

ДЕФОРМІВНО-НАПРУЖЕНИЙ СТАН НЕСУЧОЇ СИСТЕМИ РОЗКИДАЧІВ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ РТД-14

П. Попович, к.т.н.; С. Сікорський

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Розглянуто модель напружено-деформованого стану просторово навантаженої рамної конструкції розкидача твердих добрив РТД-14 модифікованим методом мінімуму потенціальної енергії деформації конструктивних структур із застосуванням функції Хевісайда. Отримано рекомендації для більш раціонального взаємного розміщення найбільш навантажених елементів, що призвело до підвищення їх міцності при одночасному зниженні матеріаломісткості.

Внаслідок виконання технологічного процесу в складних умовах на значних швидкостях, при роботі в агресивних середовищах рамні конструкції розкидачів органічних добрив характеризуються значними зовнішніми навантаженнями. Саме тому вони відносяться до III класу зварних рам у сільськогосподарському машинобудуванні [3]. Створення раціональних несучих систем даного класу досягається шляхом максимально коректного моделювання напружено-деформованого стану з урахуванням зовнішніх навантажень, як функцій умов роботи.

Базова просторо навантажена несуча система розкидачів органічних добрив та її вузли вимагають удосконалення за надійністю. Моделювання напружено-деформованого стану на основі модифікованого методу мінімуму потенціальної деформації з врахуванням енергій згину та кручення, шляхом раціоналізації методу застосуванням функції Хевісайда $H(x)$ складає основу даної роботи.

В роботі розглянуто плоску просторово-навантажenu рамну конструкцію розкидача твердих органічних добрив РТД-14. Рама є зварною несучою конструкцією, що складається з трьох повздовжніх лонжеронів, довжиною l , з'єднаних між собою передньою балкою і поперечинами [1].

Домінуючими факторами при моделюванні завантаженості просторово-навантаженої рамної конструкції розкидача твердих органічних добрив РТД-14 є зусилля від завантаженої маси добрив P_i та розкидаючого бітерного пристрою P_B . В місцях контакту з'єднання осей ходових коліс машини з лонже-

ронами рами діють реакції R_0, R'_0, R_1, R'_1 та R_2, R'_2 .

Загальний вираз функції потенціальної енергії деформації рами згідно розрахункової схеми (рис. 1) записується як сума потенціальної енергії деформації при згинанні (M) і крученні (K) двох її частин [1]

