

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТРАНШЕЙНИХ ЕКСКАВАТОРІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

*Мусійко В.Д.*, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296

*Коваль А.Б.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

*Пацьора Д.І.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dpatsora@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9515-3672

## WAYS TO INCREASE THE PRODUCTIVITY IN CONTINUOUSLY OPERATING TRENCHING EXCAVATORS

*Musiiko V.D.*, Doctor of Technical Science, National Transport University, Kiev, Ukraine, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296,

*Koval A.B.*, PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

*Patsora D.I.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dpatsora@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9515-3672

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРАНШЕЙНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

*Мусийко В.Д.*, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296

*Коваль А.Б.*, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

*Пацьора Д.І.*, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, dpatsora@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9515-3672

**Постановка проблеми.** Однією з найважливіших задач, поставлених перед машинобудівною промисловістю України, є підвищення ефективності техніки, що створюється в країні. Рішення поставленої задачі викликане необхідністю виконання об'ємів земляних робіт в будівництві, що постійно збільшуються.

Застосування високопродуктивних машин необхідно при будівництві та реконструкції транспортних комунікацій, спорудженні новітніх ліній зв'язку, при виконанні меліоративних робіт, у першу чергу при ритті каналів і траншей для дренажних систем. На сьогоднішній день особливою гостротою набула проблема створення високоефективної землерийної техніки безперервної дії для фортифікаційного облаштування позицій військ та укриттів для бойової техніки.

Найбільш дешевим способом створення протяжних виїмок у ґрунті є їх розробка траншейними екскаваторами. Підвищення їх продуктивності складає один з найважливіших напрямків збільшення ефективності механізації земляних робіт.

На даному етапі розвитку землерийних машин безперервної дії більш ефективними конструкціями слід вважати роторні траншейні екскаватори. Як свідчить дослід експлуатації екскаваторів, як з роторним робочим органом, так і з ланцюговим, встановлена достатня досконалість та ефективність їх конструкцій, однак, збільшення продуктивності машин цього типу, у межах одного типорозміру як показали дослідження, має обмеження, що викликані необхідністю підвищення ефективності розвантаження робочих органів від розроблених ґрунтів, особливо вологих, липких глинистих та суглиннистих.

Підвищення ефективності траншейних екскаваторів, можливе за рахунок використання на них для розробки ґрунтів безківшевих роторних робочих органів шляхом удосконалення процесу розвантаження їх роторів.

**Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій.** Для виконання всього комплексу земляних робіт в Україні спроектовані, виготовлені та використовуються різноманітні по конструкції

траншейні екскаватори з ланцюговими і роторними робочими органами. Широкого поширення набули машини з ланцюговими робочими органами як ківшевіми так і скребковими, роторними як ківшевіми так останнім часом і безківшевіми.

Ці екскаватори здатні ефективно розробляти траншеї прямокутного або трапецієподібного профілю, лінійні розміри яких досягають в глибину до 6 м, ширину по дну до 1,0 м, по верху до 2,8 м в ґрунтах 1-3 категорії та мерзлих ґрунтах. Продуктивність екскаваторів, залежно від умов роботи, коливається в межах 200-1200 м<sup>3</sup>/год.

Виконані нами роботи по створенню та модернізації конструкцій екскаваторів безперервної дії дозволили встановити наступне [1].

Аналізуючи показники роботи ланцюгових і роторних траншеєкопачів можна відзначити, що у роторних за даними опублікованих досліджень [2] розподіл потужності двигуна між роботою копання, підйому ґрунту, переміщення машини і розвантажувального конвеєра більш сприятливе, ніж ланцюгових. Так за даними М.Г. Домбровського [3] на роботу копання у них, за швидкості ходу 100 м /год. витрачається від 78 % до 81,2 % потужності у малих машин і до 67-69 % у великих проти, відповідно, 64-66 % і 39-41 % у ланцюгових траншеєкопачів. За збільшення швидкості ходу до 200 м/год. ці цифри становлять 66-70 % і 53-54 % у роторних машин проти 53-55 % і 31-34 % у ланцюгових. Витрати енергії в зазначених межах пояснюються більш високими витратами на підйом ґрунту і переміщення робочого органа (ланцюга) в ланцюгових машинах. Для них за великої потужності силової установки цей показник досягає 36-38 %, тобто наближається до витрат енергії на копання ґрунту. Це пояснюється значними витратами енергії на подолання сил тертя в численних шарнірах ланцюгового робочого органа, значними просипами ґрунту та великими втратами потужності на переміщення ґрунту скребками по забою. У роторних траншеєкопачів витрата енергії на підйом та переміщення ґрунту, навіть для найпотужніших машин, не перевищує 7-9 %. Зусилля копання, що реалізуються на робочих органах однакових за потужністю машин, у роторних теж вище, чим у ланцюгових [4], отже роторними машинами можна розробляти більш міцні ґрунти. Слід зазначити також порівняно низьку енергоємність розробки ґрунту роторними робочими органами [56].

Однак роторні ківшеві робочі органи траншейних екскаваторів мають і свої недоліки. Це насамперед те, що продуктивність машин лімітується ємністю ківшів і умовами їх розвантаження [3]. Так для екскаватора ЕТР-224 за розробки ґрунтів II-III груп допустима швидкість подачі машини знаходиться в межах 265 м/год. [6] За більшої швидкості ґрунт запресовується у ківшах, тобто для нормальної роботи необхідно збільшення ємності ківшів, що не завжди можливо.

До переваг ланцюгових скребкових робочих органів слід віднести розділення процесу різання і транспортування (виносу) ґрунту із забою по фазах, а також можливість спорудження траншей більшої глибини, копання яких роторними робочими органами істотно ускладнено, а то й просто не можливо.

Таким чином можна зробити висновок, що для спорудження іригаційних каналів та траншей середньої глибини (до 2 м) більш ефективно застосовувати роторні робочі органи.

**Метою дослідження** є створення високоефективного безківшевого роторного робочого органа траншейного екскаватора з двоступеневим розвантаженням.

