

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ СИСТЕМ ВАЖКОНАВАНТАЖЕНИХ МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

П. Попович, к.т.н., С. Сікорський, А. Бабій, к.т.н., Р. Халілов
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

Складено модель напружено-деформованого стану просторово навантаженої рамної металоконструкції модифікованим методом мінімуму потенціальної енергії деформації конструктивних структур із застосуванням функції Хевісайда

Рамні конструкції розкидачів органічних добрив відносяться до III класу зварних рам у сільськогосподарському машинобудуванні. Вказані металоконструкції характеризуються значними зовнішніми навантаженнями, виникаючими внаслідок руху в складних умовах на значних швидкостях виконання технологічного процесу при роботі в агресивних середовищах. До проектування несучих рам машин даного класу висуваються підвищені вимоги до жорсткості, яка забезпечується конфігурацією та геометрією поперечних перетинів [3]. Створення раціональних металоконструкцій машин 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 складає основу даної роботи.

Метою даної роботи є розкриття статичної невизначеності рами модифікованим методом, основаним на принципі мінімуму потенціальної енергії деформації, для оцінки характеру напружено-деформованого стану елементів конструкції і знаходження шляхів пошуку оптимальних параметрів їх геометрії і матеріаломісткості за повним напруженим станом.

В роботі розглянуто плоску просторово-навантажену рамну конструкцію розкидача твердих органічних добрив РТД-14. Рама є зварною несучою конструкцією, що складається з чотирьох повздовжніх лонжеронів, з'єднаних між собою передньою балкою і поперечинами.

При моделюванні завантаженості рами РТД-14, домінуючими є зусилля від нерівномірно-розподіленого навантаження транспортованої маси добрив $q(t)$ та розкидаючого пристрою P_r . З'єднання осей ходових коліс машини з лонжеронами рами вважається шарнірним, тобто в місцях контакту діють

тільки реакції R_1, R'_1 та R_2, R'_2 . На причепі машини з трактором, згідно прийнятих припущень, діють лише вертикальні реакції R_0, R'_0 .

У зв'язку з тим, що зовнішні навантаження направлені перпендикулярно до площини рами і діють асиметрично відносно її осі симетрії ZOY , згинальні моменти і поперечні сили у горизонтальній площині і нормальні сили рівні нулю. У кожному поперечному перетині балки залишаються три невідомі: загальний крутний момент K_i ($i = 1, \dots, 9$), згинальний момент M_i ($i = 1, \dots, 9$) у площині, перпендикулярній до рами, у цій же площині діє поперечна сила Q_i ($i = 1 \dots 9$). Після очевидних допущень і узагальнень, отримуємо 27 разів статично невизначену систему.

Кожна з двох частин рами розбита на ділянки, за якими проводиться інтегрування. У випадку дії на балку зосередженого зусилля в деякій точці, розбивати цей елемент на два недоцільно. Використовуючи одиничну функцію Хевісайда $H(x)$ можна записати вираз потенціальної енергії деформації всієї балки однією формулою. Так, якщо координата s не досягає певного, вказаного значення, то $H(x) = 0$, дія вказаної сили не враховується, і навпаки.

$$H(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0, \\ 1, & x > 0. \end{cases} \quad (1)$$

Загальний вираз функції потенціальної енергії деформації рами згідно розрахункової схеми (рис. 1) записується як сума потенціальної енергії деформації двох її частин [1]

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

де $U_I = U_{IM} + U_{IK}$ – потенціальна енергія частини I при згинанні і крученні;

$U_{II} = U_{IIM} + U_{IIK}$ – потенціальна енергія частини II для тих же умов.

