

УДК 621.879.44  
UDC 621.879.44

### **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ІНТЕНСИФІКАТОРІВ РОЗВАНТАЖЕННЯ ҐРУНТУ З РОБОЧИХ ОРГАНІВ ЗЕМЛЕРИЙНИХ МАШИН БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ**

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

*Кравець С.В.*, доктор технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, s.v.kravets@nuwm.edu.ua, orcid.org: 0000-0003-4063-1942

*Пухтаєвич О.І.*, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, alexeinox@gmail.com, orcid.org: 0000-0002-8543-112X

### **DETERMINATION OF RATIONAL MODES OF INTENSIFICATION OF GROWTH INTENSIFICATION WORKING FROM WORKING BODIES OF EARTHMOVERS IN SUSTAINABLE ACTIVITY**

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

*Kravets S.V.*, Doctor of Technical Sciences, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, s.v.kravets@nuwm.edu.ua, orcid.org: 0000-0003-4063-1942

*Pukhtaevich A.I.*, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, alexeinox@gmail.com, orcid.org: 0000-0002-8543-112X

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМОВ РАБОТИ ІНТЕНСИФІКАТОРОВ РАЗГРУЗКИ ПОЧВЫ С РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНИХ МАШИН НЕПРЕРИВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

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

*Кравец С.В.*, доктор технических наук, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина, s.v.kravets@nuwm.edu.ua, orcid.org: 0000-0003-4063-1942

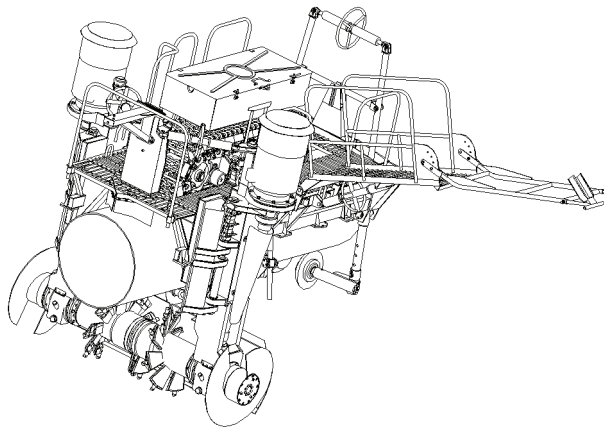
*Пухтаевич А.И.*, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина, alexeinox@gmail.com, orcid.org: 0000-0002-8543-112X

**Постановка проблеми та її актуальність.** Існуючі технології виконання капітального ремонту магістральних трубопроводів [1] не вирішують в повній мірі питання безпеки та якості виконання земляних та ремонтних робіт. Аварійні ситуації цілком можливі під час виконання виконанні земляних робіт по рекультиватії родючих ґрунтів при відкритті трубопроводів та при підкопуванні ґрунту під трубопроводами по причині того, що безпека їх виконання винятково залежить від технічних можливостей машин і кваліфікації машиністів.

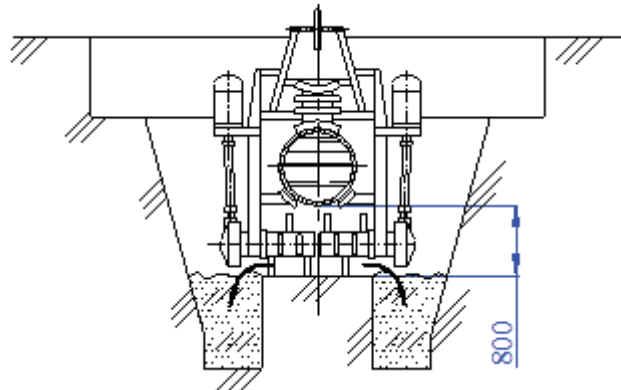
Підкопування ґрунту під трубою в процесі капітального ремонту магістральних трубопроводів без підйому труби в траншеї завжди має місце, незалежно від способу його виконання. В порядку реалізації наукової ідеї усунення невідповідності темпів виконання земляних та ремонтних робіт в процесі капітального ремонту магістральних трубопроводів, підкопування ґрунту під трубою має виконуватись зі швидкістю виконання земляних робіт по відкриттю трубопроводу. Труднощі роботи в перезволожених в'язких ґрунтах, недостатня розвантажуваність робочих органів, необхідність наявності в траншеї достатнього простору для розміщення розробленого та вигорнутого з-під труби ґрунту суттєво стримують темпи виконання робіт підкопувальними машинами.

В процесі копання ґрунтів під трубопроводами фрезерно-роторними робочими органами підкопувальних машин, рис. 1, відділення ґрунту від масиву забезпечується суміщенням швидкостей різання  $V_p$  та подачі робочого органу на забій  $V_e$ , а переміщення розробленого ґрунту в зону складання здійснюється вздовж осі обертання робочого органу [2–5]. Потужність, що витрачається на привід робочого органу, в значній мірі обумовлюється наявністю призми відсипаного ґрунту, або металокопункції кріплення фрези на виході ґрунту з робочого органу.