Реалізація зазначеної мети передбачає виконання таких завдань:

- обґрунтувати шляхи підвищення продуктивності траншейних екскаваторів, що споруджують траншеї заданого профілю;
- розробити технічну пропозицію зі створення вузла розвантаження безківшевого роторного робочого органа.

#### **Основна частина.**

Для виконання земляних робіт останнім часом розроблені конструкції і виготовлені землерийні машини, обладнані роторними безківшевіми робочими органами (рис. 1). Розробка конструкцій роторних траншеєкопачів з безківшевим робочим органом обумовлена метою створення ефективних робочих органів особливо високої продуктивності.

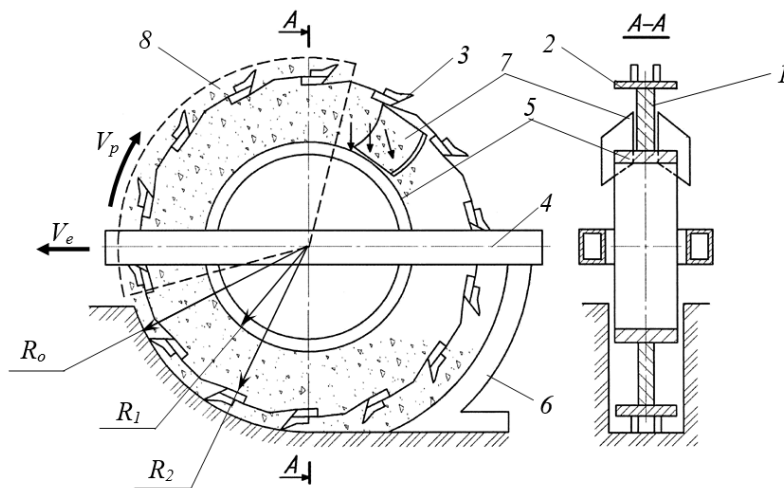


Рисунок 1 – Роторний безківшевий робочий орган: 1 – центральний диск; 2 – траверса; 3 – ріжучий елемент; 4 – рама; 5 – обичайка; 6 – зачисний башмак; 7 – ґрунтознімач; 8 – кожух.  
 Figure 1 – Rotary bucketless implement: 1 – central disc; 2 – crossarm, 3 – cutter; 4 – frame; 5- shell; 6 – clean-up bearing plate; 7 – soil remover ; 8 – encasement

Роторний робочий орган безківшевого типу являє собою вертикальний диск 1, на якому по периметру перпендикулярно площині диска встановлені поперечні траверси 2, із закріпленими на них зубами 3. Ротор обертається на вісі встановленій в підшипниках рами 4. З обох сторін на вертикальному диску встановлені кільцеві обичайки 5. Простори ротора обмежені поверхнею кільцевих обичайок і внутрішньою поверхнею траверс будемо надалі називати внутрішніми кільцевими порожнинами (ВКП). Зовнішньою кільцевою порожниною (ЗКП) будемо називати простір, обмежений ріжучими кромками зубів та внутрішньою поверхнею траверс. На рамі 5 позаду ротора встановлюється зачисний башмак 6, призначення якого очищати траншею від просипаного ґрунту і створювати додатковий підпір при виносі ґрунту із забою. Розвантаження робочого органа здійснюється по обидві сторони траншеї ґрунтознімачами 7, що встановлені по обидві сторони диска ротора під певним кутом до нього.

Робочий процес безківшевого ротора полягає в послідовному відділенні від масиву стружок ґрунту за допомогою ріжучих елементів (зубів) розташовуваних по радіусу  $R_o$  під час обертання ротора зі швидкістю  $V_p$  і подачі його на забій зі швидкістю  $V_e$ , (див. рис. 1). Відокремлений від масиву ґрунт під деяким напірним зусиллям стружки надходить у внутрішні кільцеві робочі порожнини. Ці порожнини характеризуються радіусами  $R_1$  і  $R_2$  та шириною ротора за винятком товщини диска. Поступово накопичуючись там ґрунт заклинюється у кожній з двох внутрішніх кільцевих робочих порожнин за рахунок сили тяжіння, відцентрової сили, сили бокового розпору ґрунту, напору стружки що зрізається, і в результаті дії сил тертя по поверхні кільцевої порожнини виноситься із забою. При цьому ґрунт що виноситься долає сили тертя об стінки траншеї, стінки кожуха ротора 8 (якщо він встановлений), складову сили тяжіння самого ґрунту що виноситься, складову загальної сили напору стружки яка зрізується і силу відпору розвантажувальних скребків.

Підвищена увага до питання створення високопродуктивних конструкцій робочих органів безківшевого типу пояснюється їх передбачуваними перевагами порівняно з роторними ківшевими та ланцюговими скребковими і ківшевими робочими органами, а саме:

- теоретична продуктивність безківшевого ротора по виносу ґрунту з забою вище, ніж ківшевих і скребкових тому, що ґрунт може транспортуватися з траншеї суцільним потоком, а не окремими порціями;
- конструкції робочих органів дозволяють реалізувати на їх приводі будь-яку потужність, що підводиться до них;
- примусове розвантаження робочого органа за допомогою скребків виключає введення обмеження на швидкість різання ґрунту, що забезпечує гравітаційне його розвантаження і дасть можливість розробляти ґрунт на підвищених швидкостях різання без високодинамічного і енергоємного відцентрового розвантаження;

- для транспортування ґрунту в відвал на сторони від траншеї використовуються розвантажувальні скребки без додаткового встановлення привідних стрічкових або шнекових транспортерів, а також лопатевих металників;

- конструкція роторного безківшевого ротора більш проста і менш металоємна, ніж робочого органа екскаватора роторного ківшевого або ланцюгового скребкового.

Таким чином, роторні безківшеві робочі органи мають основні переваги роторних ківшевих робочих органів перед ланцюговими і, разом з цим, мають ряд переваг перед ними.

Порівнюючи конструкції ланцюгових та роторних робочих органів траншейних екскаваторів, виконаємо порівняння з точки зору визначення та забезпечення необхідної продуктивності роботи машини.