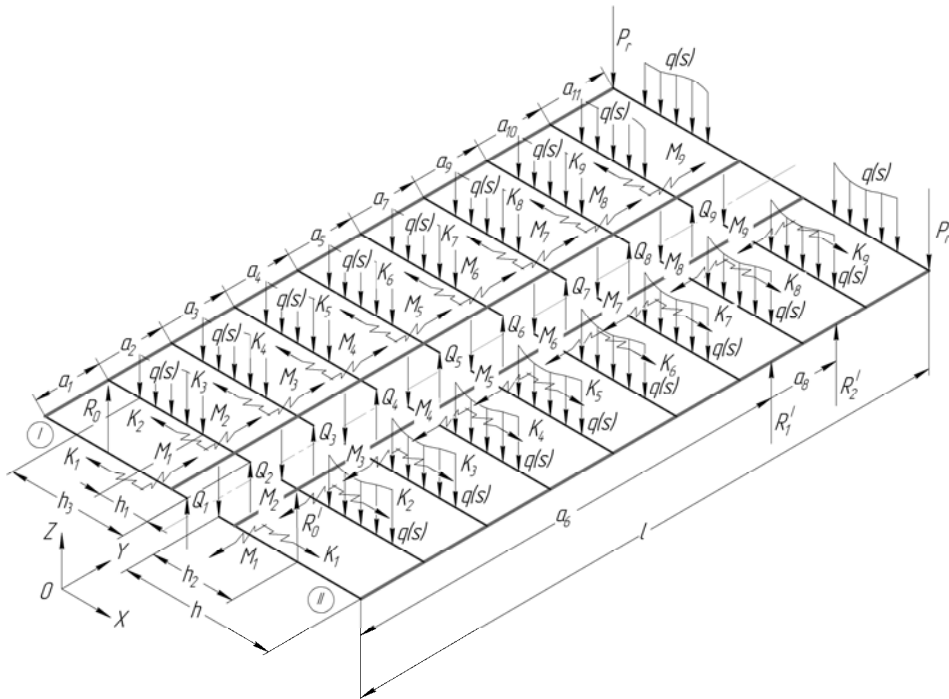


Рис. 1. Розрахункова модель просторово-навантаженої рами розкидача органічних добрив РТД-14