Розроблений ґрунт однозначно повинен прибиратися з торців фрез і не створювати додаткових опорів. Прибрати розроблений ґрунт можна в приямки, створені в траншеї вздовж трубопроводу (за таким принципом працює абсолютна більшість відомих конструкцій підкопувальних машин), до бокових стінок розробленої виїмки з обох боків труби, вперед, або назад від осі обертання фрез, переміщуючи ґрунт по дну відкопаних траншей.



а – конструктивна схема машини зі шнековим інтенсифікатором розвантаження;  
a - the design scheme of the machine with a screw intensifier of unloading;



б – схема переміщення розробленого ґрунту в приямки обабіч трубопроводу;  
b - scheme of movement of the developed soil in the berths along the pipeline

Рисунок 1 – Машина підкопувальна роторна МПР-1М.  
Figure 1 - The machine for digging rotary MPR-1M.

Необхідність спорудження додаткових приямків обабіч труби суттєво збільшує об'єми земляних робіт, які необхідно виконати в процесі повного відкриття трубопроводу, знижує темпи виконання земляних та ремонтних робіт в цілому. Переміщення розробленого ґрунту до бокових стінок виїмки навколо труби потребує збільшення її ширини для розміщення розробленого під трубою ґрунту. Це також збільшує об'єм ґрунту, який необхідно розробити в процесі відкриття трубопроводу і, як наслідок, зменшує продуктивність та темпи виконання земляних робіт під час капітального ремонту трубопроводів [6].

**Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій.** Відомі пропозиції по конструктивному удосконаленню підкопувачів шляхом їх оснащення ланцюговими евакуаторами, або роторними металельниками чи шнеками [7]. Це мало б забезпечити переміщення розробленого під трубопроводом ґрунту не в приямки, а до бічних стінок уширеної траншеї, або на робоче обладнання машини відкриття трубопроводу, що іде попереду підкопувальної. Однак, вказане обладнання не знайшло своєї практичної реалізації через складність та низьку ефективність роботи.

Проблема може бути вирішена шляхом імпульсної інтенсифікації розвантаження ґрунту, розробленого під трубопроводом фрезерно-роторним робочим органом підкопувальної машини та зміщеного на обидві сторони від труби [8, 9]. Для цього підбір ґрунту, що вийшов з фрезерно-роторного робочого органу, має здійснюватись транспортуючими лопатками, що обертаються у просторі, а розвантаження його з лопаток відбуватися в напрямі робочого обладнання машини відкриття трубопроводу з допомогою якого розроблений ґрунт буде піднято із забою.

**Мета дослідження.** Розробка технічної пропозиції на створення інтенсифікатора розвантаження ґрунту, розробленого машиною підкопувальною, та визначення раціональних режимів його роботи в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту.

**Основна частина.** Компонувальна схема інтенсифікатора [10], на основі якої складено розрахункову схему, приведена на рис. 2. Ґрунтовідкидальним елементом інтенсифікатора слугує лопатка що обертається відносно осі привідного вала разом з важелем на якому її встановлено. Лопатка може бути виконана у вигляді рамки з закріпленням на ній гнучким днищем, утвореним сплетеними між собою ланцюгами. У складі кожного інтенсифікатора має бути дві симетрично розміщені одна відносно іншої лопатки встановлені на рівноплечих важелях відносно осі обертання корпусу. Для забезпечення реалізації імпульсу сил інерції, що надаються ґрунту в момент його розвантаження, важелі лопаток мають складатися з двох частин, шарнірно з'єднаних між собою, як показано на рис. 2, а.

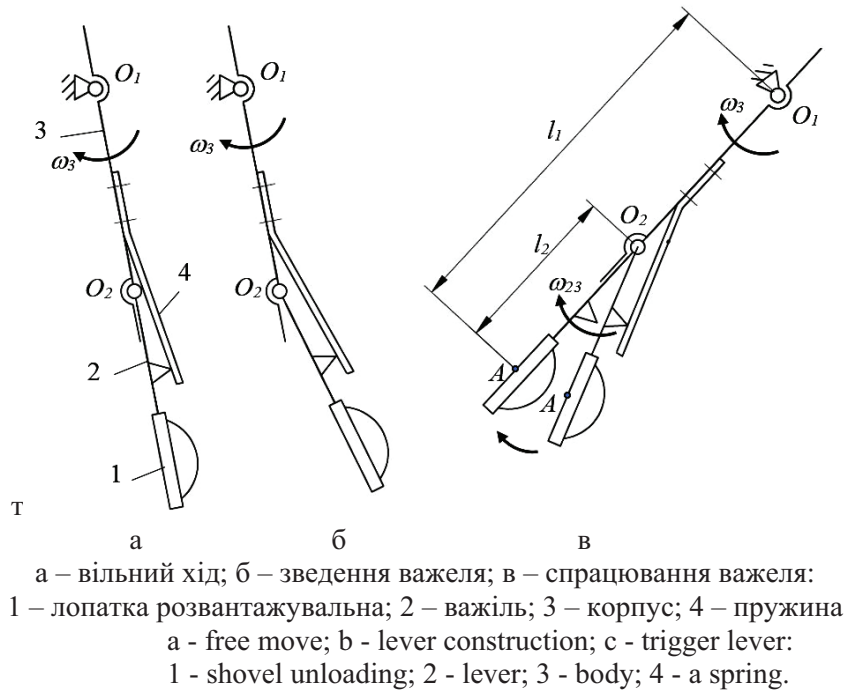


Рисунок 2 – Компонувальна схема інтенсифікатора  
 Figure 2 - Compact circuit diagram of the intensifier