Технічна продуктивність траншейного екскаватора по забою  $P_3$  визначається згідно залежності:

$$P_3 = F_{mp} \cdot V_e, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (1)$$

де  $F_{mp}$  – площа поперечного перерізу траншеї, що розробляється,  $\text{м}^2$ ;

$V_e$  – швидкість поздовжнього переміщення робочого органа екскаватора,  $\text{м}/\text{год.}$

Продуктивність роторного ківшевого робочого органу траншейного екскаватора по виносу ґрунту із забою  $P_6$  визначається за формулою [7]:

$$P_6 = \frac{60 \cdot q_z \cdot z_k \cdot n_p \cdot k_n}{k_p}, \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (2)$$

де,  $q_z$  – місткість ківша,  $\text{м}^3$ ;

$z_k$  – кількість ківшів;

$n_p$  – частота обертання ротора,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$k_n$  – коефіцієнт наповнення ківшів;

$k_p$  – коефіцієнт розпушення ґрунту.

Розробка ґрунтів траншейними екскаваторами можлива тільки при виконанні умов  $P_6 > P_3$ , тобто продуктивність машини визначається виносною здатністю її робочого органу.

Розглянемо можливі конструктивні зміни ківшевого роторного робочого органу з метою визначення шляхів підвищення його продуктивності. Численні дослідження виконані в нашій країні і за кордоном, дозволили встановити раціональні співвідношення лінійних розмірів ківшів роторів, а саме:

$$h = (0,5 \dots 0,9) \cdot B; \quad b = 0,9 \cdot B; \quad l = (0,4 \dots 0,6) \cdot B, \quad (3)$$

де  $h$  – висота ківша,  $\text{м}$ ;

$b$  – ширина ківша,  $\text{м}$ ;

$l$  – довжина ківша,  $\text{м}$ ;

$B$  – ширина траншеї,  $\text{м}$ .

Із наведених співвідношень випливає, що раціональні значення ширини і висоти ківшів практично зумовлені шириною траншеї, яка розробляється даним робочим органом. Отже, можливості варіювання шириною ківшів  $B$  обмежені, хоча її збільшення в загальному позитивно впливає на зростання продуктивності  $P_6$  за рахунок поліпшення умов заповнення ківшів ґрунтом та їх розвантаження. За збільшення висоти ківшів істотно погіршуються умови їх заповнення ґрунтом і зростає тривалість часу, необхідного для повного спорожнення ківшів. При цьому необхідне зниження частоти обертання ротора з метою збереження можливості повного використання габаритів його розвантажувального сектора як зони розвантаження.

Таким чином, можна зробити висновок, що збільшення висоти ківшів понад рекомендованої не може забезпечити підвищення продуктивності ротора по виносній здатності.

Збільшення місткості ківшів може бути досягнуто також шляхом зміни їх довжини, проте це не можна вважати доцільним з причини зростання часу необхідного для їх повного спорожнення. Крім того, збільшення довжини ківшів підвищує ступінь ущільнення ґрунту в них, що утруднює процес розвантаження.

Із вищевикладеного випливає, що підвищення продуктивності роторного ківшевого робочого органу призначеного для розробки траншей заданих лінійних розмірів шляхом збільшення місткості ківшів за рахунок зміни їх габаритних параметрів не може вважатися ефективним.

Підвищенню продуктивності роторних траншейних екскаваторів може сприяти збільшення числа ківшів на роторах. Це з одного боку позитивно впливає на робочий процес: зменшуються розміри знімаємої ківшами стружки і, відповідно, знижуються навантаження на ківшах. Однак, при збільшенні кількості ківшів на роторі більше десяти, момент створюваний дотичною складовою сумарного зусилля копання на роторі практично не зменшується.

Збільшення числа ківшів на роторі одного типорозміру можливо з одночасним зменшенням швидкості різання для забезпечення повного розвантаження ківшів. Збільшення числа ківшів на роторі при його незмінній продуктивності неминуче призводить до підвищення енергоємності розробки ґрунту за рахунок додаткового його подрібнення при різанні тонкими стружками.

Таким чином можна стверджувати, що можливість підвищення продуктивності  $\Pi_e$  роторних робочих органів за рахунок збільшення числа ківшів обмежені. Існуючі робочі органи мають визначену кількість ківшів, зазвичай 12-14, і подальше збільшення їх числа вважається недоцільним.

Істотний вплив на продуктивність розглянутих робочих органів по виносній здатності має швидкість різання ґрунту  $V_p$  (частота обертання ротора). Підвищення її до певної межі, обумовленої умовами гравітаційного розвантаження, призводить до збільшення числа зсипок ґрунту з ківшів в одиницю часу, отже до зростання продуктивності  $\Pi_e$ . Однак збільшення швидкості різання понад 3 м/с супроводжується зростанням інерційних відцентрових сил які погіршують розвантаження ґрунту з ківшів ротора. Дослідження проведені багатьма авторами [8-10] показують, що оптимальними значеннями швидкостей різання ґрунту ківшевыми роторними органами з гравітаційним розвантаженням є  $V_p = 1-2,7$  м/с.

Підвищення продуктивності робочого органа за допомогою регулювання частоти обертання ротора регламентується умовами гравітаційного розвантаження ґрунту. Для кожного типорозміру роторного ківшевого робочого органа існує "поріг продуктивності" з виносу ґрунту з забою  $\Pi_e$ . Це, в свою чергу, обмежує продуктивність робочого органа по забою  $\Pi_3$ . З урахуванням висновку про досягнуту конструктивну досконалість роторних ківшевих робочих органів, а також обмеження частоти обертання ротора за умовами розвантаження, можна стверджувати про неможливість збільшення продуктивності роторних траншейних екскаваторів, що копають траншею заданих лінійних розмірів за рахунок підвищення потужності базового тягача, якщо вона достатня для реалізації граничної продуктивності ротора з виносної здатності.

