

Євтушенко В.Д.,
Войтюк В.Д.
Національний університет
біоресурсів і
природокористування
України, м. Київ, Україна
E-mail: yevtush@ukr.net

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
ВИВАНТАЖЕННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ
З КУЗОВА АВТОТРАНСПОРТНОГО
ЗАСОБУ

[https://doi. 10.5281/zenodo.15427811](https://doi.org/10.5281/zenodo.15427811)

УДК 629.3.016:629.3.018.7

Євтушенко В.Д., Войтюк В.Д. Імітаційне моделювання вивантаження коренеплодів з кузова автотранспортного засобу.

Анотація. Розкрито особливості методичного обґрунтування імітаційного моделювання вивантаження коренеплодів з кузова автотранспортного засобу. Розроблена модель дозволяє врахувати велику кількість параметрів коренеклубнеплодів, кузова транспортного засобу, еластичних трубок, параметрів процесу вивантаження, а також розрахувати основні показники ефективності вивантаження коренеклубнеплодів. Раціональний просвіт між еластичними перегородками та дном кузова транспортного засобу становить 2 см, а коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин становить 0,9 кН/м². При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування коренеклубнеплодів складе менше 1,50 м, частка пошкоджених коренеклубнеплодів складе менше 4,0%.

Ключові слова: автомобіль, кузов, експлуатація, коренеплід.

Yevtushenko V.D., Voytyuk V.D. Simulation modeling of root crop unloading from body of vehicle.

Abstract. The article describes the features of methodological justification of simulation modeling of unloading of root crops from the body of the vehicle. The developed model allows you to consider the large number of parameters of roots, body body, elastic tubes, unloading parameters, as well as calculate the main indicators of the efficiency of unloading of roots. The rational lumen between the elastic septum and the bottom of the body of the vehicle is 2 cm, and the rigidity of the elastic tubes for bending is 0.9 kN/m². The unloading time will be less than 11.5 C, the rolling distance of the roots will be less than 1.50 m, the proportion of damaged roots will be less than 4.0%.

Key words: vehicle, body, operation, root.

Постановка проблеми

Збирання картоплі є важливою операцією технології вирощування. Розрізняють кілька збиральних технологій: збирання картоплі копачем, роздільне, комбіноване і потокове (рисунки 1, 2, 3). При збиранні картоплекопувачем бульби, частково відокремлені від ґрунту та рослинних залишків, укладаються на поверхню прибраних грядок. Недоліками роботи копачів є звантажування бульбоносного пласта при підкопуванні, недостатня сепарація та втрати бульб присипаних ґрунтом, пошкодження бульб при підборі.

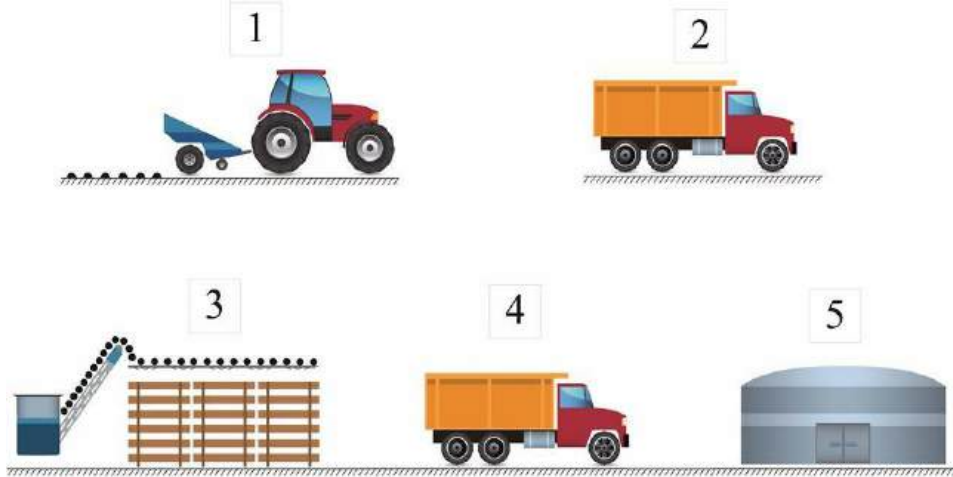


Рис. 1. Схема збирального процесу картоплі з використанням картоплекопувача:
1 – картоплекопувач; 2 – завантажений автомобіль; 3 – сортувальний пункт; 4 –
завантажений автомобіль; 5 – сховище.

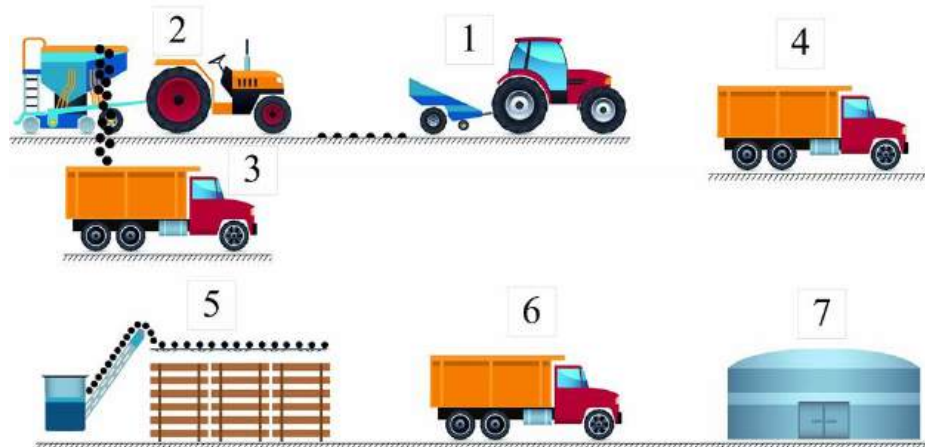


Рис. 2. Схема збирального процесу картоплі двофазним способом:
1 – картоплекопувач; 2 – комбайн підбирач; 3 – супроводжуючий автомобіль;
4 – завантажений автомобіль; 5 – сортувальний пункт; 6 – завантажений автомобіль; 7 –
сховище.