$$U = U_I + U_{II} = U_{IM} + U_{IK} + U_{IIM} + U_{IIK}. \quad (1)$$

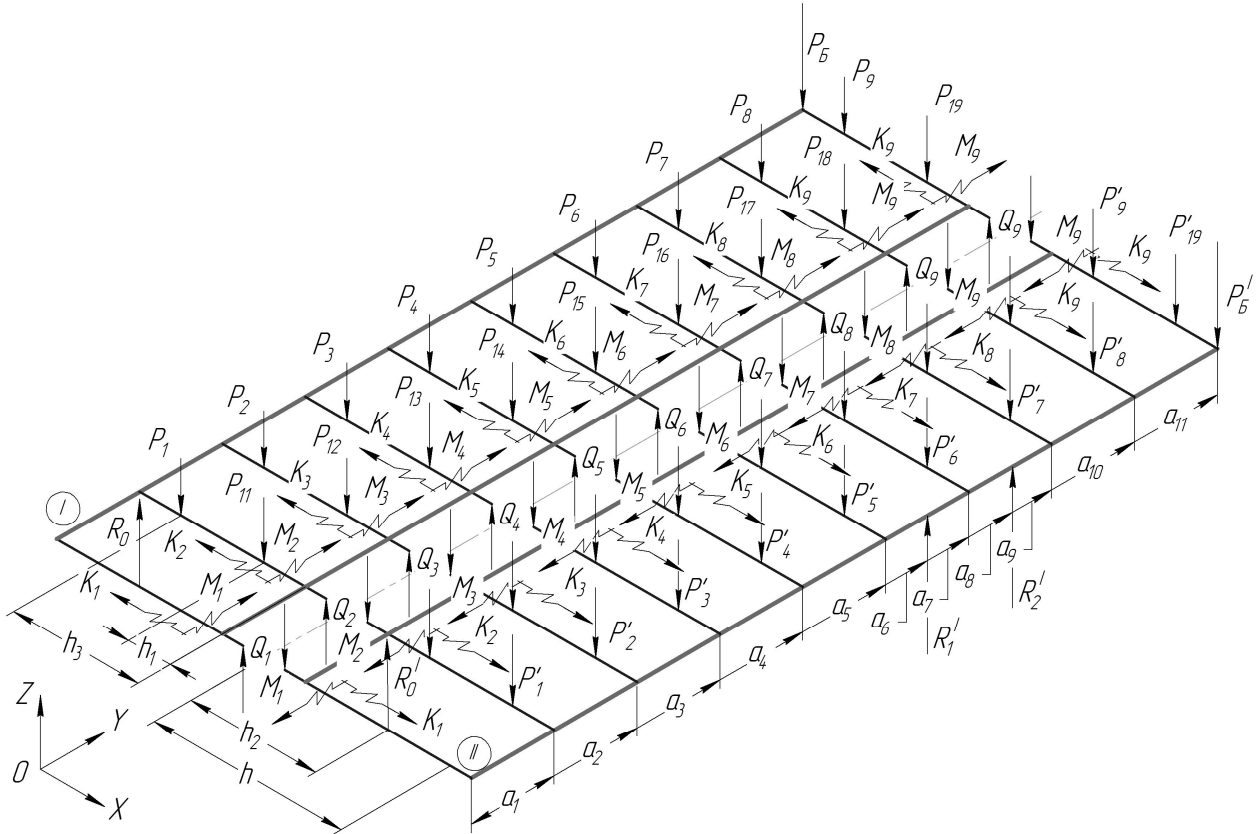


Рис. 1. Розрахункова модель рами розкидача органічних добрив РТД-14

$$\begin{aligned}
 U_{IM} = & \frac{1}{EI_1} \left[\int_0^l (K_1 - Q_1s - R_0s + (K_2 - Q_2s + (P_1 + P_{11}))H(s - a_1) + (K_3 - Q_3s + \right. \\
 & + (P_2 + P_{12}))H(s - a_2) + (K_4 - Q_4s + (P_3 + P_{13}))H(s - a_3) + (K_5 - Q_5s + \\
 & + (P_4 + P_{14}))H(s - a_4) + (K_6 - Q_6s + (P_5 + P_{15}))H(s - a_5) - R_1sH(s - a_6) + \\
 & + (K_7 - Q_7s + (P_6 + P_{16}))H(s - a_7) - R_2sH(s - a_8) + (K_8 - Q_8s + (P_7 + P_{17}))H(s - a_9) + \\
 & + (K_9 - Q_9s + (P_8 + P_{18}))H(s - a_{10}))^2 ds \Big] + \frac{1}{2EI_2} \left[\int_0^h (M_1 - Q_1s - R_0sH(s - h_2))^2 ds + \right. \\
 & + \int_0^h (M_2 - Q_2s + P_{11}H(s - h_1) + P_1H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_3 - Q_3s + P_{12}H(s - h_1) + P_2H(s - h_3))^2 ds + \\
 & + \int_0^h (M_4 - Q_4s + P_{13}H(s - h_1) + P_3H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_5 - Q_5s + P_{14}H(s - h_1) + P_4H(s - h_3))^2 ds + \\
 & + \int_0^h (M_6 - Q_6s + P_{15}H(s - h_1) + P_5H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_7 - Q_7s + P_{16}H(s - h_1) + P_6H(s - h_3))^2 ds + \\
 & + \int_0^h (M_8 - Q_8s + P_{17}H(s - h_1) + P_7H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_9 - Q_9s + P_{19}H(s - h_1) + P_9H(s - h_3))^2 ds \Big]. \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_{IK} = & \frac{1}{2GI_{k1}} \left[\int_0^l (M_1 - Q_1 h - R_0(h - h_2) + (M_2 - Q_2 h + P_1(h - h_3) + P_{11}(h - h_1)) \times \right. \\
& \times H(s - a_1) + (M_3 - Q_3 h + P_2(h - h_3) + P_{12}(h - h_1))H(s - a_2) + (M_4 - Q_4 h + \\
& + P_3(h - h_3) + P_{13}(h - h_1))H(s - a_3) + (M_5 - Q_5 h + P_4(h - h_3) + P_{14}(h - h_1)) \times \\
& \times H(s - a_4) + (M_6 - Q_6 h + P_5(h - h_3) + P_{15}(h - h_1))H(s - a_5) + (M_7 - Q_7 h + \\
& + P_6(h - h_3) + P_{16}(h - h_1))H(s - a_7) + (M_8 - Q_8 h + P_7(h - h_3) + P_{17}(h - h_1)) \times \\
& \times H(s - a_9) + (M_9 - Q_9 h + P_8(h - h_3) + P_{18}(h - h_1))H(s - a_{10}))^2 ds + \\
& + \int_0^l (M_1 - R_0 h_2 + (M_2 + P_1 h_3 + P_{11} h_1)H(s - a_1) + (M_3 + P_2 h_3 + P_{12} h_1)H(s - a_2) + \\
& + (M_4 + P_3 h_3 + P_{13} h_1)H(s - a_3) + (M_5 + P_4 h_3 + P_{14} h_1)H(s - a_4) + (M_6 + P_5 h_3 + \\
& + P_{15} h_1)H(s - a_5))^2 ds + (M_7 + P_6 h_3 + P_{16} h_1)H(s - a_7) + (M_8 + P_7 h_3 + P_{17} h_1) \times \\
& \times H(s - a_9))^2 ds + (M_9 + P_8 h_3 + P_{18} h_1)H(s - a_{10}))^2 ds \Big] + \\
& + \frac{1}{2GI_{k2}} \int_0^h K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 + K_4^2 + K_5^2 + K_5^2 + K_7^2 + K_8^2 + K_9^2 ds.
