



Vol. 1 No. 2 (2023)

Available since: 2023

Published: 2 times a year

Founders: State University of Economics and Technology

ISSN: 3041-1246

E-mail: [ete@duet.edu.ua](mailto:ete@duet.edu.ua) Journal homepage: <https://ete.org.ua>

JEL: L640


DOI: 10.62911/ete.2023.01.02.12


## Research of stacker stability under varying conditions of its work

Citation:

Zaselskyi, V., Shved, S., Popolov, D., Zaitsev, H., & Zelova, K. (2023). Research of stacker stability under varying conditions of its work. Scientific and practical journal "Economics and technical engineering", 1(2), 153–163. <https://doi.org/10.62911/ete.2023.01.02.12>

Volodymyr Zaselskyi  
*Prof, DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine*  
e-mail: [zaselskyi\\_vv@duet.edu.ua](mailto:zaselskyi_vv@duet.edu.ua)  
 ORCID iD: 0000-0002-7517-5433

Serhii Shved  
*Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine*  
e-mail: [shved\\_sv@duet.edu.ua](mailto:shved_sv@duet.edu.ua)  
 ORCID iD: 0000-0003-2169-8893

Dmytro Popolov  
*Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine*  
e-mail: [popolov@duet.edu.ua](mailto:popolov@duet.edu.ua)  
 ORCID iD: 0000-0003-0347-8627

Hennadii Zaitsev  
*PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine*  
e-mail: [zaitsev@duet.edu.ua](mailto:zaitsev@duet.edu.ua)  
 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Katerina Zelova  
*laboratory assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine*  
e-mail: [Zelova84@gmail.com](mailto:Zelova84@gmail.com)  
 ORCID iD: 0000-0002-5727-0621

Received: 10/09/2023

Accepted: 15/11/2023

**Abstract:** This article deals with the research related to the reengineering of stackers, which were developed and manufactured at the end of the twentieth century and are still in operation at a number of enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine. For this study, we chose a modernized stacker type U1 SN-1200, which is still in operation at the iron ore pellets storage area of the pelletizing plant of the Central Mining and Processing Plant of Kryvyi Rih. Its modernization involved the removal of a very bulky, heavy outdated aspiration system, which could significantly affect the rollover stability of its platform and lead to the failure of both its individual components and the stacker as a whole. Therefore, the aim of the research was to conduct studies related to determination of the stacker's margin of safety against overturning depending on its design features that have emerged over the course of its operation and performance for materials whose bulk density does not exceed 1,9 t/m<sup>3</sup>. To achieve this goal, we used calculation and analytical methods in the MathCAD environment. The main source materials for calculations and research were archival drawings of the stacker and its technical passport. The research found that even with its nine-ton aspiration unit removed, the unit, which is significantly offset from the center of gravity of the entire structure, the safety margin of the stacker to overturning, depending on the capacity, is in the range of 1,6-1,9. Installation of an additional 9 t load instead of the aspiration unit, increases the safety margin of the stacker to 2,2, and without it to 1,8 at maximum stacker productivity of 1200 t/h.

**Keywords:** reengineering, safety margin, stacker, bulk material, bulk density, productivity, aspiration unit, tipping over.




JEL: L640

### Research of stacker stability under varying conditions of its work

Volodymyr Zaselskyi

Prof, DSc, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: [zaselskyi\\_vy@duet.edu.ua](mailto:zaselskyi_vy@duet.edu.ua)

 ORCID iD: 0000-0002-7517-5433

Serhii Shved

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: [shved\\_sv@duet.edu.ua](mailto:shved_sv@duet.edu.ua)

 ORCID iD: 0000-0003-2169-8893

Dmytro Popolov

Assoc. Prof, PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: [popolov@duet.edu.ua](mailto:popolov@duet.edu.ua)

 ORCID iD: 0000-0003-0347-8627

Hennadii Zaitsev

PhD, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine


e-mail: [zaitsev@duet.edu.ua](mailto:zaitsev@duet.edu.ua)

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Katerina Zelova

laboratory assistant, State University of Economics and Technology, Kryvyi Rih, Ukraine

e-mail: [Zelova84@gmail.com](mailto:Zelova84@gmail.com)

 ORCID iD: 0000-0002-5727-0621

**Abstract:** This article deals with the research related to the reengineering of stackers, which were developed and manufactured at the end of the twentieth century and are still in operation at a number of enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine. For this study, we chose a modernized stacker type U1 SN-1200, which is still in operation at the iron ore pellets storage area of the pelletizing plant of the Central Mining and Processing Plant of Kryvyi Rih. Its modernization involved the removal of a very bulky, heavy outdated aspiration system, which could significantly affect the rollover stability of its platform and lead to the failure of both its individual components and the stacker as a whole. Therefore, the aim of the research was to conduct studies related to determination of the stacker's margin of safety against overturning depending on its design features that have emerged over the course of its operation and performance for materials whose bulk density does not exceed  $1,9 \text{ t/m}^3$ . To achieve this goal, we used calculation and analytical methods in the MathCAD environment. The main source materials for calculations and research were archival drawings of the stacker and its technical passport. The research found that even with its nine-ton aspiration unit removed, the unit, which is significantly offset from the center of gravity of the entire structure, the safety margin of the stacker to overturning, depending on the capacity, is in the range of 1,6-1,9. Installation of an additional 9 t load instead of the aspiration unit, increases the safety margin of the stacker to 2,2, and without it to 1,8 at maximum stacker productivity of 1200 t/h.