Імпульс сил інерції може надаватися ґрунту в потрібній точці переміщення лопатки у просторі під час розпрямлення пружини, встановленої між важелями, як показано на рис. 2.

Приймається що робочий орган інтенсифікатора розташований в системі координат  $XOY$ , рис. 3 [10].

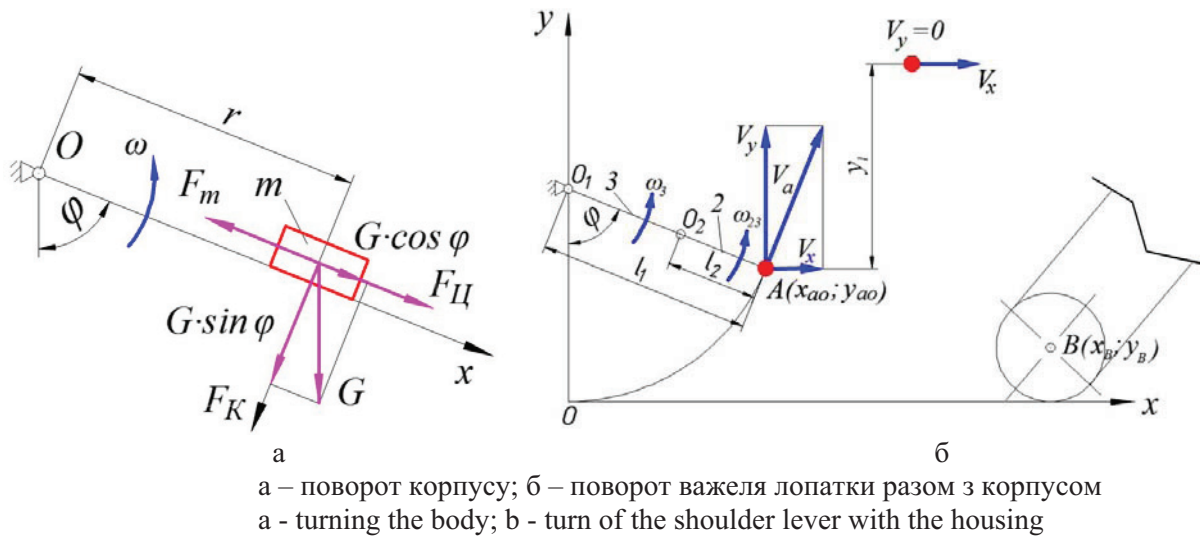


Рисунок 3 – Розрахункові схеми руху елементарного об'єму ґрунту по поверхні лопатки інтенсифікатора

Figure 3 - Estimated flow diagrams of the elemental volume of soil along the surface of the blade of the intensifier

Корпус інтенсифікатора обертається з постійною кутовою швидкістю  $\omega$ . У положенні корпусу, що визначається кутом  $\varphi$ , на частку ґрунту масою  $m$ , яка знаходиться на відстані  $r$  від осі обертання корпусу, діють сили: ваги ґрунту  $G = mg$ , відцентрова сила інерції  $F_{\omega} = m \cdot \omega^2 \cdot r$ , коріолісова сила інерції  $F_{\kappa} = 2 \cdot m \cdot V \cdot \omega$  ( $V$  – швидкість руху частинки ґрунту щодо несучої поверхні лопатки) і сила тертя  $F_m = (m \cdot g \cdot \sin \varphi + 2 \cdot m \cdot V \cdot \omega) \cdot \mu_1$ , ( $\mu_1$  – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту).

Диференціальне рівняння руху елементарного об'єму ґрунту масою  $m$  по робочій поверхні лопатки:

$$m\ddot{x} = F_u + G \cos \varphi - F_m, \quad (1)$$

де  $\ddot{x}$  – прискорення, надане ґрунту в процесі розвантаження.  
Після підстановки значень сил:

$$\begin{cases} F_u = m \omega^2 r = m(\omega \cdot r)\omega = mV \omega = m \omega \dot{x}; \\ F_m = (mq \sin \varphi + 2mV \omega)\mu_1 = (mq \sin \omega t + 2m \omega \dot{x})\mu_1, \end{cases} \quad (2)$$

в рівняння (1), отримаємо:

$$m\ddot{x} = m\omega \dot{x} + G \cos \omega t - (mq \sin \omega t + 2m\omega \dot{x})\mu_1$$