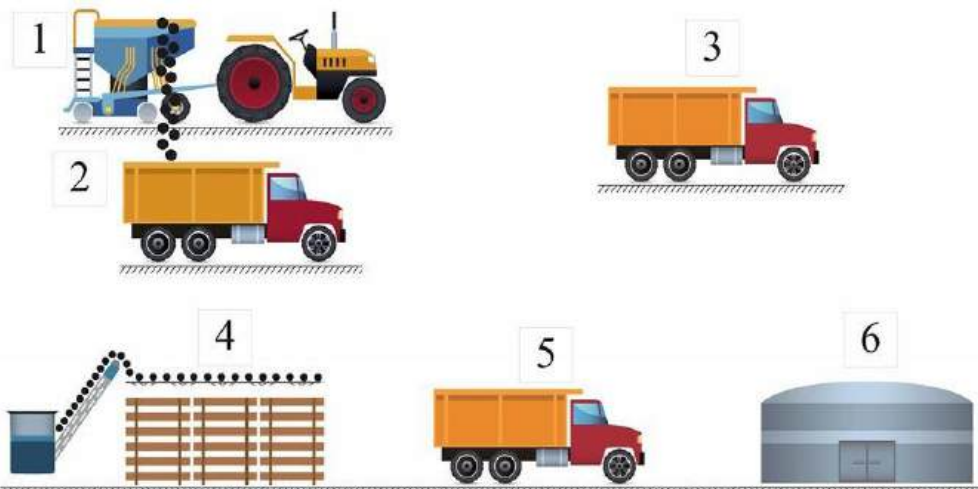


Рис. 3. Схема збирання картоплі прямим комбайнуванням (потокова технологія): 1 –
картоплезбиральний комбайн; 2 – супроводжуючий автомобіль; 3 – завантажений
автомобіль; 4 – сортувальний пункт; 5 – завантажений автомобіль; 6 – сховище.

Двофазний спосіб збирання передбачає утворення валка бульб за допомогою картоплекопувача-валкоукладача з наступним підбором комбайном через деякий час. Цей спосіб може бути реалізований за тривалого періоду збирання в м'якому кліматі (Європейські країни). Особливістю комбінованого способу (різновид двофазного способу) є прибирання комбайном чотирьох або шести рядків одночасно, які попередньо прибрані картоплекопувачем-валкоукладачем і укладені в міжряддя сусідніх грядок. Прибирання валка комбайном дозволяє збільшити співвідношення бульб до ґрунту, що підвищує чистоту бульб у бункері та знижує їх пошкодження. Крім того, як і в роздільному способі, бульби валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів Особливістю комбінованого способу (різновид двофазного способу) є прибирання комбайном чотирьох або шести рядків одночасно, які попередньо прибрані картоплекопувачем-валкоукладачем і укладені в міжряддя сусідніх грядок. Прибирання валка комбайном дозволяє збільшити співвідношення бульб до ґрунту, що підвищує чистоту бульб у бункері та знижує їх пошкодження. Крім того, як і в роздільному способі, бульби валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів Особливістю комбінованого способу (різновид двофазного способу) є прибирання комбайном чотирьох або шести рядків одночасно, які попередньо прибрані картоплекопувачем-валкоукладачем і укладені в міжряддя сусідніх грядок. Прибирання валка комбайном дозволяє збільшити співвідношення бульб до ґрунту, що підвищує чистоту бульб у бункері та знижує їх пошкодження. Крім того, як і в роздільному способі, бульби валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів Крім того, як і в роздільному способі, бульби валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів Крім того, як і в роздільному способі, бульби валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів є збільшення періоду прибирання та необхідність використання вузькоспеціалізованих машин здатних виконувати лише одну операцію. Поточний спосіб передбачає комбайнове прибирання і є найменш праце- та енерговитратним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасні технології збирання картоплі вимагають застосування високопродуктивних транспортних засобів, тому підприємства найчастіше використовують універсальні самоскиди [1]. Також перевагу отримують ефективніші транспортні засоби підвищеної місткості [2].

Поточний спосіб збирання картоплі передбачає застосування автомашин-самоскидів, автомашин з напівпричепами, тракторних самоскидних причепів, напівпричепів. Основними вимогами до транспортних засобів для картоплі при збиранні є збільшення продуктивності за рахунок збільшення місткості, зниження простоїв при розвантаженні та мінімізація пошкоджень бульб [3].

Розвантаження самоскидних транспортних засобів великої місткості супроводжується підняттям кузова, при цьому слід враховувати висоту сховищ або навісів, а також пошкоджень бульб картоплі при розвантаженні [4].

Для підвищення прохідності та зниження тиску на ґрунт знижують тиск у шинах машин та причепів. З цією метою у ходових системах транспортних засобів використовують широкопрофільні шини [5].

У США для перевезення картоплі застосовують спеціальні транспортні засоби, обладнані конічними бункерами з рухомим дном та з вивантажним транспортером [6].