Обмеження продуктивності роторного ківшевого робочого органа, обумовлене способом розвантаження можна усунути шляхом застосування конструкції ґрунторозробного обладнання з відцентровим розвантаженням ківшів, що працює на підвищених швидкостях різання ( $V_p > 5 \dots 6$  м/с), рис. 2.

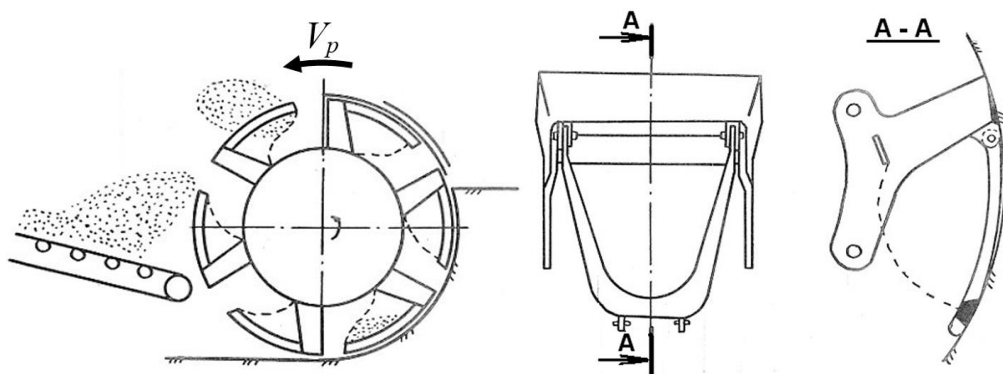


Рисунок 2 – Роторний робочий орган з відцентровим розвантаженням ківшів  
Figure 2 – Rotary implement with centrifugal buckets discharge

Розвантаження ґрунту, транспортованого в ківшах ротора, здійснюється через розвантажувальні вікна в передніх стінках ківшів за рахунок відцентрових сил, що діють на ґрунт. Розробка ґрунту роторами зі швидкістю різання менше 6 м/с практично не можлива при розробці зв'язних (липких) ґрунтів.

Спільним недоліком, що обмежує область застосування робочих органів з відцентровим розвантаженням ківшів, є їх роботоздатність виключно на високих швидкостях різання ґрунту. Це

робить практично неможливим застосування даних конструкцій при розробці мерзлих ґрунтів, ґрунтів з кам'яними включеннями та тріщинуватих скельних порід типу піщаників та вапняків.

У зв'язку з зазначеними недоліками, роторні робочі органи з відцентровим розвантаженням практично не знайшли застосування на траншейних екскаваторах. Вони використовуються на кар'єрних екскаваторах типу ЕРГВ-630 при розробці ізотропних середовищ, зокрема цілісних пластів вугілля.

Перспективними конструкціями робочих органів, що використовуються на траншейних екскаваторах, є безківшеві роторні робочі органи (БРРО). Вони мають вказані раніше переваги як перед роторними ківшевими робочими органами (незалежно від способу їх розвантаження), так і перед ланцюговими.

Безківшеві роторні робочі органи здатні копати траншеї як прямокутного, так і трапецієвидного профілю. Їх можна умовно розділити на два основних типи: конструкції з одним центральним диском і з кількома, рис. 3.

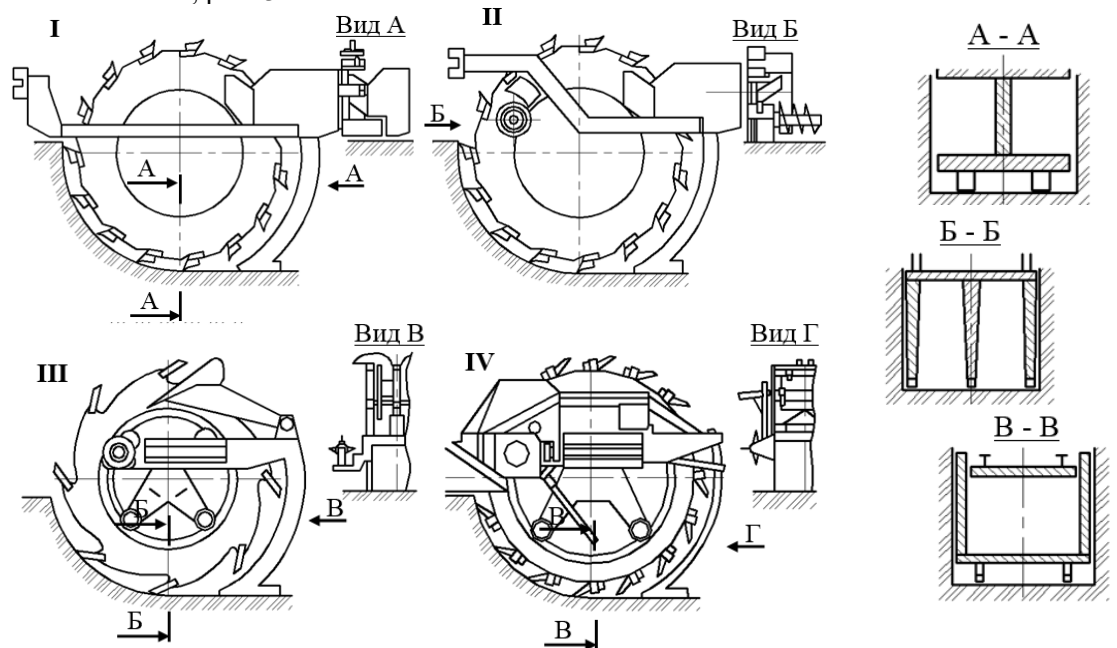


Рисунок 3 – Основні типи конструкцій безківшевих роторних робочих органів:

I – одно-дисковий з одноступеневим розвантаженням скребками; II – те ж, привідними шнеками; III – дводисковий з боковим розвантаженням ґрунтометами; IV – те ж, з розвантаженням між дискового простору ротора на ґрунтомети.

