

**МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ
НАВАНТАЖЕНОСТІ НЕСУЧИХ СИСТЕМ
РОЗКИДАЧІВ ДОБРИВ ТИПУ ПРТ –10**

**Попович П.В., к.т.н., Сташків М.Я., к.т.н.,
Довбуш Т.А., аспірант**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Результати математичного моделювання НДС несучих систем причепних розкидачів твердих органічних добрив підтверджено експериментальними польовими випробуваннями. Виявлено зони, лімітуючі довговічність вілому.

Проблематика відповідності вимогам показників надійності с/г машин, які створюються за сучасними агротехнічними вимогами на сьогоднішній день у повній мірі не вирішена. Для забезпечення заданого рівня надійності актуальними залишаються [1, 5] раціональні рішення з проблем: використання матеріалів з необхідними фізико – механічними властивостями, вибір економічно обґрунтованих прокатих профілів; застосування зєднань та компоновка металоконструкції, які забезпечать задану жорсткість металоконструкції і т.д. Обґрунтування вибору раціонального варіанту несучої системи вимагає проведення порівняльної оцінки оптимальних варіантів на етапах конструкторських робіт. Несучі металоконструкції багато разів статично невизначені, конструктивні елементи однієї рами різноманітні за формою та типами зєднань. Отже моделювання НДС при розрахунках на міцність є складною задачею, яка на сьогодні методологічно не має єдиного рішення. Тому для розробки нових конструкцій несучих систем порівняльні польові випробування не мають альтернативи. Метою роботи є комплексне моделювання експлуатаційної навантаженості металоконструкції ПРТ-10.

Рама причіпних розкидачів є просторовими зварними стержневими статично-невизначеними конструктивними системами, які складаються з поперечних брусів, виготовлених з пустотілих труб прямокутного і квадратного поперечних перетинів. Лонжерони рами виготовлені з Z – профілів (рис.1).

Максимальна навантаженість при прямоочній, характерній для західних регіонів України технології розкидання, спостерігається в транспортному режимі з повним кузовом твердих органічних добрив, також при виконанні техпроцесу, для ПРТ–10, вага добрив $Q_D=100000$ Н. Вага ме-

талоконструкції, $Q_M=35000$ Н, інтегральне навантаження за припущенням рівномірно розподіляється на несучі елементи рами (рис.2):

$$q = \frac{Q_D + Q_M}{L} = \frac{100000 + 35000}{25,6} = 5275 \text{ Н / м,}$$

де L - загальна довжина контакту кузова з рамою

$$L = 4 \cdot 5,3 + 2 \cdot 2,2 = 25,6 \text{ м.}$$

Конструктивна система рами складається з восьми замкнутих контурів, 24 рази статично невизначена. Використовуючи симетрію рамної конструкції і зовнішнього навантаження досліджуються три частини (рис.1). В результаті в кожному суміжному поперечному перетині елемента рами виникають: M_i - згинальні моменти, K_i - крутні моменти, Q_i - поперечні сили. Осьовими силами та згинальними моментами, поперечними силами в горизонтальній площині нехтуємо. При таких спрощеннях рамна конструкція стає 12 раз статично невизначеною.

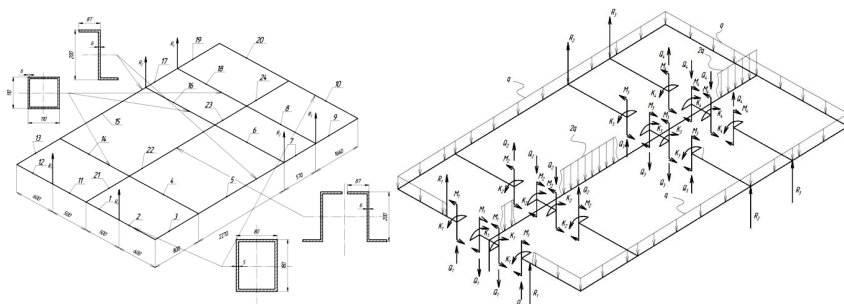


Рис.1. Розрахункова схема несучої системи машини ПРТ –10

Класичними методами розкриття статичної невизначеності є метод сил та метод переміщень, проте використання цих методів для рамних конструкцій вказаного типу є занадто складним і об'ємним як і методика розкриття статичної невизначеності з використанням матриць впливу і переміщень [6].