Причому дуже часто застосовують різного типу гасителі падіння, зокрема, покривають дно прогумованим полотном (фірми Dalman, Lockwood) [7] або встановлюють спеціальні гасники [8].

В Україні її для перевезення картоплі застосовують самоскиди і тракторні причеми. Вивантаження картоплі здійснюють перекиданням кузова через задній борт через особливості приймальних бункерів картоплесортувальних пунктів, що викликає додаткові механічні пошкодження бульб, особливо при використанні універсальних самоскидних транспортних [9].

Формулювання мети досліджень

Метою дослідження є методичне обґрунтування імітаційного моделювання вивантаження коренеплодів з кузова автотранспортного засобу.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Розроблена модель дозволяє врахувати велику кількість параметрів коренеклубнеплодів, кузова транспортного засобу, еластичних трубок, параметрів процесу вивантаження, а також розрахувати основні показники ефективності вивантаження коренеклубнеплодів.

Змінні, що стосуються розробленої моделі, можна поділити на три групи: дві групи вхідних змінних та одну групу показників ефективності.

До першої групи вхідних змінних відносяться конструктивні та технологічні параметри пристрою:

φ_m - максимальний кут нахилу кузова транспортного засобу;

t_n – час нахилу кузова транспортного засобу із постійною кутовою швидкістю на максимальний кут φ_m ;

σ_a – коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин;

n_{pr} - кількість еластичних перегородок у кузові транспортного засобу.

Друга група змінних визначає властивості системи:

коренеклубнеплодів:

h_z – висота завантаження кузова транспортного засобу;

$d_{до}$ - діаметр коренеклубнеплодів (у варіанті моделі з коренеклубнеплодами одного і того ж діаметру);

k_v - коефіцієнт в'язкого тертя між коренеклубнеплодами, що дозволяє не явно задавати рівні забруднення і липкості коренеклубнеплодів.

До показників ефективності пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів відносяться:

t_v - час повного вивантаження коренеклубнеплодів;

L_p - середня відстань розкочування коренеклубнеплодів;

$n_{п}$ – частка пошкоджених коренеклубнеплодів.

Подальше теоретичне дослідження полягає у варіюванні параметрів моделі та вивченні відгуку показників ефективності пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів.

Результати досліджень

Вплив максимального кута нахилу кузова транспортного засобу. Зі збільшенням

граничного кута нахилу кузова транспортного засобу φ_m істотно збільшується інтенсивність вивантаження, що сприятливо впливає швидкість вивантаження, але несприятливо впливає на ушкоджуваність коренеклубнеплодів та їх розкочування. Для дослідження впливу кута на ефективність процесу вивантаження провели п'ять комп'ютерних експериментів зі зміною від 15° до 35° з кроком 5° (рис. 4, рис. 5). Для порівняння комп'ютерні експерименти провели як для кузова транспортного засобу, оснащеного двома еластичними перегородками, так стандартного кузова транспортного засобу без еластичних перегородок.

