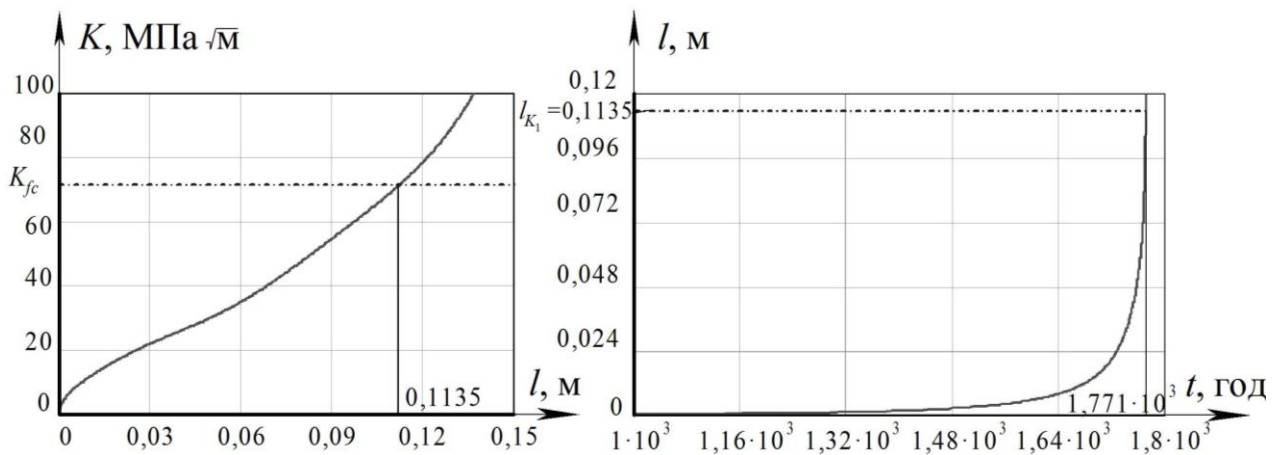


Рис. 10. Графічні залежності ресурсу роботи лонжерона несучої системи розкидача від розміру дефекту

Для конструктивного елемента центральної балки розкидача спареного Z-подібного профілю (рис. 11):  $\sigma_2 = 29$  МПа,  $l_{K_2} = 0,1725$  м,

$$F_{Z_2}(\varepsilon) = 1,192 + 1,362 \cdot \varepsilon - 8,747 \cdot \varepsilon^2 - 42,105 \cdot \varepsilon^3 + 1686,130 \cdot \varepsilon^4 - \\ - 9652,620 \cdot \varepsilon^5 + 23140,7 \cdot \varepsilon^6 - 23508 \cdot \varepsilon^7 + 4462,25 \cdot \varepsilon^8 + 5242,86 \cdot \varepsilon^9. \quad (13)$$