МКЕ забезпечує отримання значень внутрішніх силових факторів, переміщень інших характеристик у вузлах кінцевих елементів локально, без врахування вплив змін перепадів жорсткостей на деформовану несучу систему в цілому. В [3, 4] при порівнянні досліджень НДС у рамних конструкціях з результатами тензометричних досліджень, різниця 30-40 %. Для замкнутого контуру просторово навантаженої рами виразів внутрішніх силових факторів буде більше 6. Рамна конструкція може складатися від 1-го контуру до декількох десятків. Визначення шуканих величини є громіздким. В роботі [6] доведено, потенціальними енергіями

деформацій від зрізу та розтягу-стиску можна нехтувати, похибка у визначенні невідомих складає 0,06%- 1.3%, статична невизначеність одного замкнутого контуру зменшується до запису функцій енергій від згину та кручення. Для розкриття статичної невизначеності рами ПРТ-10 (рис.1) враховуємо енергії від деформації кручення та згину. Функції крутних та згинальних моментів записуються від 1-ї до 24-ої ділянок:

$$1 \text{ ділянка, } 0 \leq x \leq 0,5\text{м: } K_1(x) = -K_1; \quad M_1(x) = M_1 + Q_1 \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2};$$

і, аналогічно, до 24 ділянки, $0 \leq x \leq 1,66\text{м}$:

$$M_{24}(x) = 2 \cdot K_1 + 2 \cdot K_2 + 2 \cdot K_3 + 2 \cdot K_4 - 2 \cdot Q_1 \cdot 3,64 - 2 \cdot Q_1 \cdot x - 2 \cdot Q_2 \cdot 2,84 - 2 \cdot Q_2 \cdot x - 2 \cdot Q_3 \cdot 0,57 - 2 \cdot Q_3 \cdot x - 2 \cdot Q_4 \cdot x - 2 \cdot q \cdot 3,64 \cdot x - \frac{2 \cdot q \cdot 3,64^2}{2} - \frac{2 \cdot q \cdot x^2}{2};$$

Сумарна потенціальна енергія від деформації згину:

$$U(M) = U(M_1) + U(M_2) + U(M_3) + U(M_4) + U(M_5) + U(M_6) + U(M_7) + U(M_8) + U(M_9) + U(M_{10}) + U(M_{11}) + U(M_{12}) + U(M_{13}) + U(M_{14}) + U(M_{15}) + U(M_{16}) + U(M_{17}) + U(M_{18}) + U(M_{19}) + U(M_{20}) + U(M_{21}) + U(M_{22}) + U(M_{23}) + U(M_{24});$$

Сумарна потенціальна енергія від деформації кручення:

$$U(K) = U(K_1) + U(K_2) + U(K_3) + U(K_4) + U(K_5) + U(K_6) + U(K_7) + U(K_8) + U(K_9) + U(K_{10}) + U(K_{11}) + U(K_{12}) + U(K_{13}) + U(K_{14}) + U(K_{15}) + U(K_{16}) + U(K_{17}) + U(K_{18}) + U(K_{19}) + U(K_{20});$$

Використовуючи ММПЕД з системи рівнянь :

$$\frac{\partial UU}{\partial M_1} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial M_2} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial M_3} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial M_4} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial K_1} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial K_2} = 0;$$

$$\frac{\partial UU}{\partial K_3} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial K_4} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial Q_1} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial Q_2} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial Q_3} = 0; \quad \frac{\partial UU}{\partial Q_4} = 0,$$

Результати занесені в таблицю 1, розбіжність з обчисленнями, проведеними із застосуванням ППП «ЛИРА» 0,01%.