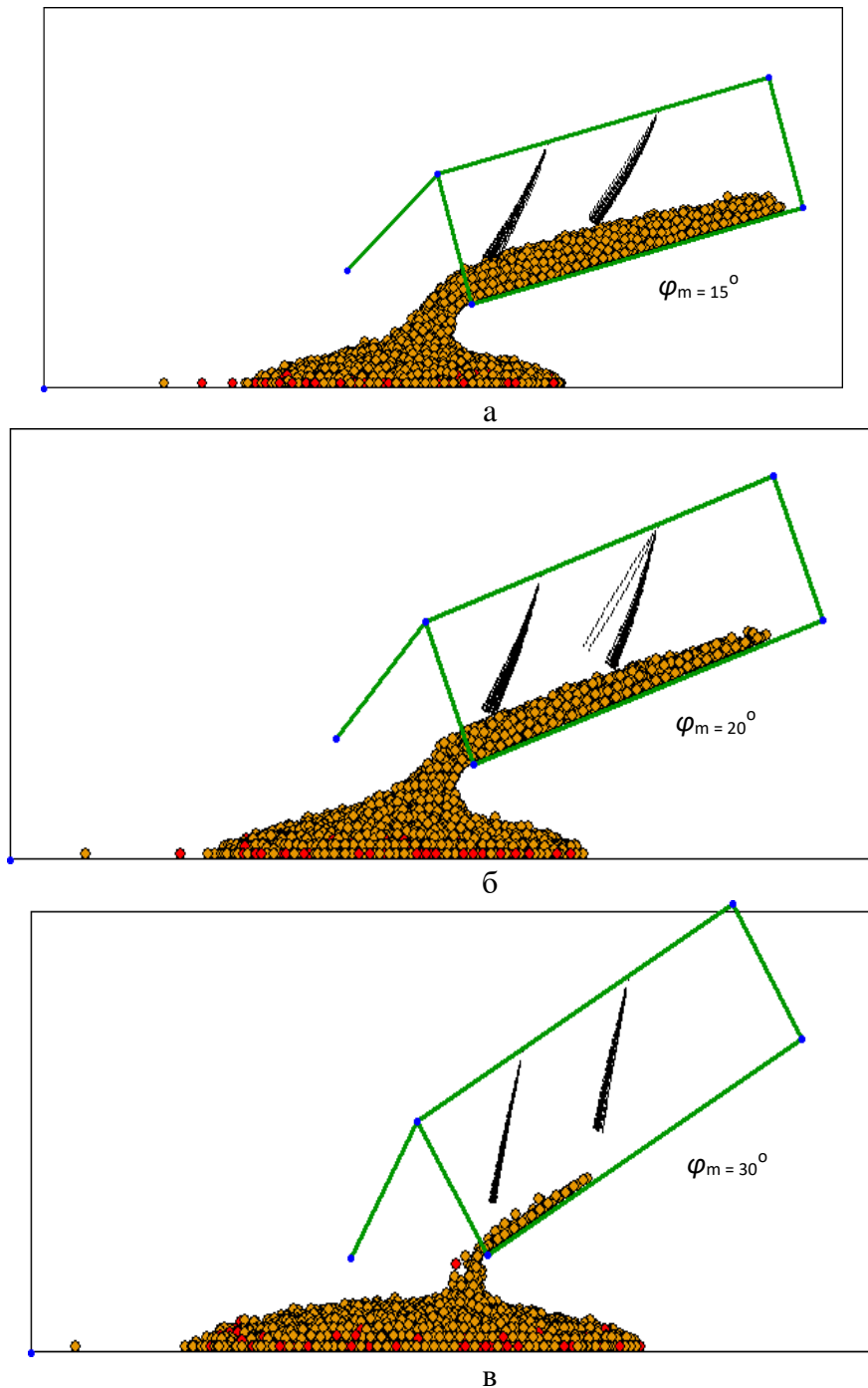


Рис. 4. Стан системи коренеклубнеплодів у момент досягнення максимального кута φ_m нахилу кузова транспортного засобу (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4 градуси в секунду): а – 15° , б – 20° , в – 30°

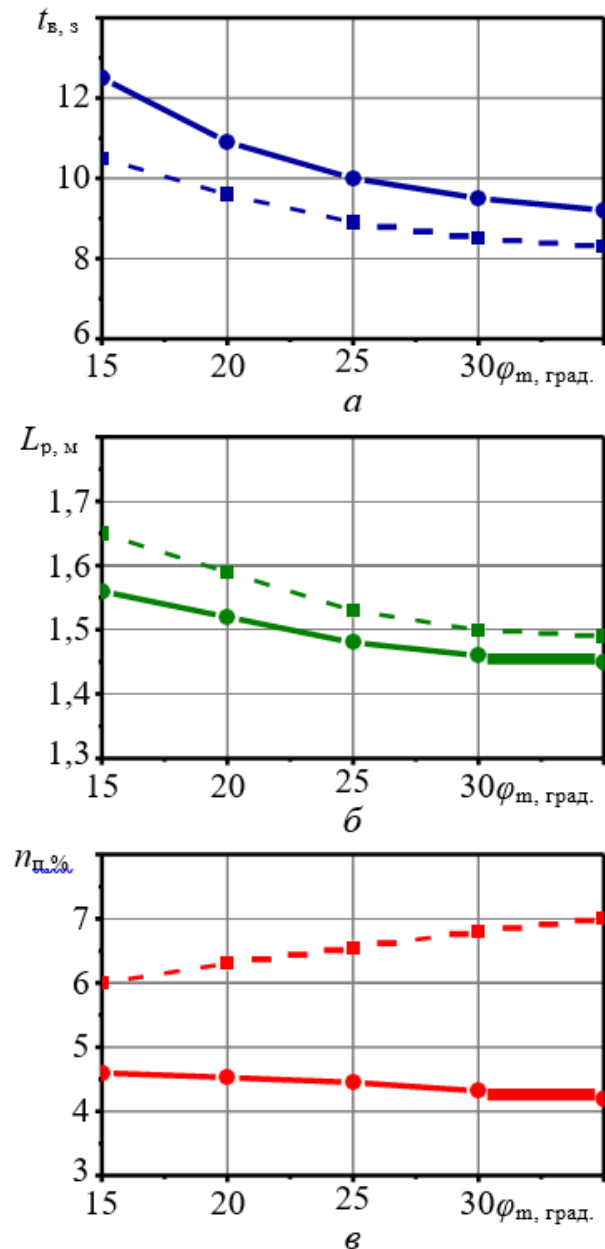


Рис. 5. Вплив максимального кута нахилу кузова транспортного засобу φ_m (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4 градуси за секунду) на час вивантаження $t_{в}$ (а), середня відстань розкочування L_p (б) та частку пошкоджених коренеклубнеплодів $n_{п}$ (в). Суцільна та штрихова лінії – відповідно оснащений та не оснащений еластичними перегородками.

Визначення параметрів еластичних трубок. Еластичні трубки характеризуються двома основними параметрами: довжиною L_t та коефіцієнтом жорсткості на вигин c_i . Досліджуємо спільний вплив параметрів еластичних трубок L_t та c_i на показники ефективності та виконаємо двофакторну оптимізацію параметрів L_t (рис. 6).

Для вирішення двофакторної задачі оптимізації провели дев'ять комп'ютерних експериментів, в яких задавали довжину трубки L_t рівної 1,40, 1,52, 1,64 м (висота кузова транспортного засобу становить 1,60 м) при одночасному зміні коефіцієнта жорсткості трубки на вигин рівнях 0,6, 1,0, 1,4 kH/m^2 .

Коефіцієнт жорсткості на вигин має фізичний сенс сили, яку необхідно

докласти, щоб забезпечити стрілу прогину в 1 м трубки, що спирається на два упори з відстанню між упорами 1 м. Зокрема коефіцієнт $1,0 \text{ кН/м}^2$ означає, що при додатку сили 10 Н (від маси умовного вантажу приблизно 1 кг) стріла прогину трубки становитиме 1 см, якщо еластична трубка спирається на упори з відстанню між ними 1 м.