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
U_{IM} = & \frac{1}{EI_1} \left[\int_0^l (Q_1 s - K_1 - R_0 s + (Q_2 s - K_2 + (P_1 + P_{11})))H(s - a_1) + (Q_3 s - K_3 + \right. \\
& + (P_2 + P_{12}))H(s - a_2) + (Q_4 s - K_4 + (P_3 + P_{13}))H(s - a_3) + (Q_5 s - K_5 + (P_4 + P_{14})) \times \\
& \times H(s - a_4) + (Q_6 s - K_6 + (P_5 + P_{15}))H(s - a_5) - R_1 s H(s - a_6) + (Q_7 s - K_7 + (P_6 + P_{16})) \times \\
& \times H(s - a_7) - R_2 s H(s - a_8) + (Q_8 s - K_8 + (P_7 + P_{17}))H(s - a_9) + (Q_9 s - K_9 + (P_8 + P_{18})) \times \\
& \times H(s - a_{10}))^2 ds \Big] + \frac{1}{2EI_2} \left[\int_0^h (M_1 + Q_1 s - R_0 s H(s - h_2))^2 ds + \right. \\
& + \int_0^h (M_2 + Q_2 s + P_{11} H(s - h_1) + P_1 H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_3 + Q_3 s + P_{12} H(s - h_1) + P_2 H(s - h_3))^2 ds + \\
& + \int_0^h (M_4 + Q_4 s + P_{13} H(s - h_1) + P_3 H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_5 + Q_5 s + P_{14} H(s - h_1) + P_4 H(s - h_3))^2 ds + \\
& + \int_0^h (M_6 + Q_6 s + P_{15} H(s - h_1) + P_5 H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_7 + Q_7 s + P_{16} H(s - h_1) + P_6 H(s - h_3))^2 ds + \\
& + \int_0^h (M_8 + Q_8 s + P_{17} H(s - h_1) + P_7 H(s - h_3))^2 ds + \int_0^h (M_9 + Q_9 s + P_{19} H(s - h_1) + P_9 H(s - h_3))^2 ds \Big].
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
U_{IK} = & \frac{1}{2GI_{k1}} \left[\int_0^l (M_1 + Q_1 h - R_0(h - h_2) + (M_2 + Q_2 h + P_1(h - h_3) + P_{11}(h - h_1))H(s - a_1) + \right. \\
& + (M_3 + Q_3 h + P_2(h - h_3) + P_{12}(h - h_1))H(s - a_2) + (M_4 + Q_4 h + P_3(h - h_3) + P_{13}(h - h_1)) \times \\
& \times H(s - a_3) + (M_5 + Q_5 h + P_4(h - h_3) + P_{14}(h - h_1))H(s - a_4) + (M_6 + Q_6 h + P_5(h - h_3) + \\
& + P_{15}(h - h_1))H(s - a_5) + (M_7 + Q_7 h + P_6(h - h_3) + P_{16}(h - h_1))H(s - a_7) + (M_8 + Q_8 h + \\
& + P_7(h - h_3) + P_{17}(h - h_1))H(s - a_9) + (M_9 + Q_9 h + P_8(h - h_3) + P_{18}(h - h_1))H(s - a_{10}))^2 ds + \\
& + \int_0^l (M_1 - R_0 h_2 + (M_2 + P_1 h_3 + P_{11} h_1)H(s - a_1) + (M_3 + P_2 h_3 + P_{12} h_1)H(s - a_2) + (M_4 + P_3 h_3 + \\
& + P_{13} h_1)H(s - a_3) + (M_5 + P_4 h_3 + P_{14} h_1)H(s - a_4) + (M_6 + P_5 h_3 + P_{15} h_1)H(s - a_5))^2 ds + \\
& + (M_7 + P_6 h_3 + P_{16} h_1)H(s - a_7) + (M_8 + P_7 h_3 + P_{17} h_1)H(s - a_9))^2 ds + (M_9 + P_8 h_3 + P_{18} h_1) \times \\
& \times H(s - a_{10}))^2 ds \Big] + \frac{1}{2GI_{k2}} \int_0^h K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 + K_4^2 + K_5^2 + K_5^2 + K_7^2 + K_8^2 + K_9^2 ds.
\end{aligned} \tag{5}$$