$$\begin{aligned}
U_{IM} = & \frac{1}{EI_1} \left[\int_0^l (K_1 - Q_1s - R_0s + (K_2 - Q_2s + q(s))H(s - a_1) + (K_3 - Q_3s + q(s))H(s - a_2) + \right. \\
& + (K_4 - Q_4s + q(s))H(s - a_3) + (K_5 - Q_5s + q(s))H(s - a_4) + (K_6 - Q_6s + q(s))H(s - a_5) + \\
& - R_1sH(s - a_6) + (K_7 - Q_7s + q(s))H(s - a_7) - R_2sH(s - a_8) + (K_8 - Q_8s + q(s))H(s - a_9) + \\
& + (K_9 - Q_9s + q(s))H(s - a_{10}))^2 ds \Big] + \frac{1}{2EI_2} \left[\int_0^h (M_1 - Q_1s - R_0sH(s - h_2))^2 ds + \int_0^h (M_2 - Q_2s + \right. \\
& + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_3 - Q_3s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_4 - \\
& - Q_4s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_5 - Q_5s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \\
& + \int_0^h (M_6 - Q_6s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_7 - Q_7s + \\
& + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_8 - Q_8s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_9 + \\
& - Q_9s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds \Big].
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
U_{IK} = & \frac{1}{2GI_{k1}} \left[\int_0^l (M_1 - Q_1h - R_0(h - h_2) + (M_2 - Q_2h + q(s)h_4)H(s - a_1) + (M_3 - \right. \\
& - Q_3h + q(s)h_4)H(s - a_2) + (M_4 - Q_4h + q(s)h_4)H(s - a_3) + (M_5 - Q_5h + \\
& + q(s)h_4)H(s - a_4) + (M_6 - Q_6h + q(s)h_4)H(s - a_5) + (M_7 - Q_7h + \\
& + q(s)h_4)H(s - a_7) + (M_8 - Q_8h + q(s)h_4)H(s - a_9)) + (M_9 - Q_9h + \\
& + q(s)h_4)H(s - a_{10}))^2 ds + \int_0^l (M_1 - R_0h_2 + (M_2 + q(s)h_5)H(s - a_1) + (M_3 + \\
& + q(s)h_5)H(s - a_2) + (M_4 + q(s)h_5)H(s - a_3) + (M_5 + q(s)h_5)H(s - a_4) + \\
& + (M_6 + q(s)h_5)H(s - a_5))^2 ds + (M_7 + q(s)h_5)H(s - a_7) + (M_8 + \\
& + q(s)h_5)H(s - a_9))^2 ds + (M_9 + q(s)h_5)H(s - a_{10}))^2 ds \Big] + \\
& + \frac{1}{2GI_{k2}} \int_0^h K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 + K_4^2 + K_5^2 + K_5^2 + K_7^2 + K_8^2 + K_9^2 ds.
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
U_{IMM} = & \frac{1}{EI_1} \left[\int_0^l (Q_1s - K_1 - R_0s + (Q_2s - K_2 + q(s))H(s - a_1) + (Q_3s - K_3 + q(s))H(s - a_2) + \right. \\
& + (Q_4s - K_4 + q(s))H(s - a_3) + (Q_5s - K_5 + q(s))H(s - a_4) + (Q_6s - K_6 + q(s))H(s - a_5) + \\
& - R_1sH(s - a_6) + (Q_7s - K_7 + q(s))H(s - a_7) - R_2sH(s - a_8) + (Q_8s - K_8 + q(s))H(s - a_9) + \\
& + (Q_9s - K_9 + q(s))H(s - a_{10}))^2 ds \Big] + \frac{1}{2EI_2} \left[\int_0^h (M_1 + Q_1s - R_0sH(s - h_2))^2 ds + \int_0^h (M_2 + Q_2s + \right. \\
& + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_3 + Q_3s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_4 + \\
& + Q_4s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_5 + Q_5s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \\
& + \int_0^h (M_6 + Q_6s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_7 + Q_7s + \\
& + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_8 + Q_8s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds + \int_0^h (M_9 + \\
& + Q_9s + q(s)(H(s - h_1) - H(s - h_3)))^2 ds \Big].
\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
U_{IIK} = & \frac{1}{2GI_{k1}} \left[\int_0^l (M_1 - Q_1 h - R_0 (h - h_2) + (M_2 - Q_2 h + q(s)h_4)H(s - a_1) + (M_3 - \right. \\
& - Q_3 h + q(s)h_4)H(s - a_2) + (M_4 - Q_4 h + q(s)h_4)H(s - a_3) + (M_5 - Q_5 h + \\
& + q(s)h_4)H(s - a_4) + (M_6 - Q_6 h + q(s)h_4)H(s - a_5)) + (M_7 - Q_7 h + \\
& + q(s)h_4)H(s - a_7) + (M_8 - Q_8 h + q(s)h_4)H(s - a_9)) + (M_9 - Q_9 h + \\
& + q(s)h_4)H(s - a_{10}))^2 ds + \int_0^l (M_1 - R_0 h_2 + (M_2 + q(s)h_5)H(s - a_1) + (M_3 + \\
& + q(s)h_5)H(s - a_2) + (M_4 + q(s)h_5)H(s - a_3) + (M_5 + q(s)h_5)H(s - a_4) + \\
& + (M_6 + q(s)h_5)H(s - a_5))^2 ds + (M_7 + q(s)h_5)H(s - a_7) + (M_8 + \\
& + q(s)h_5)H(s - a_9))^2 ds + (M_9 + q(s)h_5)H(s - a_{10})^2 ds] + \\
& + \frac{1}{2GI_{k2}} \int_0^h K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 + K_4^2 + K_5^2 + K_5^2 + K_7^2 + K_8^2 + K_9^2 ds.
\end{aligned} \tag{6}$$

Для розкриття статичної невизначеності рами, на підставі правила Лейбніца про диференціювання підінтегральних функцій потенціальної енергії деформації за невідомими параметрами, інтегруємо і на підставі теореми про найменшу роботу прирівнюємо до нуля кожен із похідних від потенціальної енергії деформації. Таким чином складаємо систему лінійних канонічних рівнянь, кількість яких співпадає з кількістю статично невизначених зусиль, після перетворень та обчислень якої отримуємо значення шуканих невідомих параметрів [2].

$$\frac{\partial U}{\partial M_i} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial K_i} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial Q_i} = 0 \tag{7}$$

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 використаних джерел

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 [Текст].

Аннотация

Исследование напряженно-деформированного состояния несущих систем тяжело нагруженных мобильных сельскохозяйственных машин

П. Попович, С. Сикорский, А. Бабий, Р. Халилов

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

Abstract

Investigation of stress strain behaviour of load-carrying system of heavy loaded mobile agricultural machinery

P. Popovich, S. Sikorskyi, A. Babiy, R. Halilov

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