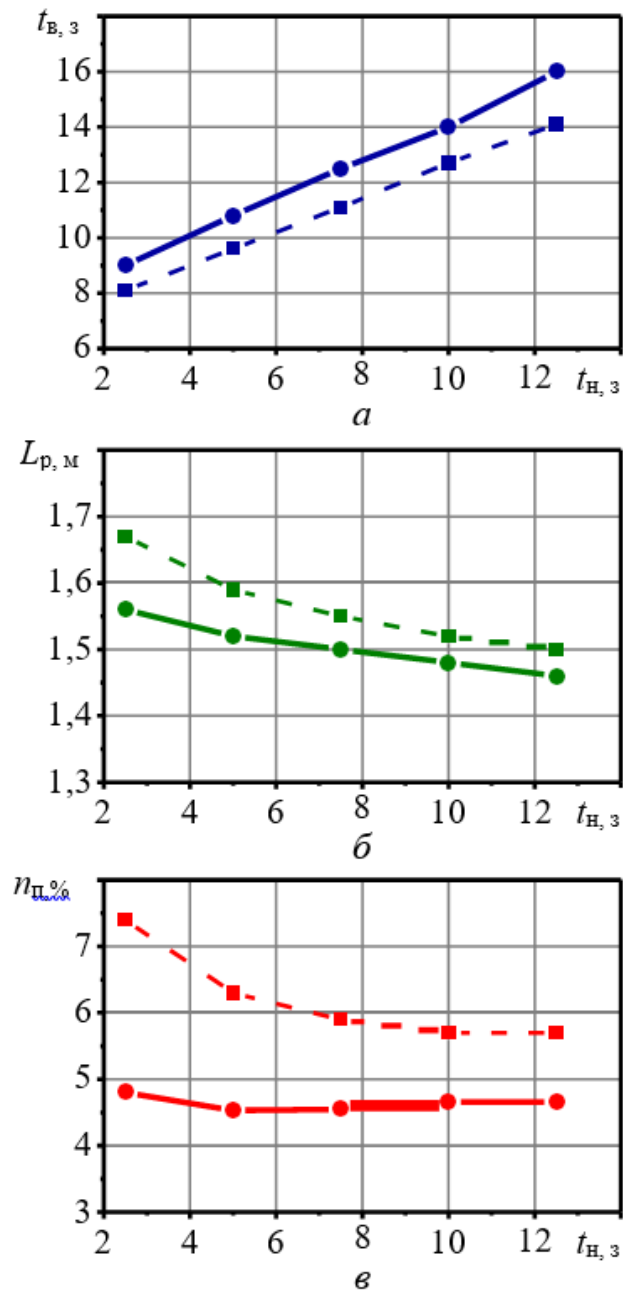
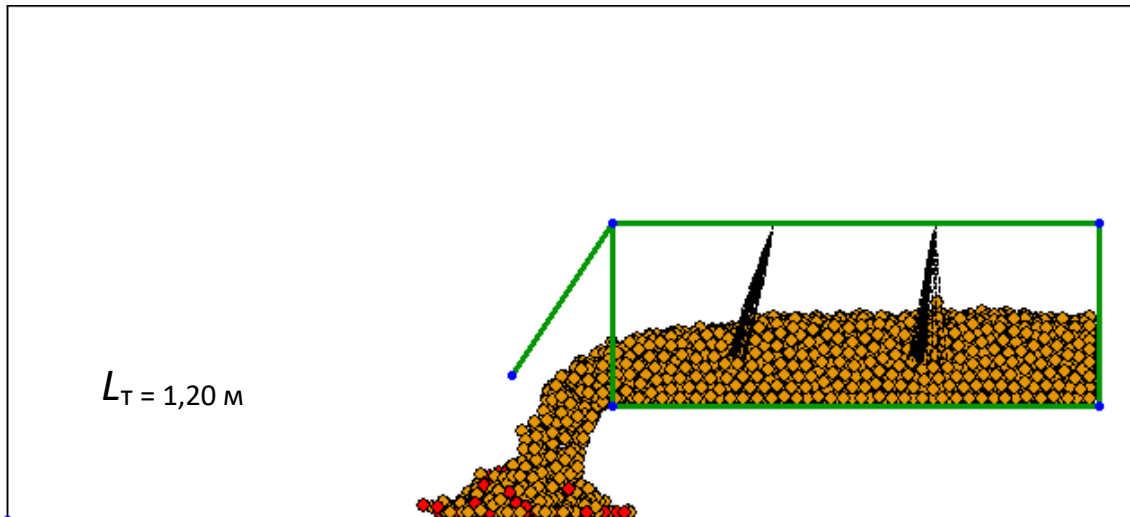