**Keywords:** reengineering; safety margin; stacker; bulk material; bulk density; productivity; aspiration unit; tipping over.

## Дослідження стійкості штабелеукладача при різних умовах його роботи

Володимир Засельський

д.т.н., професор, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: [zaselskyi\\_vy@duet.edu.ua](mailto:zaselskyi_vy@duet.edu.ua)

 ORCID iD: 0000-0002-7517-5433

Сергій Швед

к.т.н., доцент, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: [shved\\_sv@duet.edu.ua](mailto:shved_sv@duet.edu.ua)

 ORCID iD: 0000-0003-2169-8893

Дмитро Пополов

к.т.н., доцент, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: [popolov@duet.edu.ua](mailto:popolov@duet.edu.ua)

 ORCID iD: 0000-0003-0347-8627

Геннадій Зайцев

к.т.н., Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна


e-mail: [zaitsev@kneu.dp.ua](mailto:zaitsev@kneu.dp.ua)

 ORCID iD: 0000-0002-7909-9044

Катерина Зелова

Асистент, Державний університет економіки і технологій, Кривий Ріг, Україна

e-mail: [Zelova84@gmail.com](mailto:Zelova84@gmail.com)

 ORCID iD: 0000-0002-5727-0621

**Анотація:** У роботі розглянуто дослідження пов'язане з реінжинірингу штабелеукладачів, які були розроблені та виготовлені у кінці ХХ сторіччя та й досі знаходяться в експлуатації у низці підприємств гірничо-металургійного комплексу України. Для проведення досліджень був обраний модернізований штабелеукладач типу У1 СН-1200, який знаходиться і по теперішній час в експлуатації на ділянці складування залізородних окатків фабрики огрудкування Центрального гірничо-збагачувального комбінату в м. Кривий Ріг. Його модернізація стосувалась видаленню дуже громіздкої, важкої, застарілої аспіраційної системи, що може суттєво впливати на стійкість до перекидання його платформи і привести до виходу з ладу його окремих вузлів та в цілому штабелеукладача. Тому метою роботи було проведення досліджень, пов'язаних з визначенням запасу стійкості штабелеукладача до перекидання в залежності від його конструктивних особливостей, які з'явилися з часом його експлуатації, та продуктивністю для матеріалів, насипна щільність яких не перевищує  $1,9 \text{ т/м}^3$ . Для досягнення поставленої мети використовувались розрахунково-аналітичні методи в середовищі MathCAD. Основними вихідними матеріалами для проведення розрахунків та досліджень були архівні кресленики штабелеукладача та його технічний паспорт. Дослідженням встановлено, що навіть зі знятим його дев'ятитонним аспіраційним блоком, який суттєво зміщений щодо центру ваги всієї конструкції, запас стійкості штабелеукладача до перекидання в залежності від продуктивності знаходиться в межах 1,6-1,9. Встановлення додаткового вантажу масою 9 т, замість аспіраційного блока, збільшує запас стійкості штабелеукладача до 2,2, а без нього до значення 1,8 при максимальній продуктивності штабелеукладача 1200 т/год.

**Ключові слова:** реінжиніринг; запас стійкості; штабелеукладач; сипкий матеріал; насипна щільність; продуктивність; аспіраційний блок; перекидання.

## Вступ (Introduction)

На теперішній час в гірничо-металургійній промисловості країни використовується ще велика кількість обладнання, яке було розроблено та виготовлено підприємствами Радянського Союзу в минулому столітті. Можливості конструкторів при розробці обладнання тоді були вкрай обмеженими існуючими технологіями проектування (Zabolotnyi et al., 2015). Внаслідок чого розрахункова конструкторська документація на таке обладнання застаріла або взагалі відсутня. Тому поновлення технічної документації та її інжиніринг, який включає аналіз, розробку 3-D моделей, розгляд принципів роботи вузлів, механізмів дослідження надійності їх експлуатації в сучасних умовах є актуальним завданням. До таких завдань слід віднести роботи, які направлені на розрахунок і моделювання основних агрегатів та вузлів багатьох штабелеукладачів (Baryshev et al., 2005), (Kazartsev et al., 2015), (Kazartsev et al., 2016), (Tіpikin et al., 2015), (Tіpikin et al., 2016). Однак розрахунків та досліджень надійності експлуатації штабелеукладача типу У1 СН-1200, який до чого часу використовується у низці підприємств гірничо-металургійної галузі не було проведено. Слід відзначити, що за довгі роки експлуатації штабелеукладач згаданого типу притерпів ряд удосконалень, наприклад, знаття застарілої, дуже громіздкої та важкої аспіраційної системи, що спонукає до можливого перекидання його платформи в залежність від умов його роботи, а саме продуктивності і навантажень від сипкого матеріалу. Тому мета роботи полягає в дослідженнях роботи штабелеукладача типу У1 СН-1200 без аспіраційного блока при розвантаженні та укладці залізорудної сировини насипною щільністю  $1,9 \text{ т/м}^3$  при різноманітних значеннях його продуктивності.