Рівняння (1) може бути записане наступним чином:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \omega \dot{x} + q \cos \omega t - f q \sin \omega t - 2f \omega \dot{x} = \omega(1-2f)\dot{x} + (\cos \omega t - f \sin \omega t)q; \\ \ddot{x} - \omega(1-2f)\dot{x} - (\cos \omega t - f \sin \omega t)q &= 0, \end{aligned}$$

або

$$\ddot{x} + a\dot{x} + b = 0, \quad (3)$$

де  $a = -(1-2\mu_1)\omega$ ;  $b = -(\cos \omega t - \mu_1 \sin \omega t)q$

Після введення нової функції  $z(t) = \frac{dx}{dt} = \dot{x}$  в рівняння (3), воно стає диференціальним рівнянням першого порядку:

$$\dot{z} + az = -b. \quad (4)$$

Вирішивши відповідне однорідне рівняння  $\dot{z} + az = 0$ , після розділу змінних та інтегрування, знаходимо:

$$\frac{dz}{dt} + az = 0, \text{ або } \frac{dz}{z} + a dt = 0.$$

В результаті інтегрування маємо:

$$\ln z + at = \ln c,$$

або

$$\ln z = \ln c - \ln e^{at} = \ln \frac{c}{e^{at}}.$$

В результаті

$$z = ce^{-at}. \quad (5)$$

Загальне рішення рівняння (5) представимо як  $z = c(t)e^{-at}$ , після диференціювання рівняння (5) має вигляд:

$$\dot{z} = \dot{c}(t)e^{-at} - c(t)ae^{-at} \quad (6)$$

Для визначення  $\dot{c}(t)$  підставимо (5) і (6) в (4), в результаті:

$$\dot{c}(t)e^{-at} = (\cos \omega t - \mu_1 \sin \omega t)q.$$

З наведеного рівняння:

$$\dot{c}(t) = q(\cos \omega t - \mu_1 \sin \omega t)e^{at},$$

або

$$\begin{aligned} c(t) &= q \int \cos \omega t \cdot e^{at} dt - \mu_1 q \int \sin \omega t e^{at} dt = \\ &= \frac{qe^{at}}{a^2 + \omega^2} (a \cos \omega t + \omega \sin \omega t) - \mu_1 q \frac{e^{at}}{a^2 + \omega^2} (a \sin \omega t - \omega \cos \omega t) = \\ &= q \frac{e^{at}}{a^2 + \omega^2} (a \cos \omega t + \omega \sin \omega t - \mu_1 a \sin \omega t + \mu_1 \omega \cos \omega t) = \\ &= q \frac{e^{at}}{a^2 + \omega^2} [(a + \mu_1 \omega) \cos \omega t + (\omega - \mu_1 a) \sin \omega t] + C_1. \end{aligned}$$

Тоді:

$$z = \frac{q(a + \mu_1 \omega)}{a^2 + \omega^2} \cos \omega t + q \frac{\omega - \mu_1 a}{a^2 + \omega^2} \sin \omega t + C_1 e^{-at}. \quad (7)$$

При  $t = 0$ , швидкість переміщення елементарного об'єму ґрунту:

$$\dot{x}_{t=0} = q \frac{a + \mu_1 \omega}{a^2 + \omega^2} + C_1 = 0.$$

Звідки :

$$C_1 = -q \frac{a + \mu_1 \omega}{a^2 + \omega^2}.$$

Рівняння (7) набуває вигляду:

$$z = \frac{dx}{dt} = q \frac{a + \mu_1 \omega}{a^2 + \omega^2} \cos \omega t + q \frac{\omega - \mu_1 a}{a^2 + \omega^2} \sin \omega t - q \frac{a + \mu_1 \omega}{a^2 + \omega^2} e^{-at}. \quad (8)$$

Після інтегрування маємо:

$$x(t) = q \frac{a + \mu_1 \omega}{(a^2 + \omega^2)\omega} \sin \omega t - q \frac{\omega - \mu_1 a}{(a^2 + \omega^2)} \cos \omega t + q \frac{a + \mu_1 \omega}{(a^2 + \omega^2)a} e^{-at} + C_2. \quad (9)$$

При  $t = 0, x = 0$ , тому  $C_2 = -\frac{\mu_1 q}{a\omega}$ .