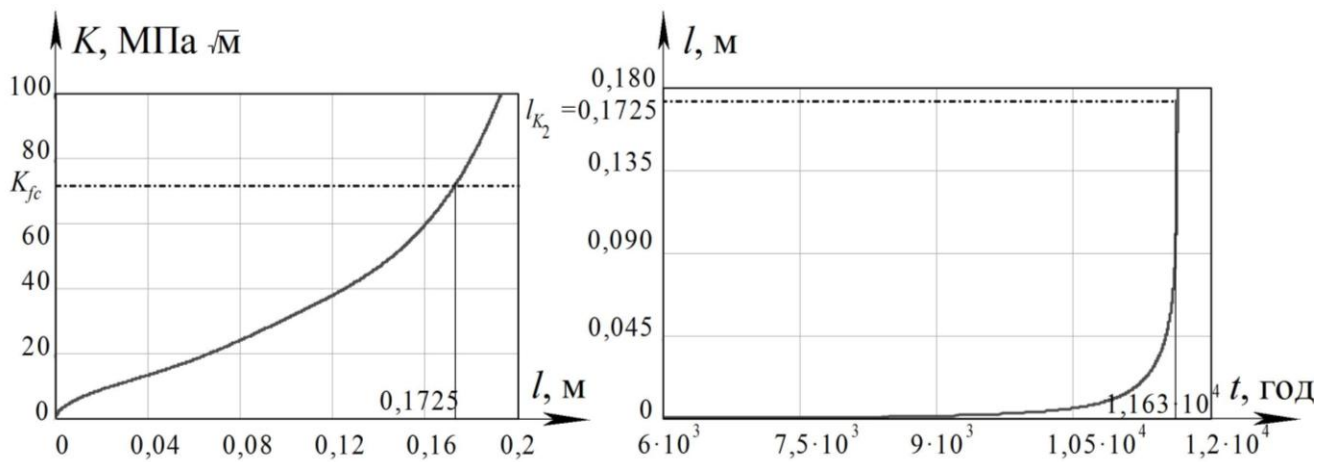


Рис. 11. Залежність ресурсу роботи центральної балки від розміру дефекту

Базова конструктивна система розкидача добрив ПРТ-9 є не раціональною з позиції забезпечення показників довговічності, центральна балка забезпечує ресурс відносно лонжеронів у  $T_2/T_1 = 11630/1771 = 6,57$  рази більший. Для збільшення довговічності бокових лонжеронів з зменшенням ресурсу роботи центральної балки, обґрунтовано доцільність і рекомендовано проведення заміни лонжеронів Z-подібного поперечного перетину гнутим швелером 200x100x6 мм ГОСТ 8278-83, центральної балки з спарених Z-подібних перетинів трубою прямокутного перетину 200x100x5 мм, ГОСТ 30245-2003, що забезпечить вирівнювання характеристик напружено-деформівного стану металоконструкції розкидача ПРТ-9 та раціональні показники довговічності елементів конструктивної системи (рис. 12).

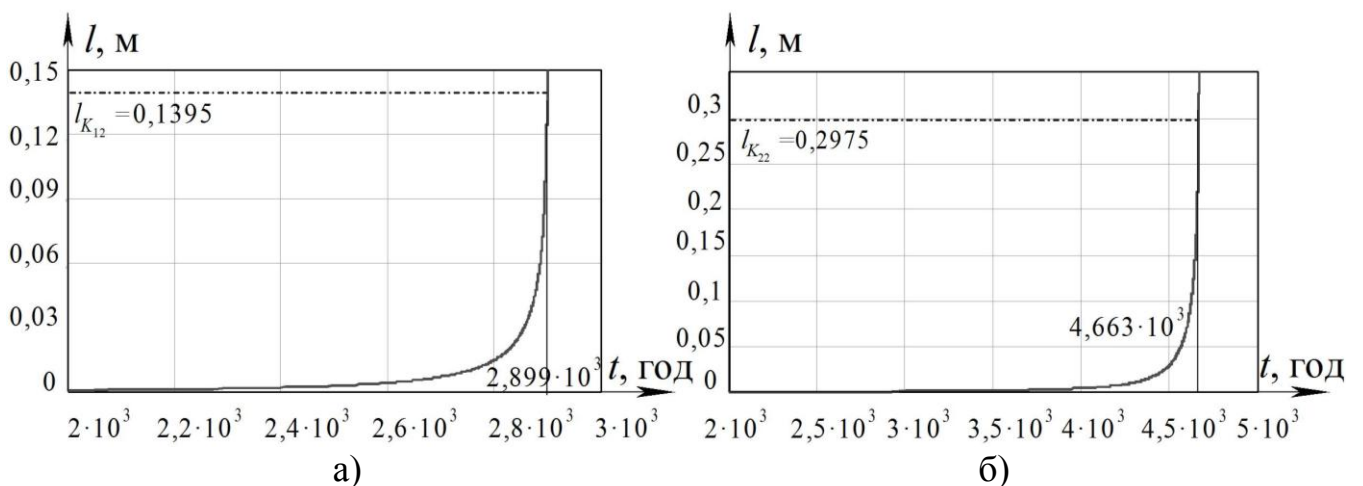


Рис. 12. Графічні залежності ресурсу елементів удосконаленої несучої системи розкидача твердих добрив ПРТ-9: а) бокового лонжерону; б) центральної балки

У результаті розрахунково-експериментальної оцінки ресурсу запропоновано оптимізацію несучої металоконструкції розкидача органічних добрив ПРТ-9 за матеріалоемністю і довговічністю, яка забезпечила б рівномірний, без стрибків за величиною розподіл напружень за периметром при співвідношенні ресурсів роботи центральної балки і лонжеронів у 1,61 рази, що значно покращує експлуатаційні властивості конструктивної системи машини. Вказана методика і рекомендації



впроваджено у виробництво ТОВ «ВО «Ковельсільмаш», також технічну новизну захищено патентом України на корисну модель № 92328, МПКА/1С 15/00: рама розкидача твердих органічних добрив.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертацію присвячено важливій науково-технічній проблемі оцінки і покращення з підвищенням ресурсу роботи несучих систем машин для внесення твердих органічних добрив.