Таблиця 1. Внутрішні силові фактори у перетинах металоконструкції

Силовий фактор, Нм	M_1	M_2	M_3	M_4	K_1	K_2	K_3	K_4
Результат	254	624	12334	13543	820	1076	863	108

В результаті досліджень навантаженості конструкції, найбільший НДС в лонжероні біля кріплення коліс (рис.2.). Перетини I і II жорстко з'єднані з поперечними елементами рами нації в цих перетинах відсутнє.

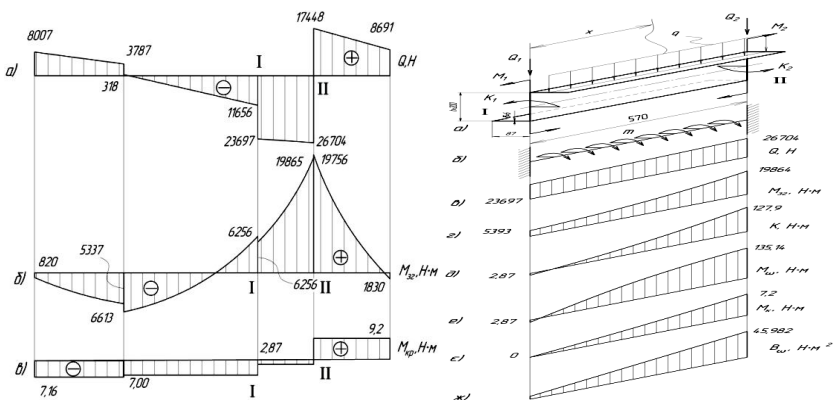


Рис.2. Епюри внутрішніх силових факторів у лонжероні ПРТ-10

Класичне універсальне рівняння кутів закручування ділянки I - II (рис.2):

$$\theta(x) = \theta_0 + \theta'_0 \frac{sh(k \cdot x)}{k} + \frac{B_0(1 - ch(k \cdot x))}{G \cdot I_k} + \frac{K_0(k \cdot x - sh(k \cdot x))}{k \cdot G \cdot I_k} - \frac{m}{k^2 \cdot G \cdot I_k} \cdot \left(\frac{k^2 \cdot x^2}{2} + 1 - ch(k \cdot x) \right)$$

В даному випадку: $K_0 = 2,87 \text{ H} \cdot \text{м}$; $I_k = 2,606 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$;

$$I_\omega = 1,45 \cdot 10^{-8} \text{ м}^6; \quad k = \sqrt{\frac{GI_K}{EI_\omega}} = 0,848 \text{ м}^{-1}; \quad l = 0,57 \text{ м};$$

$$m = \frac{q \cdot b}{2} = \frac{5275 \cdot 0,087}{2} = 229,5 \frac{\text{H} \cdot \text{м}}{\text{м}}$$

Граничні умови: $\theta(x=0) = 0$, $\theta(x=l) = 0$, $\theta'(x=0) = 0$, початкові параметри:

$$\theta_0 = 0; \quad \theta'_0 = 0;$$

$$B_0 = \frac{1}{1 - ch(k \cdot l)} \cdot \left(-\frac{K_0 \cdot (k \cdot l - sh(k \cdot l))}{k} + \frac{m}{k^2} \cdot \left(\frac{k^2 \cdot l^2}{2} + 1 - ch(k \cdot l) \right) \right) = \frac{1}{1 - ch(0,848 \cdot 0,57)} \times$$

$$\times \left(-\frac{8,66 \cdot (0,848 \cdot 0,57 - sh(0,848 \cdot 0,57))}{0,848} + \frac{229,5}{0,848^2} \cdot \left(\frac{0,848^2 \cdot 0,57^2}{2} + 1 - ch(0,848 \cdot 0,57) \right) \right) = 5,6 \text{ H} \cdot \text{м}^2,$$