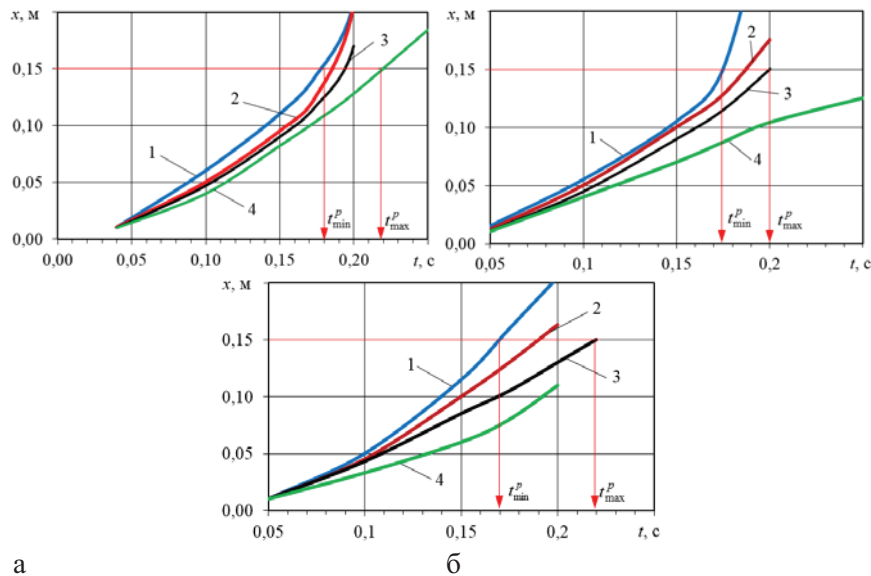
Із залежностей (8) і (9) з урахуванням позначень у виразі (3), отримані формули для визначення швидкості  $V$  і переміщення  $S$  елементарного об'єму ґрунту по поверхні лопатки інтенсифікатора в напрямку осі  $OX$ .

$$\begin{aligned} V_x &= q \frac{3\mu_1 - 1}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2]\omega} \cos \omega t + q \frac{1 + (1 - 2\mu_1)\mu_1}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2]\omega} \sin \omega t - \\ &- q \frac{3\mu_1 - 1}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2]\omega} e^{-at} = q \frac{3\mu_1 - 1}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2]\omega} (\cos \omega t - e^{(1-2\mu_1)\omega t}) + \\ &+ q \frac{1 + (1 - 2\mu_1)\mu_1}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2]\omega} \sin \omega t. \end{aligned} \quad (10)$$

$$x(t) = q \frac{3\mu_1 - 1}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2] \cdot \omega^2} \cdot \sin \omega t - q \frac{1 + (1 - 2\mu_1)\mu_1}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2] \cdot \omega^2} \cdot \cos \omega t -$$

$$- y \frac{(3\mu_1 - 1)e^{(1-2\mu_1)\omega t}}{[1 + (1 - 2\mu_1)^2](1 - 2\mu_1) \cdot \omega^2} + q \frac{\mu_1}{(1 - 2\mu_1)^2 \cdot \omega^2} \quad (11)$$

На рис. 4 наведені результати досліджень, що визначають залежності шляху переміщення ґрунту по корпусу лопатки інтенсифікатора від часу. При заданій довжині корпусу інтенсифікатора, час і кут розвантаження залежать від кутової швидкості корпусу і коефіцієнта зовнішнього тертя ґрунту.



а –  $\omega = 5,0 \text{ c}^{-1}$ ; б –  $\omega = 7,0 \text{ c}^{-1}$ ; в –  $\omega = 9,0 \text{ c}^{-1}$ ; 1 –  $\mu_1 = 0,2$ ; 2 –  $\mu_1 = 0,3$ ; 3 –  $\mu_1 = 0,4$ ; 4 –  $\mu_1 = 0,6$

Рисунок 4 – Залежності зміни шляху  $x$  переміщення ґрунту по поверхні розвантажувальної лопатки від часу розвантаження  $t$

Figure 4 - Dependences of the change of the path  $x$  the soil movement on the surface of the discharge bucket from the time of discharge  $t$

Так, наприклад, якщо довжина корпусу  $l_1 = 0,15 \text{ м}$  (див. рис. 4, а) і його кутова швидкість  $\omega = 5,0 \text{ c}^{-1}$ , мінімальний час розвантаження для коефіцієнта тертя  $\mu_1 = 0,2$  складає  $t_p^{\min} = 0,18 \text{ с}$ , а максимальний для  $\mu_1 = 0,6$  –  $t_p^{\max} = 0,217 \text{ с}$ . При цьому мінімальний і максимальний кути розвантаження, відповідно, дорівнюють  $\varphi_{\min} = 52,0^\circ$  і  $\varphi_{\max} = 62,0^\circ$ . При кутовій швидкості  $\omega = 7,0 \text{ c}^{-1}$  мінімальний кут розвантаження дорівнює  $\varphi_{\min} = 69,0^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,2$ ), а максимальний кут  $\varphi_{\max} = 80,0^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,4$ ). При величині коефіцієнта тертя  $\mu_1 = 0,6$  (див. рис. 4, в), ґрунт повністю не встигає зійти з корпусу інтенсифікатора (розвантажитися) і переноситься назад у траншею.

При кутовій швидкості  $\omega = 9,0 \text{ c}^{-1}$ , будь-який ґрунт не встигає розвантажитися за час  $t_p = 0,17 \dots 0,22 \text{ с}$ . Якщо довжина корпусу більша або менша за  $l_1 = 0,15 \text{ м}$ , то час і кут розвантаження необхідно визначати додатково.