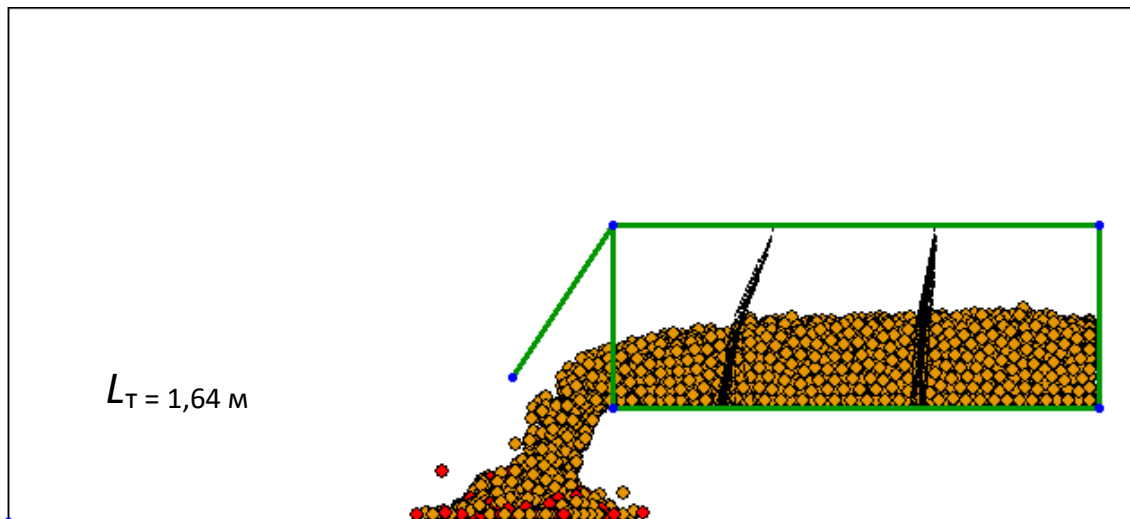
Рис. 6. Вплив часу $t_{н,з}$ нахилу кузова транспортного засобу на кут 20° на час вивантаження $t_{в,з}$ (а), середня відстань розкочування $L_{р,м}$ (б) та частку пошкоджених коренеклубнеплодів $n_{п, \%}$ (в). Суцільна та штрихова лінії – відповідно оснащений та не оснащений рядами еластичних трубок.

На рис. 7 показано стан системи двох різних довжин L_t еластичних трубок в останній момент часу 2,2 з початку комп'ютерного експерименту. Як можна судити за

даними проєкціям, при занадто низькій довжині еластичних трубок вони захоплюються верхніми шарами коренеклубнеплодів, і надають слабкий вплив на вивантаження, що гальмує (рисунок 7, а). При занадто великій довжині еластичних трубок, вони мають хороший вплив на уповільнення вивантаження, проте можуть травмувати коренеклубнеплоди біля дна кузова транспортного засобу за рахунок значних сил на них (рисунок 7, б).



а



б

Рис. 7. Процес вивантаження коренеклубнеплодів при різній довжині еластичних трубок L_T : а - 1,20 м, б - 1,64 м.

На основі набору даних, отриманого в результаті проведення дев'яти комп'ютерних оптимізаційних експериментів, отримані аналітичні формули для функцій $t_v(L_T, c_i)$, $L_p(L_T, c_i)$ і $np(L_T, c_i)$. Для узагальнення та згладжування результатів кожену функцію апроксимували поліномами другого порядку у вигляді:

$$K(L_T, c_i) = k_1 L_T^2 + k_2 c_i^2 + k_3 L_T c_i + k_4 L_T + k_5 c_i + k_6$$

де K -критерій оптимізації (t_v , L_p або np); $k_1 \dots k_6$ – параметри полінома.

Отримані формули можуть бути використані для швидкої оцінки (без виконання реальних або комп'ютерних експериментів) показників ефективності пристрою в залежності від параметрів еластичних трубок.

Для подальшого аналізу функції $t_v(L_t, c_i)$, $L_p(L_t, c_i)$ та $np(L_t, c_i)$ представлені у вигляді графіків (рисунок 8) та картограм (рисунок 9).