Figure 3 – Main types of bucketless rotary implement constructions:

I – single-disc implement with single-stage discharge with scrapers; II – the same with driving conveyor screw III – double-disc implement with side discharge via soil-throwers; IV – the same with the discharge of the rotor inter-disc space to soil-throwers

Продуктивність безківшевих роторних робочих органів по виносу ґрунту з забою  $Q_p$  визначається з виразу:

$$Q_p = n \cdot F_k \cdot V_p \cdot k_n, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4)$$

де,  $n$  – число робочих порожнин;

$F_k$  – площа поперечного перерізу робочих порожнин ротора,  $\text{м}^2$ ;

$V_p$  – швидкість різання,  $\text{м/с}$ ;

$k_n$  – коефіцієнт проковзування ґрунту в робочих порожнинах ротора.

Аналіз наведеної залежності показує, що продуктивність БРРО по виносу прямо пропорційна обсягу робочих порожнин ротора і швидкості переміщення ґрунту із забою в зону розвантаження. Можливість позитивного впливу кінематичного фактору (відношення швидкості різання ґрунту  $V_p$  до величини  $Q_p$ ), в даному випадку визначає одну із основних переваг безківшевих роторних робочих органів – виключення обмежень на швидкість різання ґрунту. Це забезпечується застосуванням примусового розвантаження робочих порожнин ротора. БРРО можуть працювати як на швидкостях різання характерних для ківшевих роторних робочих органів ( $V_p = 1,5 \dots 2,7 \text{ м/с}$ ) так і в діапазоні швидкостей, при яких виникають відцентрові сили, що перешкоджають гравітаційному розвантаженню, але ще недостатні для переходу на чисто відцентровий спосіб спорожнення ківшів

ротора ( $V_p = 3 \dots 5$  м/с) Встановлення на БРРО додаткових пристроїв, дозволяє, в разі потреби, працювати на швидкостях різання характерних для відцентрового способу розвантаження.

Широке застосування БРРО значною мірою стримується в силу недостатньо повної вивченості робочого процесу і всієї сукупності факторів що впливають на нього. Причому, якщо ряд питань з даної тематики в певній мірі висвітлені у відкритих публікаціях, то обсяг досліджень по деяким іншим аспектам БРРО вважати достатнім є неможливим. Так, наприклад, є ряд робіт де розглядається процес розробки забою безківшевим роторним робочим органом [11, 12]. Визначені співвідношення між дотичними і нормальними складовими сил копання ґрунту, що діють на ріжучі елементи і траверси ротора, а також вплив на їх величину деяких конструктивних параметрів робочого органу. Виявлено, що вибір режимів роботи та геометричних параметрів робочих порожнин безківшевого ротора необхідно виконувати із умови забезпечення співвідношення його продуктивності по забою до продуктивності по виносу в межах 1:3-1:5. Більш раціональним є співвідношення 1:3 при якому навантаження робочого органу мінімізовано.

Опубліковані результати досліджень дозволяють досить обґрунтовано підходити до вибору конструктивних параметрів безківшевих роторів.

Практично не розглянутим в виконаних дослідженнях залишилося питання розвантаження ґрунту з безківшевих роторних робочих органів. І це не дивлячись на той факт, що при роботі траншейних екскаваторів оснащених БРРО, особливо в липких, глинистих ґрунтах, в траншею знову переноситься до 20-25 % не розвантаженого з ротора ґрунту. Наявні дані з цього питання не дозволяють однозначно визначити оптимальний спосіб розвантаження робочого органу та подальшого транспортування піднятого з забою ґрунту у відвал. Опубліковані результати досліджень [8, 11, 12] висвітлюють лише деякі питання в цій області і не можуть служити підставою для вибору оптимальної і ефективної схеми розвантаження БРРО.

За результатами виконаних досліджень нами розроблена та практично реалізована технічна пропозиція з удосконалення безківшевих роторних робочих органів траншейних машин, ефективність якої перевірено на практиці.

Суть технічної пропозиції по створенню ефективної конструкції безківшевого роторного робочого органу з двохступеневим розвантаженням полягає в наступному. Робочий орган траншейного екскаватора, що включає встановлений на рамі ротор із закріпленими на його периферії траверсами з ріжучими елементами і установлений на кінці рами розвантажувальний вузол з бермоутворювачами, з метою підвищення продуктивності за рахунок покращення якості розвантаження ґрунту, забезпечений додатковим розвантажувальним вузлом. Він розташований на протилежному по відношенню до вказаного розвантажувального вузла кінці рами і виконаний з двох симетрично розташованих відносно подовжньої площини ротора лотків, кожний з яких складається з основи, передньої стінки та відвальної поверхні з ґрунтознімачами. При цьому, передні стінки лотків зв'язані між собою за допомогою перемички, рис. 4.

Запропонована конструкція робочого органу оснащується бермоутворювачами, виліт яких в поперечній площині робочого органу складає 0,44-0,55 від вильоту лотків додаткового розвантажувального вузла лоткового типу.

Конструкція лоткового розвантажувального вузла є симетричною щодо центрального диска ротора, причому обидві частини вузла в зоні розташування відвальних поверхонь, що мають форму лемешів, з'єднані між собою перемичкою.

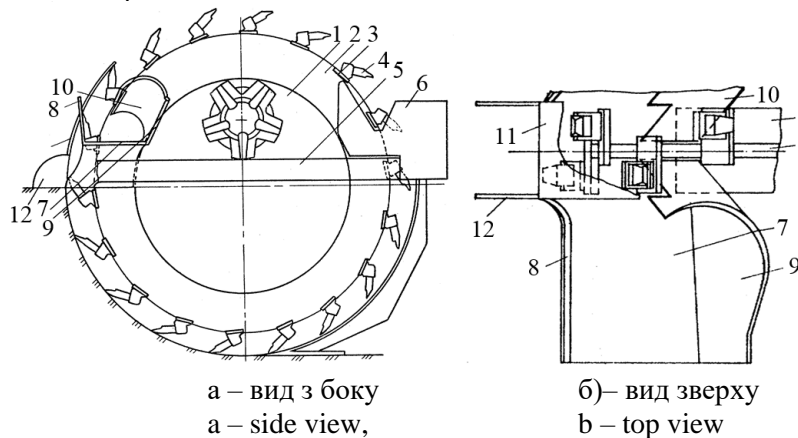


Рисунок 4 – Робочий орган роторного екскаватора з двохступеневим розвантаженням: 1 – ротор; 2 – диск центральний; 3 – траверса; 4 – ґрунторозроблюючий різець; 5 – рама; 6 – бермоутворювач; 7 – основа лотка; 8 – стінка передня лотка; 9 – стінка задня лотка; 10 – ґрунтознімач; 11 – перемичка передня; 12 – щитки захисні