## Матеріали та методи (Materials and Methods)

Укладач одностріловий (надалі штабелеукладач) являє собою складену статично визначувану конструкцію, розрахункові схеми якої, наведені на рисунках 1-3 та складається з платформи 1, встановленої на залізничному ходу з колією 6 м і базою 24 м, складеної стріли 2 і 3, шарнірно пов'язаної з платформою 1, яка має виліт у 21,5 м, аспіраційного блока 4 (на рисунках зображений пунктирними лініями).

Платформою вздовж її діаметральної площини протягнуто похилений конвеєр із робочою шириною 1400 мм. Уздовж стріли прокладено конвеєр із робочою шириною 1000 мм. По конвеєрах послідовно транспортується сипкий матеріал із насипною щільністю  $1,9 \text{ т/м}^3$ .

Максимальна продуктивність штабелеукладача при встановленому сипкому продукту становить 1200 т/год ( $600 \text{ м}^3/\text{год}$ ) при швидкості стрічки конвеєра стріли до 2,6 м/с.

Маса платформи 120 т, маса стріли в зборі 25 т. З платформи штабелеукладача був знятий аспіраційний блок масою 9 т. У цьому випадку завданням роботи було дослідження запасу стійкості з перекидання при умові видаленого аспіраційного блока з різною продуктивністю штабелеукладача по сипкому продукту. Початкова конструкція штабелеукладача передбачає його стійкий стан на всіх режимах роботи.

Навантаження від сипкого матеріалу, що подається конвеєром стріли, припадає на основну опору штабелеукладача (рис. 1). Саме тому зміна розподілу маси штабелеукладача внаслідок видалення аспіраційного блока найсуттєвіше впливає на поперечну стійкість відносно ребра перекидання, яким є рейка з боку вильоту стріли (див. рис. 2 та рис. 3).

При цьому нахили стріли у вертикальній площині призводять до зменшення вильоту навантаження відносно ребра перекидання, внаслідок чого поперечна стійкість штабелеукладача під навантаженням при нахилу стріли тільки зростає. Таким чином, положенням штабелеукладача з найменшим запасом стійкості з поперечним перекиданням є таким, яке показано на рис. 3 з горизонтальним розташуванням стріли, і було основною розрахунковою схемою з обчислення запасів стійкості на перекидання штабелеукладача.