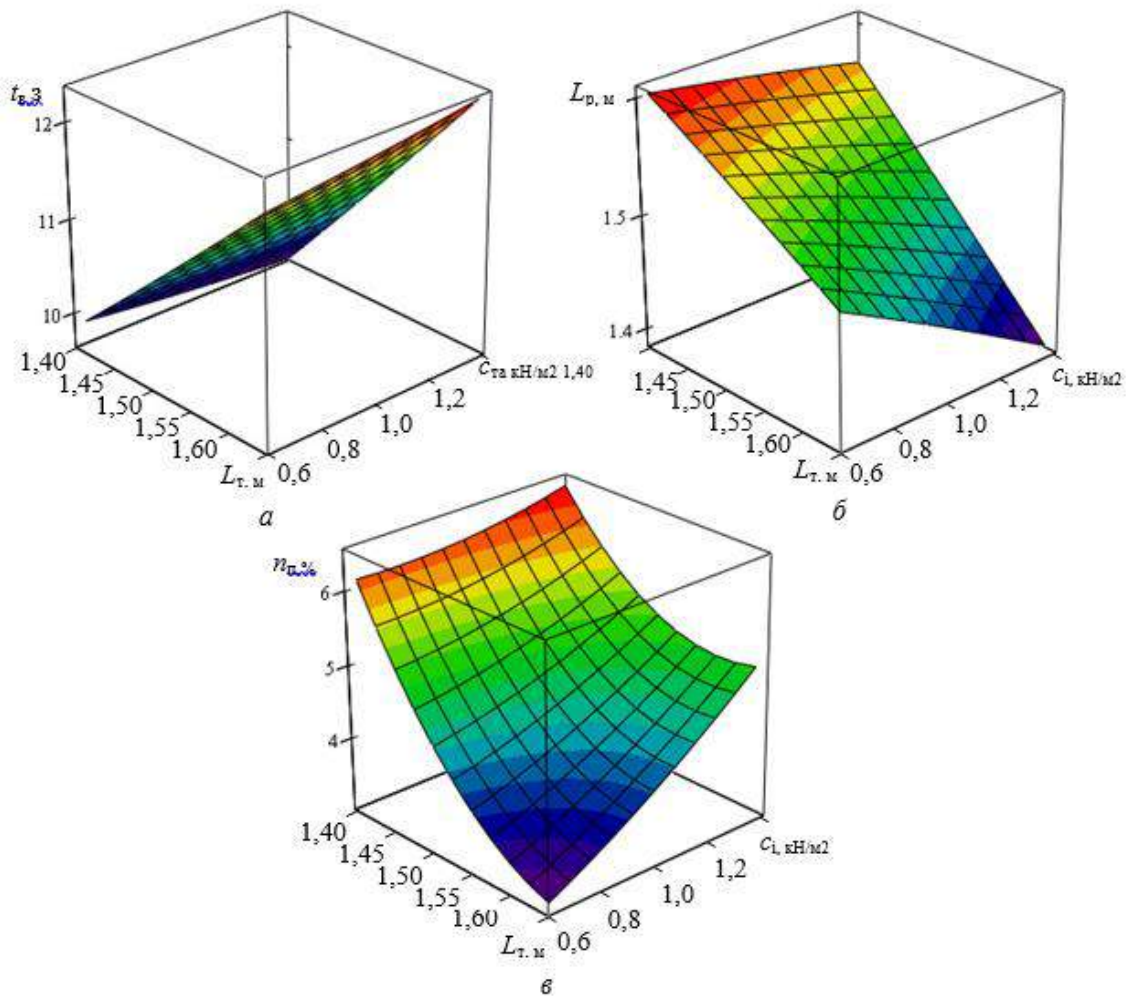


Рис. 8. Графіки впливу довжини L_t та коефіцієнта жорсткості на вигин сі еластичних трубок на час вивантаження t_v (а), відстань розкочування L_p (б) та частку пошкоджених коренеклубнеплодів np (в).

Графіки дозволяють візуально проаналізувати характер поверхонь відгуку: залежності $t_v(L_t, c_i)$, $L_p(L_t, c_i)$ близькі до лінійних, тоді як залежність $np(L_t, c_i)$ істотно нелінійна і має увігнутий характер. Картограми призначені для кількісного аналізу та видом на графіки зверху, із зображенням поверхні відгуку лініями рівня.

Приклад використання картограм показаний малюнку 2.17, а. Якщо довжина еластичної трубки становить 1,45 м (точка А) і коефіцієнт жорсткості на вигин становить 1,0 $кН/м^2$ (точка В), то відповідна точка факторного простору С потрапляє приблизно посередині між лініями рівня $t_v = 10,0$ с та $t_v = 10,5$ с. Тобто час вивантаження складе близько 10,25с. На картограмах затемнені області сприятливого (мінімального) значення показників. Порогові значення для поділу на сприятливу та несприятливу області вибрано $t_v = 11,5$ с (рисунок 8, а), $L_p = 1,50$ м (рисунок 8, б) та $np = 4$ % (рисунок 8, в). Вибір зроблений, виходячи з умов, що сприятлива область займатиме значну частку факторного простору, включати найменші значення критерію, і кордон області буде лінією рівня на картограмі.

Перетин сприятливих областей (рисунок 9, г) являє собою оптимальну область, в якій одночасно враховуються вимоги низьких значень часу вивантаження, відстані розкочування та частки пошкоджених коренеклубнеплодів [10].