При довжині корпусу  $l_1 = 0,10 \text{ м}$ , при кутовій швидкості  $\omega = 5,0 \text{ c}^{-1}$  мінімальний час розвантаження для коефіцієнта тертя  $\mu_1 = 0,2$  становить  $t_p^{\min} = 0,14 \text{ с}$ , а максимальний для  $\mu_1 = 0,6$  –  $t_p^{\max} = 0,17 \text{ с}$ . При цьому мінімальний і максимальний кути розвантаження, дорівнюють  $\varphi_{\min} = 49^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,2$ ), а максимальний кут  $\varphi_{\max} = 46^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,4$ ). При кутовій швидкості  $\omega = 7,0 \text{ c}^{-1}$  мінімальний час розвантаження для коефіцієнта тертя  $\mu_1 = 0,2$  буде дорівнювати  $t_p^{\min} = 0,142 \text{ с}$ , а максимальний для  $\mu_1 = 0,6$  –  $t_p^{\max} = 0,19 \text{ с}$ . При цьому, мінімальний і максимальний кути розвантаження, дорівнюють  $\varphi_{\min} = 57^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,2$ ), а максимальний кут  $\varphi_{\max} = 76^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,6$ ). За кутової швидкості  $\omega = 9,0 \text{ c}^{-1}$  мінімальний час розвантаження для коефіцієнта тертя  $\mu_1 = 0,2$  –  $t_p^{\min} = 0,14 \text{ с}$ , а максимальний для  $\mu_1 = 0,6$  –  $t_p^{\max} = 0,191 \text{ с}$ . В такому

випадку мінімальний і максимальний кути розвантаження, досягають величини  $\varphi_{\min} = 12^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,2$ ), а максимальний кут  $\varphi_{\max} = 98^\circ$  (для  $\mu_1 = 0,6$ );

#### Висновки.

1. Результати виконаних досліджень дозволяють стверджувати, що за умови жорсткого кріплення корпусу до ланок робочого органу інтенсифікатора розвантаження ґрунту з різними фізико-механічними властивостями здійснити проблематично.

2. Ефективне розвантаження ґрунтів можливе за умови шарнірного з'єднання ланок механізму інтенсифікатора та додаткового підпружинювання розвантажувальних лопаток.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Магістральні газопроводи. Лінійна частина. Капітальний ремонт. ВБН 3.1-00013741-08:2008. Міністерство палива на енергетики України. К. : - 2008. 214 с.

2. Патент на винахід 17163 Україна, МПК6 В62D 55/24, E02F 5/10. Машина для підкопу трубопроводу і гусеничний ходовий пристрій / О.В. Биков, С.К. Василенко, А.С. Джарджиманов, М.Ш. Ібрагімов, А.Б. Коваль, А.С. Кумилганов, Ю.Б. Лейченко, В.Д. Мусійко, В.І. Савенок, В.Д. Черняєв, В.І. Яковлев ; заявники та власники Транснефть (RU); П-во Придніпр. магістрал. нафтопроводів (UA); Н.-д. та техн. центр Ротор (UA). – № 96093693 ; заявл. 25.09.1996 ; опубл. 25.12.1998, Бюл. № 6.

3. Патент на изобретение 2114253 Российская Федерация, МПК6 E02F5/10, В62D 55/27. Машина для подкопа трубопровода и гусеничное ходовое устройство / А.В. Быков, С.К. Василенко, А.С. Джарджиманов, М.Ш. Ибрагимов, А.Б. Коваль, А.С. Кумылганов, Ю.Б. Лейченко, В.Д. Мусийко, В.И. Савенок, В.Д. Черняев, В.И. Яковлев ; заявители и патентообладатели Транснефть (RU); Предприятие Приднепр. магистральных нефтепроводов (UA); Научно-исслед. и техн. центр Ротор (UA). – № 96119082/03 ; заявл. 25.09.1996 ; опубл. 27.06.1998.

4. Патент на винахід № 93459 Україна МПК(2011.01) E02F 5/10. Підкопуюче устаткування для зрізання та евакуації ґрунту з-під трубопроводу / О.М. Карпенко, В.Д. Мусійко ; заявники та власники О.М. Карпенко, В.Д. Мусійко. – № а 2009913332 ; заявл. 22.12.2009 ; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 3.

5. Вахидов У.Ш. Методика определения сил сопротивления вращению рабочего органа подпочной машины / У.Ш. Вахидов, А.В. Вершинин, Н.А. Колесниченко, А.Р. Пуртов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17881/>.

6. Мусійко В.Д. Інтенсифікація робочих процесів спеціальних землерийних машин безперервної дії / Л.А. Хмара, В.Д. Мусійко // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій : матеріали конференції. – Л. : КІНПАТРНІ ЛТД, 2016. – С. 155–156.

7. Патент на винахід № 108825 Україна. МПК(2006.01) E02F 3/36, E02F 5/08. Машина для підкопування ґрунту під трубопроводом з інтенсифікаторами розвантаження / М.Ф. Дмитриченко, М.О. Білякович, В.Д. Мусійко, Ю.В. Вошак, М.О. Гончар, А.Б. Коваль ; власник Нац. трансп. ун-т ; – № а 201408760 ; заявл. 25.12.2014 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11.