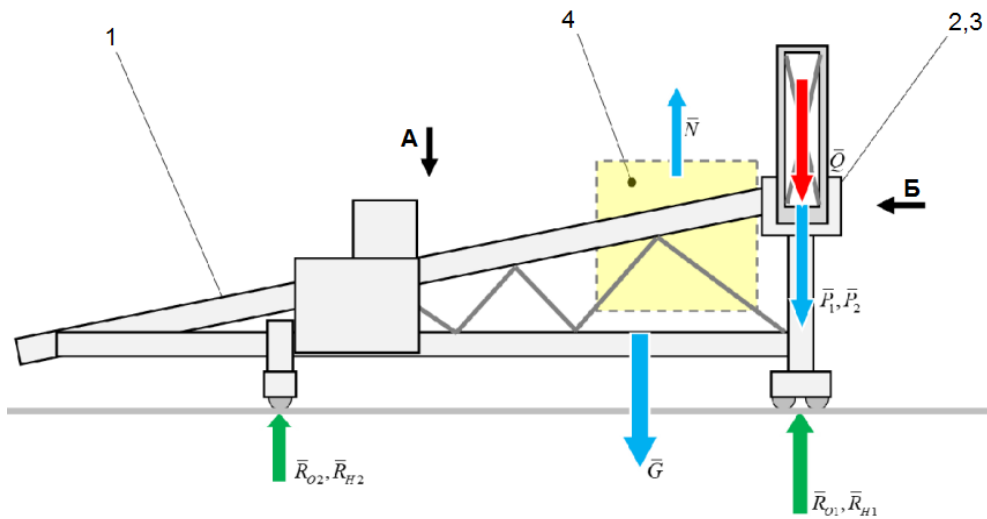


Рисунок 1. Розрахункова схема штабелеукладача на перекидання

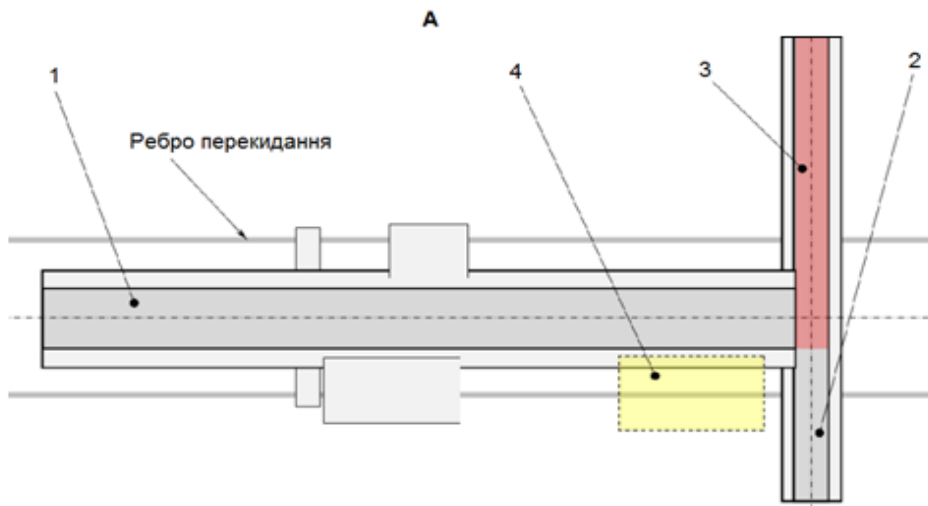


Рисунок 2. Розрахункова схема щодо стійкості штабелеукладача на перекидання в плані

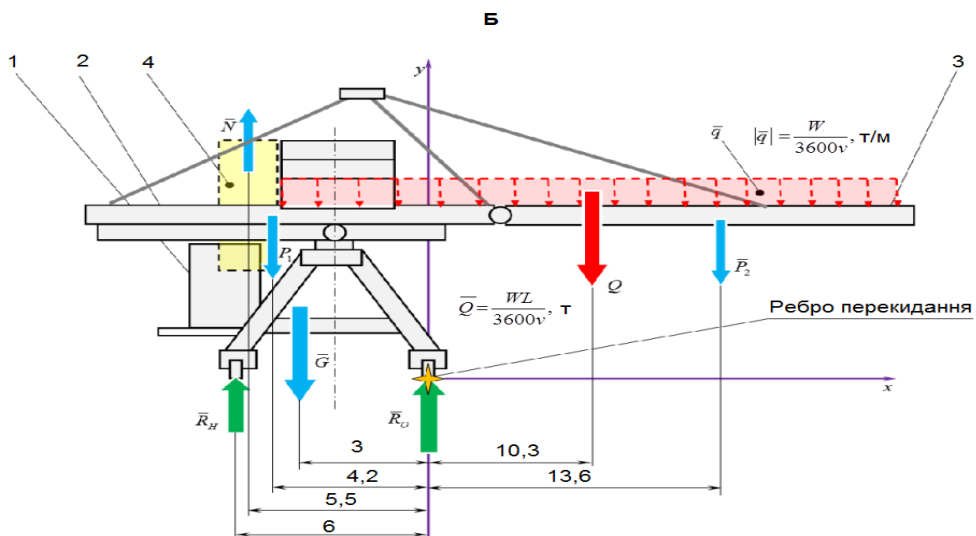


Рисунок 3. Основна розрахункова схема щодо стійкості штабелеукладача на перекидання

Основними вихідними документами для проведення розрахунків є архівні кресленики штабелеукладача, розроблені виробником.

Розрахунок параметрів стійкості при введених початкових умовах, що відповідають реальному стану штабелеукладача, виконано в середовищі MathCAD. Назва параметрів, їх позначення на схемі та значення, що відповідають рис. 3, наведено в табл. 1.

**Таблиця 1.** Назва параметрів, їх позначення на схемі та значення, що відповідають рис. 3

Назва параметра та його одиниці вимірювання	Позначення на схемі	Значення параметра
Максимальна продуктивність штабелеукладача, т/год	$W$	1200
Довжина завантаженої частини стрілового конвеєра, м	$L$	25
Лінійна швидкість стрічки стрілового конвеєра, м/с	$v$	2,6
Критичне значення реакції дальньої рейки при перекиданні, т	$R_H$	0
Критичне значення реакції ближньої рейки, т	$R_0$	120
Загальна маса платформи штабелеукладача вихідного стану, т	$G$	95
Маса блока аспірації, т	$N$	9
Загальна маса стріли з порожнім конвеєром, т	$P$	25
Маса опорної частини стріли, т	$P_1 = 0,6P$	15
Маса консольної частини стріли, т	$P_2 = 0,4P$	10
Результуюча корисного навантаження на конвеєрі стріли та її максимальне значення, т	$Q = \frac{WL}{3600 v}$	3,2

### Результати (Results)

Результуюча розподіленої сили від робочого навантаження залежить від продуктивності штабелеукладача, швидкості конвеєра стріли та довжини завантаженої частини конвеєрної стрічки:

$$Q = \frac{WL}{3600 v}, \quad (1)$$

де  $W$  - продуктивність штабелеукладача (т/год);

$L$  - довжина завантаженої частини конвеєра стріли, м;

$v$  - лінійна швидкість стрічки конвеєра, м/с.