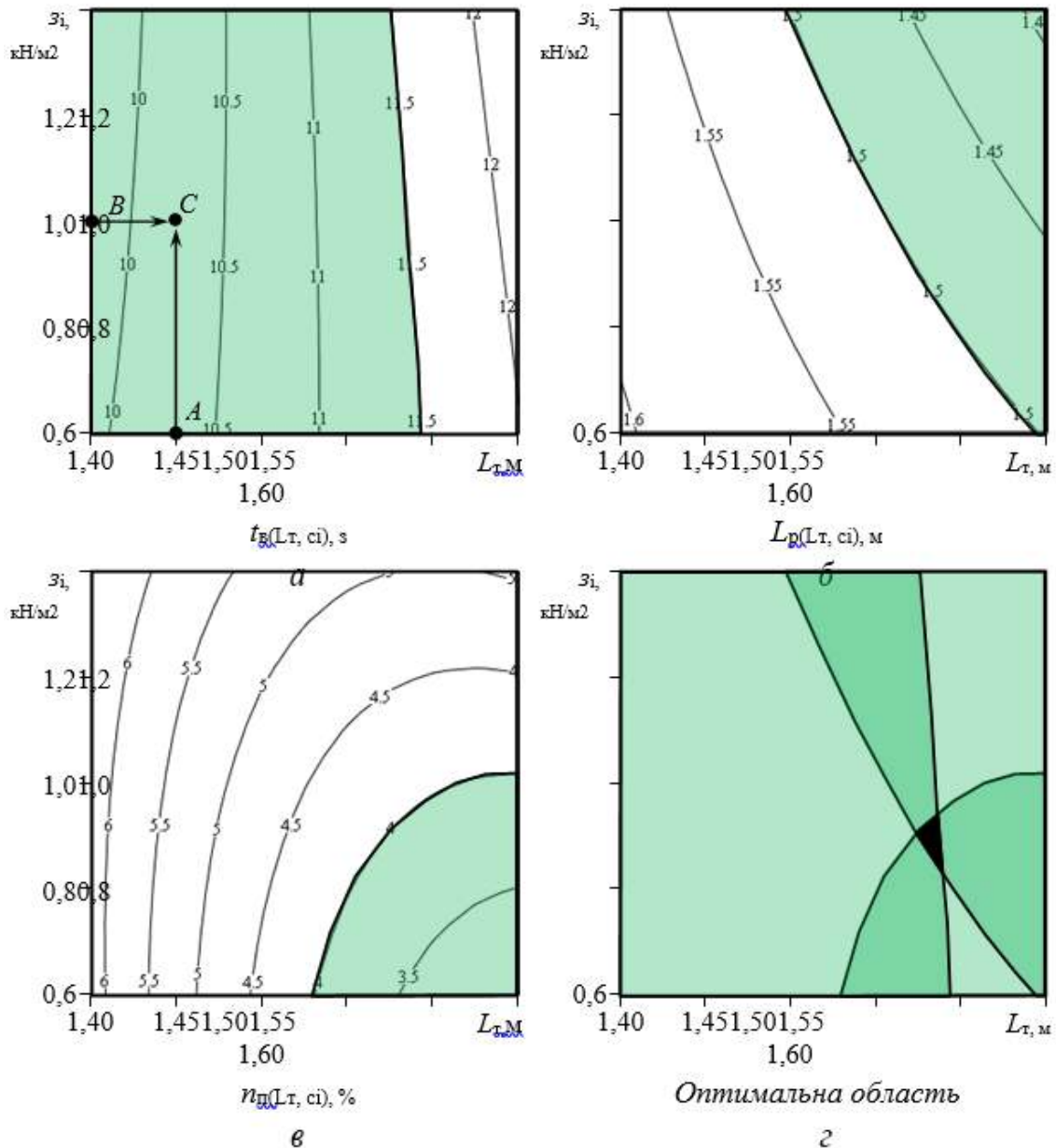


Рис. 9. Картограми оптимізації параметрів еластичних трубок (Затемнені сприятливі області факторного простору. Чорним виділено загальну оптимальну область).

За розташуванням оптимальної області в факторному просторі (рисунок 9, г) можна зробити наступний висновок. Оптимальна довжина еластичної трубки становить 1,58 м (при висоті кузова транспортного засобу 1,60 м, тобто просвіт між трубкою та дном кузова транспортного засобу має становити 2 см), оптимальний коефіцієнт жорсткості трубки на вигин становить 0,9 кН/м². При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування коренеклубнеплодів складе менше 1,50 м, частка пошкоджених коренеклубнеплодів складе менше 4,0%. Для оптимальних параметрів проведено окремий комп'ютерний експеримент, який підтвердив, що показники

ефективності пристрою не перевищують зазначених значень.

Висновки

1. Розроблено математичну модель пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів, що враховує фізичні властивості коренеклубнеплодів, фізичні та геометричні характеристики кузова транспортного засобу та еластичних перегородок, а також параметрів процесу вивантаження. Модель дозволяє оцінити ефект від оснащення кузова транспортного засобу рядами еластичних перегородок та визначити їх оптимальні параметри.

2. Розроблено комп'ютерну програму, що дозволяє на основі комп'ютерних експериментів з моделлю вивчати ефективність пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів.

3. Раціональний просвіт між еластичними перегородками та дном кузова транспортного засобу становить 2 см, а коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин становить $0,9 \text{ кН/м}^2$. При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування коренеклубнеплодів складе менше 1,50 м, частка пошкоджених коренеклубнеплодів складе менше 4,0%.

Список використаних джерел

1. Stroud, G., Peters, J. and Cunnington, A. 2020. Effects of condensation on development of storage diseases. British Potato Council, online access 23rd March 2019 at www.potato.org.uk

2. https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-publications/2_Pub.3442-TransportationofFreshProduce-BestPracticestoEnsureOn-FarmFoodSafety.pdf

3. Hashemi S. M. Strength of Super-Structure UN-ECE R66 Rollover Approval of Coaches based on Thin-Walled Framework Structures. *Vehicle Structures & Systems*. 2019. № 1(4). P. 78-84.

4. He Y., McPhee J. A design methodology for mechatronic vehicles: Application of multidisciplinary optimization, multibody dynamics and genetic algorithms. *Vehicle System Dynamics*. 2019. Vol. 43. Issue 10. P. 697-733. doi:10.1080/00423110500151077.

5. Nazarenko I., Dedov O., Berynk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi:10.15587/1729-4061.2020.217747.

6. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. *Acta Polytechnica*. 2020. Vol. 60. No 4. P. 313-317. doi:10.14311/AP.2020.60.0313.

7. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.

8. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutnii O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18.N245.

9. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T. Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability

during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1 (1/6(97)). P. 6-12. doi:10.15587/1729-4061.2019.156150.

References

1. Stroud, G., Peters, J. and Cunnington, A. (2020). Effects of condensation on development of storage diseases. British Potato Council, online access 23rd March 2019 at www.potato.org.uk
2. https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-publications/2_Pub.3442-TransportationofFreshProduce-BestPracticestoEnsureOn-FarmFoodSafety.pdf
3. Hashemi S. M. (2019). Strength of Super-Structure UN-ECE R66 Rollover Approval of Coaches based on Thin-Walled Framework Structures. Vehicle Structures & Systems. 2019. № 1(4). P. 78-84.
4. He Y., McPhee J. (2019). A design methodology for mechatronic vehicles: Application of multidisciplinary optimization, multibody dynamics and genetic algorithms. Vehicle System Dynamics. Vol. 43. Issue 10. P. 697-733. doi:10.1080/00423110500151077.
5. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi:10.15587/1729-4061.2020.217747.
6. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. (2020). External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. Acta Polytechnica. 2020. Vol. 60. No 4. P. 313-317. doi:10.14311/AP.2020.60.0313.
7. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.
8. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutnii O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. Engineering for Rural Development. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18. N245.
9. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T. (2019). Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1 (1/6(97)). P. 6-12. doi:10.15587/1729-4061.2019.156150.