8. Мусійко В. Землеройная машина для разработки и удаления грунта из-под трубопровода / В. Мусийко, М. Гончар // Научные известия. 23rd International scientific and technical conference on transport, road-building, agricultural, hoisting & hauling and military technics and technologies. Trans & MOTAUTO'15. Varna, Bulgaria. – 2015. – S. 68–71.

9. Мусійко В.Д. Вибір режимів роботи інтенсифікаторів розвантаження ґрунту з робочих органів машини підкопування ґрунту під трубопроводами / М.О. Гончар, В.Д. Мусійко, Ю.В. Вошак // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 15. – С. 19–28.

10. Патент на винахід 94563 Україна МПК(2006.01) E02F 5/08, E02F 5/06, E02F 5/10. ТанDEM машин для розкривання та підкопування трубопроводу або іншого подібного підземного об'єкта / М.Ф. Дмитриченко, В.Д. Мусійко, М.О. Білякович, М.П. Кузьмінець, В.Х. Баланин, В.І. Савенок ; власник Нац. трансп. ун-т ; – № а 201011837 ; заявл. 06.10.2010 ; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9.

#### REFERENCES

1. Mahistral'ni hazoprovody. Liniynya chastyna. Kapital'nyy remont. [Main gas pipelines. Linear part. Overhaul]. (2008). VBN 3.1-00013741-08: 2008. Kiyv: Ministerstvo palyva na enerhetyky Ukrayiny [in Ukrainian].

2. Bykov, O.V., Vasylenko, S.K., Dzhardzhymanov, A.S., Ibrahimov, M.Sh., Koval', A.B., Kumylhanov, A.B. et al., *Mashyna dlya pidkopu truboprovodu i husenychnyy khodovyy prystryy* [Pipe digging machine and crawler chassis] Patent UA, no. 96093693, 1996.

3. Byikov, A.V., Vasilenko, S.K., Dzhardzhimanov, A.S., Ibragimov, M.Sh., Koval, A.B., Kumyilganov, A.S. et al. *Mashina dlya podkopa truboprovoda i gusenichnoe hodovoe ustroystvo* [Pipeline Submerger and Tracked Tracking Device] Patent RU, no. 96119082, 1996

4. Karpenko, O.M., Musiyko V.D., *Pidkopuyuche ustatkuvannya dlya zrizzannya ta evakuatsiyi gruntu z-pid truboprovodu* [Dredging equipment for cutting and evacuation of soil from under the pipeline] Patent UA, no a 2009913332, 2009.

5. Vahidov, U.Sh., Vershinin, A.V., Kolesnichenko, N.A., Purtov A.R. *Sovremennye problemy nauky y obrazovanyya. (Modern problems of science and education) Metodyka opredeleniya syl soprotivleniya vrashcheniyu rabocheho orhana podkopochnoy mashyny - Technique of determining the forces of resistance to rotation of the working element of the sub-car*, 2015, № 1-1. Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17881/>

6. Khmara L.A., Musiyko V.D. *Intensyfikatsiya robochykh protsesiv spetsial'nykh zemlerynykh mashyn bezperervnoyi diyi* [Intensification of working processes of special earthmoving machines of continuous action] *Teoriya ta praktyka ratsional'noho proektuvannya, vyhotovlennya i ekspluatatsiyi mashynobudivnykh konstruksiy* [Theory and practice of rational design, manufacturing and operation of machine-building constructions]. Lviv, 2016. pp. 155–156.

7. Dmytrychenko, M.F., Bilyakovych, M.O., Musiyko, V.D., Voshchak, Yu.V., Honchar, M.O., Koval', A.B. *Mashyna dlya pidkopuvannya gruntu pid truboprovodom z intensyfikatoryamy rozvantazhennya* [Trench digging machine under the pipeline with unloading intensifiers] Patent UA, no. a 201408760, 2014.

8. Musyyko, V., Honchar, M. *Zemleroy'naya mashyna dlya razrobotky y udalennya hrunta yz-pod truboprovoda* [Earthmoving machine for the development and removal of dirt soil under the pipeline], [23rd International scientific and technical conference on transport, road-building, agricultural, hoisting & hauling and military technics and technologies. Trans & MOTAUTO'15], Varna, Bulgaria. 2015. pp. 68–71.

9. Honchar, M.O., Musiyko, V.D., Voshchak, Yu.V. *Vybir rezhymiv roboty intensyfikatoryv rozvantazhennya gruntu z robochykh orhaniv mashyny pidkopuvannya gruntu pid truboprovodamy* [Selection of modes of intensive work of soil unloading from working bodies of the machine of excavation of soil under pipelines] *Upravlinnya proektamy, systemnyy analiz i lohistyka* [Project Management, System Analysis and Logistics], Kyiv, 2015. vol.15. pp. 19–28.

10. Dmytrychenko, M.F., Musiyko, V.D., Bilyakovych, M.O., Kuz'minets', M.P., Balanin, V.Kh., Savenov, V.I. *Tandem mashyn dlya rozkryvannya ta pidkopuvannya truboprovodu abo inshoho podobnoho pidzemnoho ob'yekta* [Tandem machines for opening and tidying a pipeline or other similar underground facility] Patent UA, no. a 201011837, 2010.