З умови рівноваги моментів сил, прикладених до штабелеукладача, послідовно визначаємо невідому реакцію з боку дальньої рейки, як функцію від корисного навантаження з урахуванням (1) отримаємо:

$$P_1 4,2 - R_H 6 + G 3 - N 5,5 - P_2 13,6 - Q 10,3 = 0.$$

$$P_1 4,2 - R_H 6 + G 3 - N 5,5 - P_2 13,6 - \frac{WL}{3600 v} 10,3 = 0.$$

$$R_H(W) = \frac{1}{6} \left( P_1 4,2 + G 3 - N 5,5 - P_2 13,6 - \frac{WL}{3600 v} 10,3 \right), \quad (2)$$

Запас стійкості штабелеукладача по його перекиданню визначимо як відношення результуючого моменту, що відновлює рівновагу, до результуючого моменту, що перекидає, з урахуванням взаємодії активних силових факторів між собою:

$$n_z(W) = \frac{P_1 4,2 + G_3}{\left| -N_5 5,5 - P_2 13,6 - \frac{WL}{3600 v} 10,3 \right|}, \quad (3)$$

Критичне значення продуктивності штабелеукладача визначиться з критичного значення результуючого його корисного навантаження (4), яке обчислюється з умови граничної рівноваги в обертанні навколо ребра перекидання:

$$P_1 4,2 - 0 \cdot 6 + G_3 - N_5 5,5 - P_2 13,6 - Q_{cr} 10,3 = 0,$$

Звідки

$$Q_{cr} = \frac{1}{10,3} (P_1 4,2 - 0 \cdot 6 + G_3 - N_5 5,5 - P_2 13,6) = 15,8 \text{ т}, \quad (4)$$

Відповідно (1) з урахуванням (4) отримуємо значення критичної продуктивності з міркувань стійкості щодо перекидання штабелеукладача:

$$W_{cr} = \frac{3600 Q_{cr} v}{L} = 5907 \text{ т/год}, \quad (5)$$

Розрахунки показують, що практичний запас стійкості з перекидання штабелеукладача без аспіраційного блока знаходиться в інтервалі від 1,6 до 1,9 при максимальній паспортній продуктивності штабелеукладача, а критичне значення продуктивності штабелеукладача зі знятим аспіраційним блоком з міркувань його стійкості до перекидання становить 5907 т/год, що в більш ніж 4 рази перевищує реально досягну максимальну її величину.

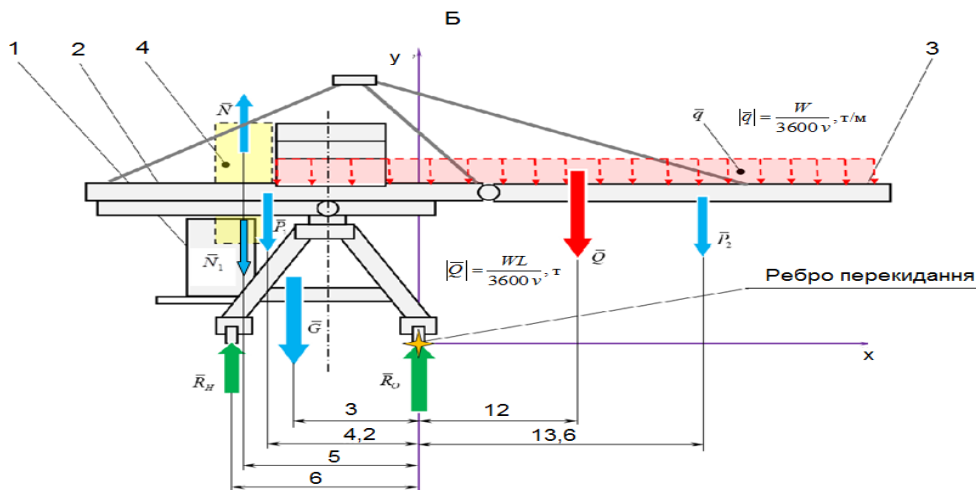
Таким чином, агрегат зі знятим аспіраційним блоком буде стійким до перекидання в усьому діапазоні продуктивності по залізорудній сировині. При цьому передбачені початковим проектом нахили стріли у вертикальній площині, перпендикулярній до рейкової колії, призведуть тільки до деякого незначного збільшення запасу стійкості штабелеукладача. Проте слід зазначити, що розрахунки виконано за відсутності втоми металопродукату та зважаючи на довгі роки його експлуатації, монтажні, зварювальні та інші напруження, що могли накопичитися в результаті проведених ремонтів та модернізацій, тому варто було б розрахувати параметри стійкості штабелеукладача з додатковим балансирним вантажем масою 9 т, який можна встановити на місце аспіраційного блока. При цьому розрахункова схема буде відповідати рис. 4. На наведеній схемі діє додаткова сила від маси балансирного вантажу  $\bar{N}_1$ , яка направлена в вертикальній площині штабелеукладача вниз.