1. Розроблено методика розрахунку ресурсу несучих систем розкидачів твердих добрив з позицій механіки руйнування, що ґрунтується на математичному моделюванні явищ руйнування при зародженні і розвитку втомних тріщин під впливом фактичних експлуатаційних факторів.

2. Побудовано розрахункові моделі напружено-деформівного стану несучих систем причіпних розкидачів добрив з урахуванням встановленої типової для машин цього класу навантаженості від робочих матеріалів, які базуються на модифікованому методі мінімуму потенціальної енергії деформацій шляхом використання функцій енергій деформації кручення та згину елементів, похибка до 1%, при модифікації з врахуванням складених аналітичних виразів потенціальних енергій кручення, згинально-крутного моменту – до 10%.

3. Сформовано методика проведення експериментальних досліджень навантаженості конструктивних структур розкидачів органічних добрив в експлуатаційних умовах, встановлено значення середньостатистичних напружень у небезпечному перетині при виконанні повного циклу технологічного процесу  $\sigma_{\max} = 98$  МПа,  $\sigma_{\min} = 34$  МПа, гармоніка частот основного тону спектру випадкових процесів  $\omega = 2,3\text{с}^{-1}$  при розбіжності розрахункових та експериментальних даних до 9%.

4. За обґрунтованими на основі досліджень навантаженості в польових умовах режимами, за експериментальними дослідженнями побудовано кінетичну діаграму втомного руйнування і отримано характеристики тріщинотривкості основного металу конструктивної системи – Сталь10:  $K_{fc} = 71,5 \text{ МПа} \sqrt{\text{м}}$ ;  $n = 2,94$ ;  $C = 8,75 \cdot 10^{-12} \text{ м/цикл} \cdot (\text{МПа} \sqrt{\text{м}})^n$ .

5. Розроблено математичні моделі докритичного розвитку крайових тріщин у тонкостінних елементах металоконструкцій машин для внесення твердих добрив при циклічній навантаженості.

6. Обґрунтовано аналітичні залежності для визначення ресурсу тонкостінних перетинів з тріщинами елементів несучих систем розкидачів при фактичних експлуатаційних впливах.

7. На основі проведених досліджень запропоновано модернізацію несучої металоконструкції розкидача органічних добрив ПРТ-9 за матеріалоемністю і довговічністю, що забезпечило рівномірний за величиною розподіл напружень впродовж периметру при співвідношенні ресурсів роботи центральної балки і лонжеронів в 1,61 раза, що значно покращує експлуатаційні властивості конструктивної системи машини.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях*

1. Попович П. Коррозия машиностроительных сталей в средах органических удобрений / П. Попович, О. Цень, Т. Довбуш и др. // Motrol. Commission of Motorization and energetics in agriculture. – 2014. – Vol. 16, No 4. – P. 219–225.

2. Попович П., Сташків М., Довбуш Т., Дудка Г. Енергетичний спосіб розкриття статичної невизначеності несучих рамних стержневих систем мобільних сільськогосподарських машин. «Інноваційні напрямки розвитку технічного сервісу машин» // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2012. – Вип. 120, С. 198–203.

3. Рибак Т.І. Удосконалення методики оцінювання ресурсу роботи несучих систем сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак, Є.Й. Ріпецький, Т.А. Довбуш // Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки. Вісник ТНТУ. – Тернопіль: ТНТУ. – 2012. – №4(68), С. 107–113.

4. Рибак Т.І. Обґрунтування модифікації методу мінімуму потенціальної енергії деформації (ММПЕД) / Т.І. Рибак, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь // «Технічний сервіс машин для рослинництва». Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2013. – Вип. 134, С. 260–266.

5. Рибак Т.І. Імітаційне моделювання при розрахунках на квазістатичну міцність конструктивних структур важко навантажених сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак, П.В. Попович, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь // «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2013. – Вип. 139, С. 321–326.

6. Довбуш Т.А. Модифікація ММПЕД для розкриття статичної невизначеності криволінійних елементів рам / Т.А. Довбуш, А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик // «Технічний сервіс для машин для рослинництва». Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2014. – Вип. 145, С. 105–110.

7. Попович П.В. Моделювання експлуатаційної навантаженості несучих систем розкидачів добрив типу ПРТ-10 / П.В. Попович, М.Я. Сташків, Т.А. Довбуш // «Проблема надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2014. – Вип. 151, С. 367–372.