Figure 4 – Implement of the rotary excavator with two-stage discharge: 1- rotor, 2 – central disc; 3 – crossarm; 4 - soil excavating cutter; 5 – frame; 6 – berm maker; 7 – base of the tray; 8 – frontal wall of the tray; 9 – back wall of the tray; 10 soil remover; 11- front connection strap 12 – protection shields

Процес розвантаження робочого органу здійснюється наступним чином. Ґрунт, що виноситься як внутрішніми, так і зовнішньою кільцевими порожнинами ротора, надходить в зону установки відвальних поверхонь ґрунтознімачів додаткового (переднього, по напрямку руху машини) розвантажувального вузла. Ґрунтознімачі виймають ґрунт з внутрішніх кільцевих порожнин, змінюють його траєкторію руху і направляють по кожному з двох лотків, утворених основою, передньою стінкою і відвальною поверхнею убік від траншеї.

За рахунок сили напору ґрунту, що піднімається в роторі, створюється підпір, достатній для забезпечення безперервного транспортування ґрунту по основі кожного лотка і відвальной поверхні до виходу з лотка і подальшого переміщення його у відвал. Передні стінки і захисні щитки виключають зсипання ґрунту з лотків, попадання його під днище рами робочого органу і подальше заклинювання ґрунту під днищем рами.

Ґрунт, що виноситься в зовнішній кільцевій порожнині ротора, після проходження лоткового розвантажувального вузла під дією гравітаційних сил переміщується у внутрішні кільцеві порожнини ротора, вже очищені від ґрунту ґрунтознімачами і видаляється звідти бермоутворювачами, що знаходяться в задній частині ротора. Бермоутворювачі виходять за раму робочого органу на відстань, рівну 0,45-0,55 вильоту лоткового розвантажувального вузла в напрямку, перпендикулярному поздовжній вісі траншеї, що забезпечує утворення берми заданих лінійних розмірів. Зниження цього співвідношення призводить до зменшення розмірів берми і зсипання ґрунту в траншею.

Таким чином, двоступеневе розвантаження безківшевих роторних робочих органів забезпечує ефективну очистку від розробленого ґрунту як зовнішньої так і внутрішніх кільцевих порожнин ротора, практично виключає повторний перенос розробленого ґрунту знову в траншею.

#### **Висновки.**

Аналіз опублікованих результатів теоретичних і експериментальних досліджень існуючих конструкцій робочих органів траншейних екскаваторів показав, що для копання траншей заданих лінійних розмірів, з точки зору можливості збільшення продуктивності машини, доцільним є застосування безківшевих роторних робочих органів, здатних транспортувати ґрунт із забою суцільним безперервним потоком, а не окремими порціями.

Встановлена неможливість вдосконалення розвантаження безківшевих роторів шляхом їх оснащення традиційними конструкціями розвантажувальних вузлів, що використовуються на ківшевих роторних траншейних екскаваторах.

Запропоновано технічне рішення по створенню конструкції двоступеневого лоткового розвантажувального вузла безківшевого роторного робочого органа.

#### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Створення безковшового роторного робочого органа траншейного екскаватора з двоступеневим розвантаженням для спорудження місцевих газопроводів та кабельних ліній зв'язку. Звіт про НДР (заключний). / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Білякович М.О.; вик. Мусійко В.Д. [та ін.]. – К., 2014. – 158 с.

2. Домбровский Н.Г. Удельное сопротивление копанью зарубежных роторных траншейных экскаваторов / Н.Г. Домбровский, И.Л. Ципурский // Известия ВУЗов. – М. : «Машиностроение». – 1969. – № 1. – С. 15–17.

3. Домбровский Н.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкция, теория, расчет. – М. : Машиностроение, 1972. – 432 с.

4. Николаев С.Н. К оценке сопротивления грунта копанью на рабочем органе роторного траншейного экскаватора / С.Н. Николаев // Строительные и дорожные машины. – 1973. – № 12. – С. 7-8.

5. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. – М. : Машиностроение, 1977. – 288 с.

6. Соколов Г.И. Экскаваторы траншейные роторные / Г.И. Соколов, М.Е. Альшин // Строительные и дорожные машины. – 1978. – № 9. – С. 5-8.



7. Мусійко В.Д. Екскаратори поздовжнього копання: навч. посібник / В.Д. Мусійко. – К. : НТУ; ЗАТ «Віпол». – 2008. – 240 с.
8. Завьялов А.М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.05.04 / Александр Михайлович Завьялов; Сиб. гос. автомоб.-дор. акад. (СибАДИ). – Омск, 1999. – 36 с.
9. Сукач М.К. Закономерности взаимодействия рабочих органов землеройных машин с подводными вязкопластичными грунтами : дис... д-ра техн. наук: 05.05.04 / Сукач Михаил Кузьмич ; Киевский национальный ун-т строительства и архитектуры. - К., 2002. - 356 с.
10. Стрельников А.Н. Определение рациональных режимов работы цепных траншейных экскаваторов со скребковым рабочим органом : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.04 / Александр Николаевич Стрельников; СибАДИ. – Омск, 2003. – 16 с.
11. Мусийко В.Д. Определение рациональных конструктивных и кинематических параметров траншейных экскаваторов / В.Д. Мусийко, В.Ф. Маслов // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины : Респ. межвед. сб. – К. : Техніка. – 1987. –№ 41. – С. 36-39.
12. Иванченко С.Н. Улучшение конструкции и основных параметров роторных траншейных экскаваторов для работы на мерзлых породах / С.Н. Иванченко, С.А. Шемякин, Д.Г. Афанасьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 8. – С. 13-17.