У такому разі з умови рівноваги моментів сил, прикладених до штабелеукладача, послідовно визначаємо невідому реакцію з боку дальньої рейки, як функцію від корисного навантаження з урахуванням (1):

$$P_1 4,2 + N_1 5 - R_{H1} 6 + G_3 - N_5 - P_2 13,6 - Q 12 = 0.$$

$$P_1 4,2 + N_1 5 - R_{H1} 6 + G_3 - N_5 - P_2 13,6 - \frac{WL}{3600 v} 12 = 0.$$

$$R_{H_1}(W) = \frac{1}{6} \left( P_1 4,2 + N_1 5 + G_3 - N_5 - P_2 13,6 - \frac{WL}{3600 v} 12 \right), (6)$$



**Рисунок 4.** Розрахункова схема щодо стійкості штабелеукладача на перекидання з додатковим балансирним вантажем

Запас стійкості штабелеукладача щодо його перекидання, як функція його продуктивності, набуде вигляду:

$$n_z(W, N_1) = \frac{P_1 4,2 + G_3 + N_1 5}{\left| -N_5 - P_2 13,6 - \frac{WL}{3600 v} 12 \right|}, (7)$$

Критичне значення продуктивності штабелеукладача визначиться з критичного значення результуючого його корисного навантаження (6), яке обчислюється за умовою граничної рівноваги в обертанні навколо ребра перекидання:

$$P_1 4,2 + N_1 5 + G_3 - N_5 - P_2 13,6 - Q_{cr1} 12 = 0,$$

Звідки

$$Q_{cr} = \frac{1}{12} (P_1 4,2 + N_1 5 + G_3 - N_5 - P_2 13,6) = 17,7 \text{ т}, (8)$$

Відповідно (1) з урахуванням (8) отримуємо значення критичної продуктивності з міркувань стійкості щодо перекидання штабелеукладача:

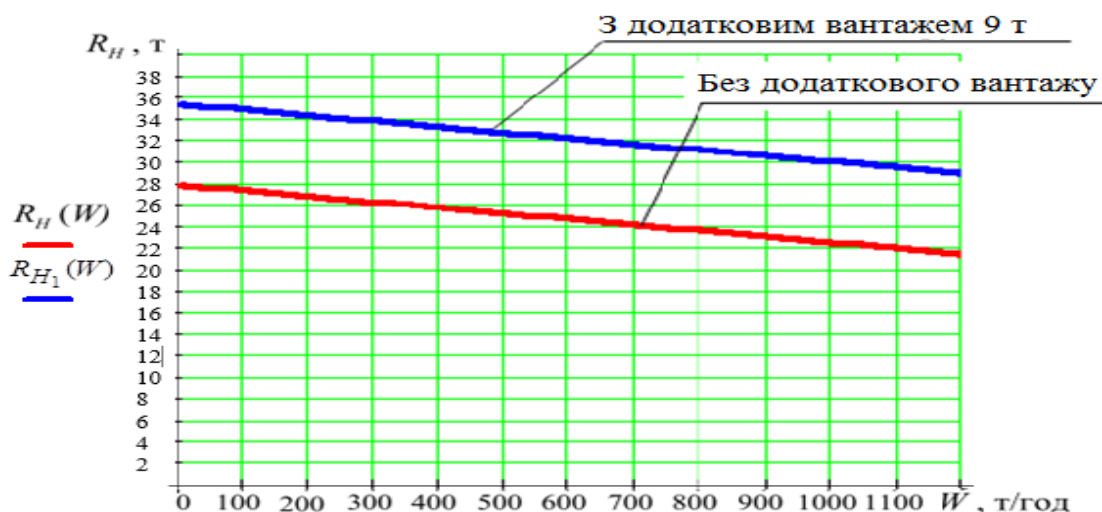
$$W_{cr1} = \frac{3600 Q_{cr1} v}{L} = 6614 \text{ т/год}, (9)$$

Отримане значення більш ніж у 5 разів більше за максимальну паспортну продуктивність штабелеукладача, що свідчить про значний запас його стійкості.

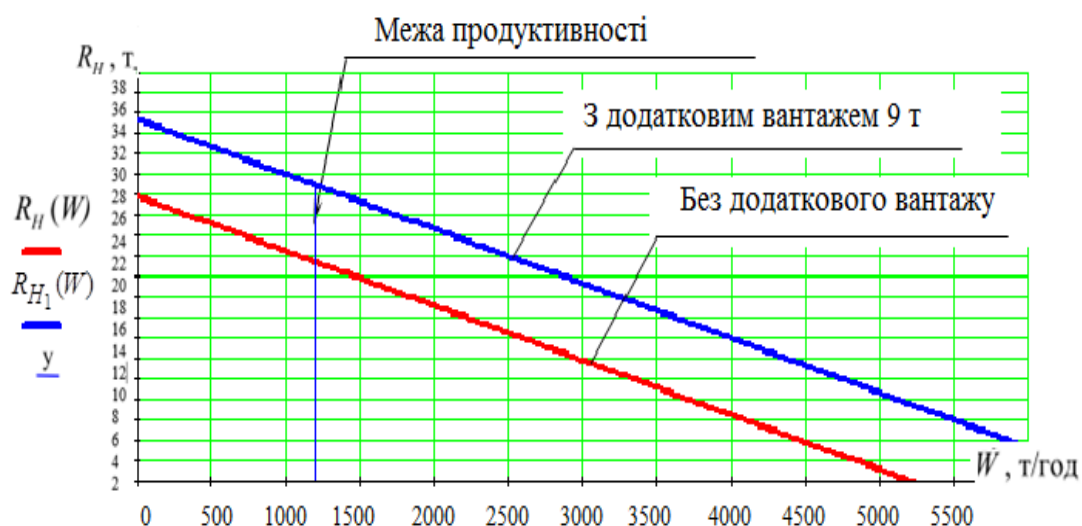
На рис. 5 показано графік залежності результуючої реакції дальньої опори штабелеукладача залежно від його продуктивності в реальному діапазоні її зміни, розраховану за формулою (2), для агрегату з віддаленим блоком аспірації і для випадку, коли використовується додатковий вантаж масою 9 т відповідно до формули (6). А на рис. 6



показано цю саму залежність у діапазоні корисного навантаження від 0 до максимально допустимого з міркувань стійкості штабелеукладача.