8. Попович П.В. Вплив експлуатаційних середовищ на поширення поверхневих корозійно-втомних тріщин в елементах конструкцій сільськогосподарських машин / П. Попович, О. Цьонь, Т. Довбуш // Вісник ТНТУ – Тернопіль: ТНТУ, 2014. – Том 75. – № 3. – С. 157–165. – (Машинобудування; автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

9. Попович П.В. Уніфікація дослідження напружено-деформованого стану несучих конструктивних систем / П.В. Попович, М.Я. Сташків, Т.А. Довбуш // Вісник ТНТУ – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – Том 78. – № 2. – С. 153–163. – (Машинобудування; автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

10. Довбуш Т.А. Аналітичне дослідження напружено-деформованого стану складних конструктивних систем з довільним зовнішнім навантаженням / Т.А. Довбуш, А.Д. Довбуш, Н.І. Хомик // «Ресурсозберігаючі технології, матеріали

та обладнання у ремонтному виробництві» Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2015. – Вип. 158, С. 44–50.

11. Т. Rybak. Energy and integrated method in evaluation of working life of supporting systems for mobile agricultural machines / Timothii Rybak, Oksana Oryshchyn, Taras Dovbush, Anatolii Dovbush // Вісник ТНТУ, – Тернопіль: ТНТУ, 2016 – Том 81. – № 1. – С. 70–76. – (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

12. Сташків М.Я. Дослідження впливу стисненого кручення на міцність зварного з'єднання елементів рами розкидача твердих органічних добрив / М.Я. Сташків, М.І. Підгурський, Т.А. Довбуш, І.М. Бортник // «Технічні системи і технології тваринництва». «Технічний сервіс машин для рослинництва». Вісник ХНТУСГ м. П. Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2016. – Вип. 170, С. 164–171.

#### ***Патенти на корисні моделі***

13. Бабій А. Пат. України на корисну модель № 63398, МПКG01L 1/00. Пристрій для визначення кута закручування рами мобільної машини / Бабій А., Рибак Т., Попович П., Довбуш Т. // Пат. України на корисну модель № 63398, МПКG01L 1/00. від 10.10.2011 р. заявл. 02.03.2011 р.; опубл. 10.10.2011 р. Бюл. №19 2011 р.

14. Попович П. Пат. України на корисну модель № 92328, МПКАJ1C 15/00. Рама розкидача твердих органічних добрив / Попович П., Бабій А., Сташків М., Довбуш Т. Пат. України на корисну модель № 92328, МПКАJ1C 15/00 від 11.08.2014 р. заявл. 18.03.2014 р.; опубл. 11.08.2014 р. Бюл. №15 2014 р.

#### ***Матеріали і тези конференцій***

15. Довбуш Т.А. Вплив лінійних розмірів елементів рами на ефективність використання ММПЕД та його модифікацій / Т.А. Довбуш, А.Д. Довбуш, Г.Б. Цьонь // XVI Наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя «Матеріалознавство та машинобудування». Збірник тез. Том 2. – Тернопіль: ТНТУ, 2012.– С. 125.

16. Рибак Т.І. Модифікація ММПЕД для розкриття статичної невизначеності криволінійних елементів рам / Т.І. Рибак, Т.А. Довбуш // VI Всеукраїнська студентська науково-технічна конференція «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Збірник тез конференції. Том 1. – Тернопіль: ТНТУ, 2013.– С. 143.

17. Довбуш Т.А. Методика визначення внутрішніх силових факторів рами ПРТ-10 / Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь // Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Тернопіль: ТНТУ, 2013. – С. 35.

18. Довбуш Т.А. Методика розрахунку рами ПРТ-10 / Т.А. Довбуш, А.Д. Довбуш // XVIII Наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ, 2014. – С. 76–77.

19. Рибак Т.І. Алгоритм розрахунку несучої системи РСТД-8 / Т.І. Рибак., Т.А. Довбуш // Збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – Том 1. – С. 215–216. – (Сучасні технології в будівництві, транспорті, машино- та приладобудуванні).

## АНОТАЦІЯ

**Довбуш Т.А. Оцінка ресурсу роботи і обґрунтування конструкції несучої системи розкидачів добрив . – Рукопис.**

*Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2016.*

Дисертацію присвячено важливій науково-технічній проблемі оцінки і покращення з підвищенням ресурсу роботи несучих систем машин для внесення твердих органічних добрив.