тоді

$$\theta(x) = \frac{B_0(1 - ch(k \cdot x))}{G \cdot I_k} + \frac{K_0(k \cdot x - sh(k \cdot x))}{k \cdot G \cdot I_k} - \frac{m}{k^2 \cdot G \cdot I_k} \cdot \left(\frac{k^2 \cdot x^2}{2} + 1 - ch(k \cdot x) \right).$$

Отримане рівняння тричі диференціюємо:

$$\theta'''(x) = -\frac{B_0 \cdot k^3}{G \cdot I_k} \cdot sh(k \cdot x) - \frac{m \cdot k \cdot ch(k \cdot x)}{G \cdot I_k} + \frac{K_0 \cdot k^2 \cdot ch(k \cdot x)}{G \cdot I_k}.$$

Результати обчислень внутрішніх зусиль приводяться в таблиці 2.

Таблиця 2. Результати обчислень внутрішніх зусиль в лонжероні

$x, \text{м}$	0	$l/4=0,1425\text{м}$	$l/2=0,285\text{м}$	$3l/4=0,4275\text{м}$	$l=0,57\text{м}$
$M_K, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	-0,63	-1,71	-3,73	-7,2
$B_\omega, \text{Н} \cdot \text{м}^2$	-5,6	-8,38	-15,96	-28,42	-45,98
$M_\omega, \text{Н} \cdot \text{м}$	-2,87	30,47	64,25	98,97	135,14

Після проведення обчислень, визначено максимальні для рами ПРТ-10 напруження, які виникають у перетині II і становлять 127 МПа

Результати НДС, одержані аналітичним моделювання підтверджено експериментальними тензометричних дослідженнями НДС розкидача ПРТ-10, проведених на полях господарства «Україна» Тернопільської обл., напруження співпадають з результатами серії експериментів, при вимірах напружень у відповідних перетинах для випадків навантаженої і ненавантаженої машини перед початком руху.

Список використаних джерел

1. Щурин К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозйственных тракторных средств/ Диссерт. докт. техн. наук. – Оренбург: ОПИ, 1994. – 423с.
2. Еременко С.Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел. – Харьков: Основа, 1991. – 272 с.
3. Черников С.А. О достоверности расчетных оценок НДС рамы грузового автомобиля / Черников С.А., Садчиков К.В.// Проблемы машиностроения и надежность машин, 1998. – №3. – С. 117-121.
4. Вырский А.Н. Исследование нагруженности рамных конструкций // Тракторы и сельхозмашины, 1990. - № 11. – С. 26 – 27.
5. Попович П. Імітаційне моделювання при розрахунках на квазістатичну міцність конструктивних структур важко навантажених сільськогосподарських машин / Попович П., Рибак Т., Довбуш Т., Цьонь Г., Хомик Н.// Вісник ХНТУСГ. Вип. 139. – Х.: «Апостроф», 2013. – С. 321-326
7. Основы теории и расчета сельскохозйственных машин на прочность и надежность. Под ред П.М. Волкова, М.М. Тененбаума. - М., "Маши-

ностроение", 1977, 310с.

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ НЕСУЩИХ СИСТЕМ РАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ УДОБРЕНИЙ ПРТ –10

Попович П.В., Сташкив Н.Я, Довбуш Т.А.

Результаты математического моделирования эксплуатационной нагрузки несущих систем разбрасывателей удобрений подтверждены полевыми испытаниями. Определены зоны, лимитирующие долговечность.

Abstract

DESIGN OF LOADING BEARINGS SYSTEMS OF FERTILIZERS

P. Popovich, M. Stashkiy, T.Dovbush

Results of mathematical design of ekspluatation loading of the bearings systems of throwing about of fertilizers by the field tests. Areas, limiting longevity, are certain