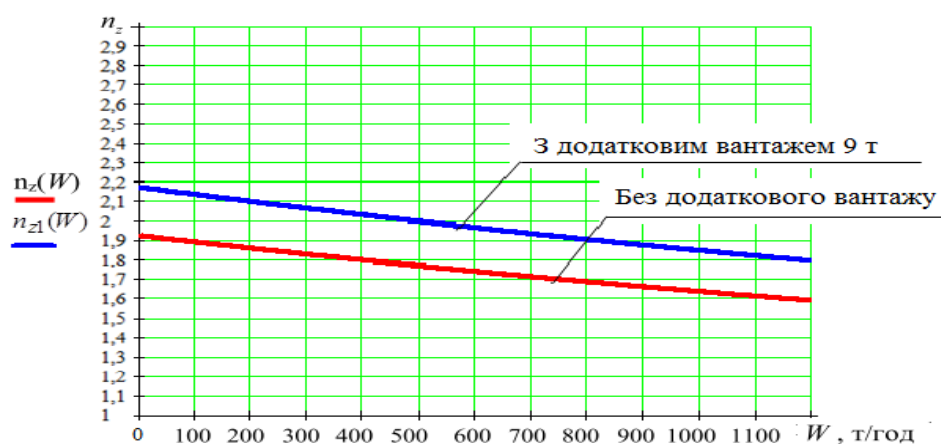
**Рисунок 5.** Графік залежності результуючої реакції дальньої опори штабелеукладача залежно від його продуктивності в реальному діапазоні її зміни без додаткового та з додатковим вантажем масою 9 т



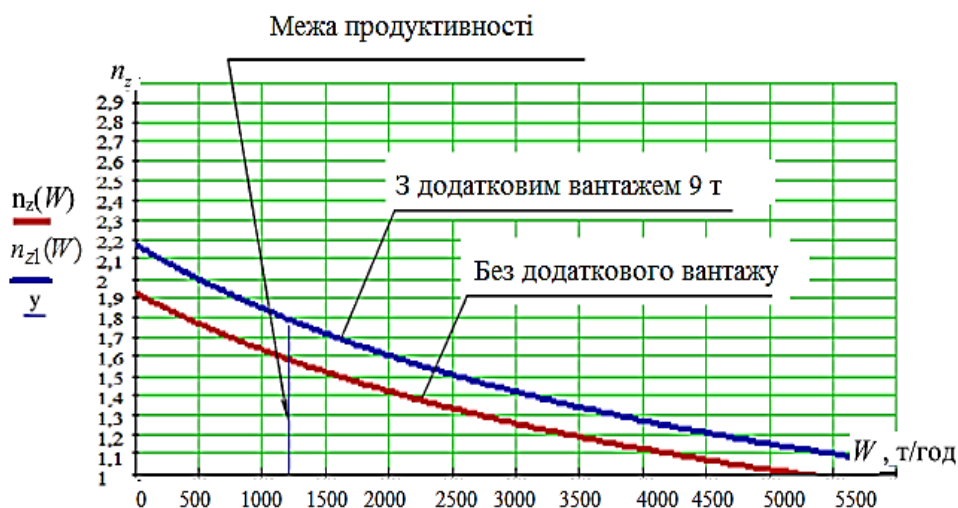
**Рисунок 6.** Графік залежності результуючої реакції дальньої опори від результуючої реакції залежно від продуктивності штабелеукладача в діапазоні корисного навантаження від 0 до критичного  $W_{cr1}$  (9) з умови його стійкості без додаткового та з додатковим вантажем масою 9 т

З цих залежностей видно, що вони мають лійний характер і навантаження на дальній опорі пропорційно знижується з підвищенням продуктивності. На межі максимальної продуктивності, яка дорівнює 1200 т/год загальне навантаження на дальній опорі дорівнює 22 та 29 т, відповідно без додаткового і з додатковим вантажем.

На рис. 7 та рис. 8 наведені графіки залежності запасу стійкості штабелеукладача по перекиданню залежно від його продуктивності, отримані відповідно до (3) за відсутності блока аспірації та за наявності додаткового навантаження масою 9 т відповідно до (9). На рис. 7 прийнято реальний діапазон зміни продуктивності штабелеукладача, а на рис. 8 - діапазон продуктивності, обмежений праворуч критичним значенням продуктивності, отриманий із міркувань стійкості.