Розроблено методику розрахунку ресурсу несучих систем розкидачів твердих добрив з позицій механіки руйнування, що ґрунтується на математичному моделюванні явищ руйнування при зародженні і розвитку втомних тріщин під впливом експлуатаційних факторів. Побудовано розрахункові моделі НДС несучих систем причіпних розкидачів добрив з урахуванням встановленої типової для машин цього класу навантаженості від робочих матеріалів. Сформовано методику проведення експериментальних досліджень експлуатаційної навантаженості конструктивних структур розкидачів органічних добрив у польових умовах, встановлено величини амплітудних напружень, середньостатистичні напруження та гармоніку частот основного тону спектру випадкових процесів. Розроблено математичні моделі докритичного розвитку крайових тріщин у тонкостінних елементах металоконструкцій машин для внесення твердих добрив при циклічній навантаженості. На основі проведених досліджень запропоновано модернізацію несучої металоконструкції розкидача органічних добрив ПРТ-9 за матеріалоемністю і довговічністю.

**Ключові слова:** ресурс роботи, довговічність, розкидач твердих органічних добрив, конструктивна система, напружений стан, коефіцієнт інтенсивності напружень.

## АННОТАЦИЯ

**Довбуш Т.А. Оценка ресурса работы и обоснование конструкции несущей системы разбрасывателей удобрений. – Рукопись.**

*Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2016.*

В диссертации решена важная научно-техническая проблема оценки и улучшения с повышением ресурса работы несущих систем машин для внесения твердых органических удобрений.

Разработана методика расчета ресурса несущих систем разбрасывателей твердых удобрений с позиций механики разрушения, основана на математическом моделировании явлений разрушения при зарождении и развитии усталостных

трещин под воздействием эксплуатационных факторов. Созданы расчетные модели напряженно-деформированного состояния несущих систем прицепных разбрасывателей удобрений с учетом установленной типичной для машин данного класса нагруженности от рабочих материалов, которые основаны на модифицированном путем использования функций энергий деформации кручения и изгиба элементов, погрешности до 1%, при модификации с учетом сложных аналитических функции потенциальных энергий кручения, изгибно-крутильного момента – до 10%.

Сформировано методика проведения экспериментальных исследований эксплуатационной нагруженности конструктивных структур разбрасывателей органических удобрений в полевых условиях, установлено величины амплитудных напряжений, среднестатистические напряжения и гармонику частот основного тона спектра случайных процессов.

По обоснованным на основе экспериментальных исследований нагруженности режимам построены кинетические диаграммы усталостного разрушения, соответственно характеристики трещиностойкости основного металла, Сталь10, конструктивной системы. Разработаны математические модели докритического развития краевых трещин в тонкостенных элементах металлоконструкций машин для внесения твердых удобрений при циклической нагруженности. Обоснованно аналитические зависимости для определения ресурса несущих систем разбрасывателей при динамической нагруженности тонкостенных элементов с трещинами и фактических эксплуатационных воздействиях. На основе проведенных исследований предложена модернизация несущей металлоконструкции разбрасывателя органических удобрений ПРТ-9 за материалоемкостью и долговечностью, которая обеспечила равномерное по величине распределение напряжений по периметру при соотношении ресурсов работы центральной балки и лонжеронов в 1,61 раз, что значительно улучшило эксплуатационные свойства конструктивной системы машины.

**Ключевые слова:** ресурс работы, долговечность, разбрасыватель твердых органических удобрений, конструктивная система, напряженное состояние, коэффициент интенсивности напряжений.

## ANNOTATION

**Dovbush T.A. Estimation of the operation life and interpreting of the manure spreader carrier system design.** – Manuscript.

*The dissertation is submitted for the scientific degree of Candidate of Sciences (Engineering) in specialism 05.05.11 – machines and means of mechanization for agricultural production. – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2016.*

The dissertation deals with very important scientific – engineering problem of estimation and improvement with the increase of the operation life of the machine carrier systems for spreading of solid manure. The calculating method of the operation life the solid manure spreader systems from the point of view of fracture mechanics has been

developed, which is based on the mathematic modeling of fracture phenomena under initiation and development of fatigue cracks caused by the operation factors. Calculation models of the manure trailer-spreader stress-strain state of carrier systems have been built taking into account typical conventional loading of operation materials for this type of machines. The method for conducting experiments on the construction units of operation loading for the manure spreaders in field conditions has been created. The values of amplitude stresses, average stresses and frequency harmonic of the main tone of the random processes spectrum have been found. The mathematic models of pre-critical development of the edge cracks in the thin-walled elements of the metal structures of machines for spreading solid manure under cyclic loading, have been developed. Basing on the carried out investigations the improvement of the carrier metal structure of the manure spreader ПРТ-9 on specific consumption of materials and durability, has been proposed.

**Key words:** operation life, durability, solid manure spreader, construction system, stressed state, stress intensity factor.