#### REFERENCES

1. Bilyalovich M.O., Musiiko V.D. *Stvorennia bexlovshovoho rotornoho robochoho organa transheynoho ekskavatora z dvostupenevym rozvantazhenniam dlia sporudzhennia mistsevyh hazoprovodiv ta kabelnyh liniy zviazku* [Creating bucketless rotary implemen of the trench excavator with a two-stage discharge for the construction of local gas pipelines and cable lines]. Kyiv, National Transport University, 2014. 158 p.
2. Dombrovskiy, N.G., Tsepurskiy I.L. *Udelnoe soprotivlenie kopaniyu zarubezhnykh rotornykh transheynykh eksravatorov*. [Digging resistivity of foreign rotary trench excavators] *Izvestiya VUZov*. [Proceedings of universities]. Moskva, 1969, pp. 15-17.
3. Dombrovskiy, N. G. *Mnohokovshovye ekskavatory. Konstruktsiya, teoriyya y raschet* [Multi bucket excavators. Construction, theory and calculation] Moskva, 1972, 432 p.
4. Nikolaev S.N. *K otsenke soprotivleniya grunta kopaniyu na rabochem organe rotornogo transheynogo ekskavatora* [By digging the soil resistance evaluation on the working body of the rotary trencher]. *Stroitelnye i dorozhnye mashyny* [Building and road machines] Moscow, 1973, issue 12, p.p. 7-8.
5. Fedorov D. Y. *Rabochye orhany zemleroinykh mashyn* [The working bodies earthmoving machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1977, - 288 p.
6. Sokolov G.I., Alshyn M.E. *Ekskavatory transheynyy rotornyye* [Rotary trench excavators]. *Stroitelnye i dorozhnye mashyny* [Building and road machines] Moscow, 1978, issue 9, p.p. 5-8.
7. Musiiko V. D. *Ekskavatory pozdovzhnoho kopannia* [Continuous action excavators] Study guide for students who are studying in the specialty "Hoisting-transporting, constructional, road and agricultural machines and equipment". Kyiv, CJSC "Vipol", 2008. – 240 p.
8. Zavyalov A.M. *Osnovy teorii vzaimodeystviya rabochikh organov dorozhno-stroitelnykh mashyn so sredoy*. Avtoreferat Diss. [Fundamentals of the theory of interaction of the working bodies of road-building machines with the environment. Author's abstract]. Omsk, 1999, 36 p.
9. Sukach M.K. *Zakonomernosti vzaimodeysnveya rabochikh organov zemleroynykh mashyn s podvodnymi vyazkoplachichnyms gruntami* Doct. diss. [Regularities of the interaction of the working bodies of earth-moving machines with underwater viscoplastic soils. Doct. diss.]. Kiev, 2002. 356 p.
10. Strelnikov A.N. *Opredelenie ratsionalnykh rezhimov raboty tsepnykh transheynykh ekskavatorov so srrebkovym rabochim organom*. Avtoreferat Diss. [Determination of rational operating modes of chain trench excavators with a scraper working body. Author's abstract]. Omsk, 2004, 18 p.
11. Musiiko V.D., Maslov V.F. *Opredelenie ratsionalnykh konstruktivnykh i kinematicheskikh parametrov transheynykh ekskavstorov* [Determination of rational design and kinematic parameters of trench excavators]. *Gornye, stroitelnye s dorozhnye mashyny*. [Mining, constructional, road and melioration machines. Allukrainian collection of scientific works], 1987, issue 41, pp. 36-39.

12. Ivanchenko S.N., Shemyakinm Afanasev D.G. *Uluchshenie konstruktсии i osnovnykh parametrov rotornykh tranzheynykh ekskavatorov dlya raboty na merzlykh porodakh*. [Improvement of the design and main parameters of bucket wheel excavators for working on frozen rocks]. *Gornoe oborudovanie s elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], 2008, issue 8, pp. 13-17.

### РЕФЕРАТ

Мусійко В.Д. Шляхи підвищення продуктивності траншейних екскаваторів безперервної дії / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, Д.І. Пацьора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50).

В статті розглянуто та аргументовано шляхи та перспективи створення високоефективних конструкцій траншейних екскаваторів, що відкопують траншеї заданого профілю шляхом використання на них в якості ґрунторозробних робочих органів безківшевих роторів з розробкою удосконаленої конструкції вузла розвантаження ґрунту.

Мета дослідження: створення безківшевого високоефективного роторного робочого органа траншейного екскаватора з двоступеневим розвантаженням.

Об'єкт дослідження: землерийні машини безперервної дії.

Метод дослідження – аналітично-експериментальний.

Однією з найважливіших задач, поставлених перед машинобудівною промисловістю України, є підвищення ефективності техніки, яка створюється в країні. Рішення поставленої задачі викликане необхідністю виконання об'ємів земляних робіт в будівництві, що постійно збільшуються.

Найбільш дешевим способом створення протяжних виїмок у ґрунті є їх розробка траншейними екскаваторами. Підвищення їх продуктивності складає один з найважливіших напрямків збільшення ефективності механізації земляних робіт. Підвищення ефективності траншейних екскаваторів, можливе за рахунок використання на них для розробки ґрунтів безківшевих роторних робочих органів шляхом удосконалення процесу розвантаження їх роторів

В роботі обґрунтовано та підтверджено наукову гіпотезу про можливість використання для розвантаження безківшевих роторних робочих органів сили напору потоку ґрунту, що транспортується ним із забою, та дозволяє за рахунок двоступеневого розвантаження робочого органа забезпечити повну його очистку і збільшити продуктивність розробки ґрунту. Аналітично обґрунтовано вимоги до основних параметрів конструкції безківшевого ротора. Базуючись на отриманих результатах досліджень розроблено технічну пропозицію зі створення високоефективної конструкції безківшевого роторного робочого органа траншейних екскаваторів з двоступеневим розвантаженням.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** БЕЗКІВШЕВИЙ РОТОР, ҐРУНТ, ДВОСТУПЕНЕВЕ, РОЗВАНТАЖЕННЯ, РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ВУЗОЛ, ТРАНШЕСКОПАЧ

### ABSTRACT

Musiyko V.D., Koval A.B., Patsora D.I. Ways to increase the productivity in continuously operating trenching excavators. *Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 3 (50).