**Рисунок 7.** Графік залежності запасу стійкості штабелеукладача по перекиданню залежно від його продуктивності в реальному діапазоні її зміни без додаткового та з додатковим вантажем масою 9 т



**Рисунок 8.** Графік залежності запасу стійкості штабелеукладача по перекиданню залежно від його продуктивності в діапазоні корисного навантаження від 0 до критичного  $W_{cr1}$  (9) з умови його стійкості без додаткового та з додатковим вантажем масою 9 т

Із наведених залежностей видно, що встановлення додаткового вантажу масою 9 т збільшує запас стійкості штабелеукладача з 1,6 до значення 1,8 при максимальній продуктивності штабелеукладача, яке дорівнює 1200 т/год. Зменшення продуктивності до 500 т/год, яка відповідає сучасним технологічним вимогам, дозволяє підвищити запас стійкості в обох випадках не менш чим на 12%.

Але зважаючи на довгі роки експлуатації штабелеукладача, а також монтажних, зварювальних та інших напружень, що могли накопичитися, варто було б у кожному конкретному випадку, крім розрахунків на стійкість, виконувати технічну діагностику втому металопрокату в різних вузлах та механізмах штабелеукладача і у випадку потреби виконати необхідні роботи, спрямовані на їх посилення.

## Висновки (Conclusions)

Виконано частковий реінжиніринг штабелеукладача типу У1 СН-1200, призначеного для укладання штабеля із сипкого матеріалу, насипною щільністю  $1,9 \text{ т/м}^3$  при максимальній його продуктивності 1200 т/год, а також розглянуто алгоритм розрахунку запасу стійкості його з

знятим аспіраційним блоком та встановленим замість нього додаткового вантажу масою 9 т. На основі виконаних розрахунків проаналізовані результати досліджень, якими встановлено, що навіть зі знятим його дев'ятитонним аспіраційним блоком, що суттєво зміщений відносно центру ваги всієї конструкції, запас стійкості штабелеукладача до перекидання, залежно від продуктивності, перебуває в границях 1,6...1,9, у такий спосіб забезпечуючи працездатність конструкції.

Встановлення додаткового вантажу масою 9 тонн збільшує запас стійкості штабелеукладача до 2,2 без навантаження та до значення 1,8 при максимальній продуктивності штабелеукладача 1200 т/год.

### **Конфлікт інтересів (Conflicts of interest)**

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

### **Фінансування (Funding)**

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

### **Внесок авторів (Authors contribution)**

Концептуалізація, адміністрація проєкту, З.В.; концептуалізація, формальний аналіз, П.Д.; методика, програмне забезпечення, Ш.С.; перевірка, візуалізація, З.Г.; аналітичні дані, З.К.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

### **Література (References)**

- Baryshev, O. I., Budyshevskiy, V. A., Skliarov, M. A., Sulyma, A. A., & Tkachuk, O. M. (2005). *Rozrakhunok i proektuvannia transportnykh zasobiv bezperervnoi dii*. Nord-Pres Publishers.
- Kazartsev D. I., & Panchenko O. V. (2015): Obgruntuvannia parametriv mekhanizmu peresuvannia ahrehatu "shtabeukladach" z urakhuvanniam nerivnosti reikovoï kolii. *Molod: nauka ta innovatsii materialy III-yi Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh: Vol. 3.* 6–7.: <https://science.nmu.org.ua/ua/conferences/molod-nauka-ta-innov/pdf-2015/20160328-04.pdf>
- Kazartsev, D. I., & Panchenko, O. V. (Eds.) (2016). Obgruntuvannia parametriv mekhanizmu peresuvannia ahrehatu "shtabeukladach" z urakhuvanniam nerivnosti reikovoï kolii. *NAUKOVA VESNA 2016: materialy VII-yi Vseukrainskoi naukovotekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh.* 37-39. <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/Наукова%20весна%202016.pdf>
- Tipikin O. M., & Zabolotnyi K. S. (2015). Modeliuvannia protsesu ukladannia konveirnoi strichky na rolykoopory shtabeukladacha. *Molod: nauka ta innovatsii 2015: materialy III-yi Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh: Vol. 3,* 29–30. <https://science.nmu.org.ua/ua/conferences/molod-nauka-ta-innov/pdf-2015/20160328-04.pdf>
- Tipikin, O. M., & Zabolotnyi, K. S. (Eds.). (2016). Obgruntuvannia parametriv perekhidnoi dilianky skladskoho konveiera shtabeukladacha. *NAUKOVA VESNA 2016: materialy VII-yi Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh.* 40-41. <https://rmv.nmu.org.ua/ua/arkhiv-zbirok-konferentsiy/Наукова%20весна%202016.pdf>
- Zabolotnyi, K. S., Sirchenko, A. A., & Tipikin, O. M. (2015). Reinzhyrnyh konstruktorskoi dokumentatsii na ahrehat shtabeukladach. *NAUKOVA VESNA 2015: materialy VI-yi Vseukrainskoi naukovotekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh: Vol. 3,* 30–31. [https://science.nmu.org.ua/ua/conferences/science\\_spring/06\\_pdf/3.pdf](https://science.nmu.org.ua/ua/conferences/science_spring/06_pdf/3.pdf)