На підставі правила Лейбніца про диференціювання підінтегральних функцій потенціальної енергії деформації за невідомими параметрами і теореми про найменшу роботу кожна із похідних від потенціальної енергії деформації прирівнюємо до нуля. В результаті отримаємо систему лінійних канонічних рівнянь, кількість яких співпадає з кількістю статично невизначених зусиль [2].

$$\frac{\partial U}{\partial M_i} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial K_i} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial Q_i} = 0 \quad (6)$$

Шукані згинальний M і крутний K моменти, а також поперечну силу Q визначаємо при наступних вихідних даних:

- зовнішні навантаження, одержані експериментально:

$$\begin{aligned} P_1 = 1661\text{Н}; P'_1 = 1673\text{Н}; P_2 = 2030\text{Н}; P'_2 = 1964\text{Н}; P_3 = 2743\text{Н}; P'_3 = 2871\text{Н}; \\ P_4 = 3128\text{Н}; P'_4 = 3026\text{Н}; P_5 = 3749\text{Н}; P'_5 = 3740\text{Н}; P_6 = 4186\text{Н}; P'_6 = 4277\text{Н}; \\ P_7 = 5050\text{Н}; P'_7 = 5423\text{Н}; P_8 = 5697\text{Н}; P'_8 = 5921\text{Н}; P_9 = 6636\text{Н}; P'_9 = 6496\text{Н}; \\ P_{11} = 1570\text{Н}; P'_{11} = 1810\text{Н}; P_{12} = 2172\text{Н}; P'_{12} = 2254\text{Н}; P_{13} = 2967\text{Н}; \\ P'_{13} = 3079\text{Н}; P_{14} = 3488\text{Н}; P'_{14} = 3325\text{Н}; P_{15} = 4054\text{Н}; P'_{15} = 3960\text{Н}; \\ P_{16} = 4915\text{Н}; P'_{16} = 4752\text{Н}; P_{17} = 5610\text{Н}; P'_{17} = 5791\text{Н}; P_{18} = 6282\text{Н}; \\ P'_{18} = 6435\text{Н}; P_{19} = 6980\text{Н}; P'_{19} = 7044\text{Н}. \\ P_B = 1960\text{Н}; P'_B = 2146\text{Н} \end{aligned}$$

- геометричні та фізичні характеристики, взяті з креслення і властивостей матеріалу конструкції:

$$\begin{aligned} a_1 = 0,480\text{м}; a_2 = 0,705\text{м}; a_3 = 0,705\text{м}; a_4 = 0,705\text{м}; a_5 = 0,705\text{м}; a_6 = 0,100\text{м}; \\ a_7 = 0,480\text{м}; a_8 = 0,150\text{м}; a_9 = 0,495\text{м}; a_{10} = 0,645\text{м}; a_{11} = 0,645\text{м}; h = 1,010\text{м}; \\ h_1 = 0,365\text{м}; h_2 = 0,645\text{м}; h_3 = 0,750\text{м}; I_1 = 177,258 \cdot 10^{-7}\text{м}^4; I_{k1} = 10,9673 \cdot 10^{-7}\text{м}^4; \\ I_2 = 1,72294 \cdot 10^{-7}\text{м}^4; I_{k2} = 38,6459 \cdot 10^{-10}\text{м}^4; E = 2,1 \cdot 10^5\text{МПа}; G = 8 \cdot 10^4\text{МПа} \end{aligned}$$