The article considers and reasons the ways and possibilities to create the highly efficient constructions of trenching excavators that dig trenches of the defined profile by means of using bucketless rotors as soil excavating implements together with design of the discharge assembly improved construction.

Study objective: to create a bucketless highly efficient rotary implement of the trenching excavator with two-stage discharge.

Study object: continuously operation earthmoving machines.

Research technique – analytical-experimental.

One of the most important problems for the machine-building industry of Ukraine is the efficiency improvement of machines created in the country. Solving of this problem is required due to necessity to perform the increasing amount of earthworks in building and construction works.

The cheapest way to perform lengthy soil excavations is to excavate them with trenching excavators. Increasing of their productivity is the one of the main directions to improve the efficiency of the earthworks

mechanization. Increasing the efficiency of trenching excavators is possible by means bucketless rotary implement usage and by improving of the rotary discharge process.

The study justifies and proves the scientific hypothesis about the possibility to use the force of the soil flow header pressure create by the soil that is being transported from the excavation for the bucketless rotary implements discharge. This allows by means of two-stage discharge of the implement to ensure the full clean-up and to improve the productivity of the soil excavation. The study analytically justifies the requirements for the main construction parameters of the bucketless rotor. Based on the obtained results the technical proposal is created for highly efficient construction of the bucketless rotary implement of the trenching excavator with two-stage discharge.

**KEYWORDS:** BUCKETLESS ROTOR, SOIL, TWO-STAGE, DISCHARGE, DISCHARGE ASSEMBLY, TRENCH DIGGER

### **РЕФЕРАТ**

Мусийко В.Д. Пути повышения производительности траншейных экскаваторов непрерывного действия / В.Д. Мусийко, А.Б. Коваль, Д.И. Пацьора // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 3 (50).

В статье рассмотрены и аргументированы пути и перспективы создания высокоэффективных конструкций траншейных экскаваторов, откапывающих траншеи заданного профиля путем использования на них в качестве грунторазрабатывающих рабочих органов безковшовых роторов с разработкой усовершенствованной конструкции узла разгрузки грунта.

Цель исследования: создание безковшового высокоэффективного роторного рабочего органа траншейного экскаватора с двухступенчатой разгрузкой.

Объект исследования: землеройные машины непрерывного действия.

Метод исследования - аналитически-экспериментальный.

Одной из важнейших задач, стоящих перед машиностроительной промышленностью Украины, является повышение эффективности техники, которая создается в стране. Решение поставленной задачи вызвано необходимостью выполнения постоянно увеличивающихся объемов земляных работ в строительстве.

Наиболее дешевым способом создания протяженных выемок в грунте является их разработка траншейными экскаваторами. Увеличение их продуктивности составляет одно из важнейших направлений повышения эффективности механизации земляных работ. Повышение эффективности траншейных экскаваторов возможно за счет использования на них для разработки грунтов безковшовых роторных рабочих органов, путем усовершенствования процесса разгрузки их роторов

В работе обосновано и подтверждено научную гипотезу о возможности использования для разгрузки безковшовых роторных рабочих органов силы напора потока грунта, транспортируемого им из забоя, и позволяет за счет двухступенчатой разгрузки рабочего органа обеспечить полную его очистку и увеличить производительность разработки грунта. Аналитически обоснованы требования к основным параметрам конструкции безковшового ротора. Основываясь на полученных результатах исследований разработано техническое предложение по созданию высокоэффективной конструкции безковшового роторного рабочего органа траншейных экскаваторов с двухступенчатой разгрузкой.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** БЕЗКОВШОВЫЙ РОТОР, ГРУНТ, ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ, РАЗГРУЗКА, РАЗГРУЗОЧНЫЙ УЗЕЛ, ТРАНШЕЕКОПАТЕЛЬ.

### **АВТОРИ:**

Мусийко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожніх машин, професор, e-mail: musvd@i.ua, тел: +380501040262, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226а, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: kandr@i.ua, тел. +380500240894, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Пацьора Данило Іванович, Національний транспортний університет, магістрант кафедри дорожніх машин, e-mail: dpatsora@gmail.com, тел. +380996460618, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0001-9515-3672.

**AUTHORS:**

Musiyko Volodymyr D., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Road Machines, Professor, e-mail: musvd@i.ua, tel: +380501040262, Ukraine, 01010, Kyiv, street. M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, ap. 226a, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Koval Andrii B., Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, associate professor department of road machines, e-mail: kandr@i.ua, tel. +38050240894, Ukraina, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Patsora Danulo I., National Transport University, graduate students department of road machines, e-mail: dpatsora@gmail.com, tel. +380996460618, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0001-9515-3672.

**АВТОРЫ:**

Мусийко Владимир Данилович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой дорожных машин, профессор, e-mail: musvd@i.ua, тел: +380501040262, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226а, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Коваль Андрей Борисович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры дорожных машин, e-mail: kandr@i.ua, тел. +38050240894, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Пацьора Данила Іванович, Національний транспортний університет, магістрант кафедри дорожніх машин, e-mail: dpatsora@gmail.com, тел. +380996460618, Україна, 01010, г. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0001-9515-3672.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Іткін О.Ф., доктор технічних наук, генеральний директор ПрАТ «Промислово-виробничий інститут зварювально-ізоляційних технологій при будівництві трубопроводів «Нафтогазбудізоляція»», Київ, Україна.

**REVIEWERS:**

Sakhno V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

Itkin O.F., Doctor of Technical Sciences, General Director «Neftegazstroyizoliatsiya» Industrial Production Institute of welding-insulation technologies to a piping building, Kyiv, Ukraine.