Зовнішні опорні реакції є статично визначеними, відносно шуканих внутрішніх невідомих параметрів:

$$\begin{aligned} R_0 = 8632\text{Н}; R'_0 = 9078\text{Н}; R_1 = 32512\text{Н}; R'_1 = 33528\text{Н}; \\ R_2 = 31746\text{Н}; R'_2 = 32184\text{Н}. \end{aligned}$$

В наслідок розв'язку системи рівнянь отримаємо:

$$\begin{aligned} M_1 = -1758\text{Н} \cdot \text{м}; M_2 = -3235\text{Н} \cdot \text{м}; M_3 = -2704\text{Н} \cdot \text{м}; M_4 = -2607\text{Н} \cdot \text{м}; \\ M_5 = -2178\text{Н} \cdot \text{м}; M_6 = -2982\text{Н} \cdot \text{м}; M_7 = -3355\text{Н} \cdot \text{м}; M_8 = -5132\text{Н} \cdot \text{м}; \\ M_9 = -6625\text{Н} \cdot \text{м}; M_{10} = -8382\text{Н} \cdot \text{м}; K_1 = 0,22\text{Н} \cdot \text{м}; K_2 = 0,22\text{Н} \cdot \text{м}; \\ K_3 = 0,2\text{Н} \cdot \text{м}; K_4 = 0,15\text{Н} \cdot \text{м}; K_5 = 0,09\text{Н} \cdot \text{м}; K_6 = 0\text{Н} \cdot \text{м}; K_7 = 0\text{Н} \cdot \text{м}; \\ K_8 = 0\text{Н} \cdot \text{м}; K_9 = 0\text{Н} \cdot \text{м}; K_{10} = 0\text{Н} \cdot \text{м}; Q_1 = 1,4\text{Н}; Q_2 = -143,5\text{Н}; Q_3 = -55,0\text{Н}; \\ Q_4 = 68,3\text{Н}; Q_5 = 45,0\text{Н}; Q_6 = 73,5\text{Н}; Q_7 = 24,2\text{Н}; Q_8 = -119,8\text{Н}; \\ Q_9 = -118,9\text{Н}; Q_9 = -105,3\text{Н}. \end{aligned}$$

Конструктивна рамна система розкидача органічних добрив РТД-14 має особливість зміни і значних перепадів жорсткостей. Проведення коректного і раціонального аналізу напружено-деформованого стану такої несучої системи можливе лише при використанні модифікованого методу мінімуму потенціальної енергії деформації. Внаслідок моделювання отримано рекомендації для раціонального за навантаженістю конструювання складових вузлів і рами з підвищенням надійності при одночасному зниженні матеріаломісткості.

Список використаної літератури

1. Аналітичні залежності напружено-деформованого стану одновісних рамних конструкцій сільськогосподарських машин [Текст] / Т.І. Рибак, С.П. Сікорський, І.В. Коваль, С.Г. Целюк // Вісник ХНТУСГ , Вип. 112. Харків, 2011. — С.45-50.
2. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин: підручник-посібник [Текст] / Т.І. Рибак. – Тернопіль: Збруч, 2003. – 332с.
3. Руководящий технический материал. Рамы сварные сельскохозяйственных машин. РТМ 23.2.75.-82. Конструкторско-технологическое проектирование.

Аннотація

ДЕФОРМИРОВАННО-НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ РАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ ТВЕРДЫХ УДОБРЕНИЙ РТД-14

П. Попович, С. Сикорский

Составлена модель напряженно-деформированного состояния пространственно нагруженной рамной металлоконструкции модифицированным методом минимума потенциальной энергии деформации с применением функции Хевисайда.

Abstract

DEFORMED TENSION OF FRAME STRUCTURE OF MANURE SPREADER

P. Popovich, S. Sikorskyi

Model of stress strain behaviour of space-loaded frame structure is analysed using the modified method based on the principle of minimum potential energy of deformation with the help of the function of Heaviside.