## РЕФЕРАТ

Мусійко В.Д. Визначення раціональних режимів роботи інтенсифікаторів розвантаження ґрунту з робочих органів землерийних машин безперервної дії / В.Д. Мусійко, С.В. Кравець, О.І. Пухтасевич // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2018. – Вип. 1 (40) .

В статті обґрунтовано технічну пропозицію на створення інтенсифікатора розвантаження ґрунту, розробленого машиною підкопувальною з визначенням раціональних режимів його роботи в залежності від фізико-механічних властивостей розроблюваного ґрунту

Об'єкт дослідження: ґрунт, що переноситься транспортуючою лопаткою робочого органу.

Мета роботи: розробка технічної пропозиції на створення інтенсифікатора розвантаження ґрунту, розробленого машиною підкопувальною, та визначення раціональних режимів його роботи в залежності від фізико-механічних властивостей розроблюваного ґрунту.

Підкопування ґрунту під трубою в процесі капітального ремонту магістральних трубопроводів без підйому труби в траншеї завжди має місце, незалежно від способу його виконання. Підкопування ґрунту має виконуватись зі швидкістю виконання земляних робіт по відкриттю трубопроводу. Труднощі роботи в перезволожених в'язких ґрунтах, недостатня розвантажувальність робочих органів, необхідність наявності в траншеї достатнього простору для розміщення розробленого та вигорнутого з-під труби ґрунту зменшують темпи виконання робіт підкопувальними машинами. Розроблений ґрунт однозначно повинен прибиратися з торців фрез і не створювати додаткових опорів.



Прибрати розроблений ґрунт можна в прямки, створені в траншеї вздовж трубопроводу (за таким принципом працює абсолютна більшість відомих конструкцій підкопувальних машин), до бокових стінок розробленої виїмки з обох боків труби, вперед, або назад від осі обертання фрез, перемішуючи ґрунт по дну відкопаних траншей.

Переміщення розробленого ґрунту до бокових стінок виїмки потребує збільшення її ширини для розміщення розробленого під трубою ґрунту. Це збільшує об'єм ґрунту, який необхідно розробити в процесі відкриття трубопроводу і зменшує продуктивність та темпи виконання земляних робіт під час капітального ремонту трубопроводів.

Проблема може бути вирішена шляхом імпульсної інтенсифікації розвантаження ґрунту, розробленого під трубопроводом фрезерно-роторним робочим органом підкопувальної машини та зміщеного на обидві сторони від труби.

Результати виконаних досліджень дозволяють стверджувати, що за умови жорсткого кріплення корпусу до ланок робочого органу розвантаження ґрунту здійснити проблематично а ефективно розвантаження ґрунтів можливе за умови шарнірного з'єднання ланок механізму інтенсифікатора та додаткового підпружинювання розвантажувальних лопаток.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ІНТЕНСИФІКАТОР, ТРАНШЕЯ, РОЗВАНТАЖЕННЯ, ТРУБА, ФРЕЗА.

### **ABSTRACT**

Musiyko V.D., Kravets S.V., Pukhtajevich O.I. Determination of the rational modes of operation of intensifiers of soil unloading from the working bodies of excavating machines of continuous action. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2018. – Issue 1 (40).

The article proposes a technical proposal for the creation of an intensifier of soil unloading, developed by the machine digging, and the definition of rational modes of its operation, depending on the physical and mechanical properties of the soil to be developed

Object of research: soil, which is carried by a scraper of a working body

The purpose of the work: the development of a technical proposal for the creation of an intensifier of soil unloading, developed by the machine digging, and the definition of rational modes of its operation, depending on the physical and mechanical properties of the soil to be developed.

Trenching the soil under the pipe during the overhaul of main pipelines without lifting the pipe in the trench always takes place, regardless of the method of its execution. The excavation of soil under the pipe should be carried out with the speed of excavation at the opening of the pipeline. Difficulties in working in impregnated viscous soils, insufficient unloading of working bodies, the necessity of having enough space in the trench for the placement of a developed and wrapped from under the soil pipe, reduce the pace of work by dredging machines. The developed soil should definitely be removed from the ends of the mill and not create additional resistance.

It is possible to remove the developed soil in the pits, created in the trench along the pipeline (based on this principle, the absolute majority of known structures of the dredging machines works), to the lateral walls of the developed duct on both sides of the pipe, forward or backward from the axis of rotation of mills, moving the soil along the bottom of the excavated trenches .

Moving the developed soil to the lateral walls of the duct around the pipe requires an increase in its width for placement of the soil under the pipe. This increases the amount of soil that needs to be developed during the opening of the pipeline and reduces the productivity and pace of excavation during major overhaul of pipelines.

The problem can be solved by impulse intensification of soil unloading, developed under the pipeline by a milling rotary working body of the submachine and displaced on both sides of the pipe.

The results of the performed researches allow to assert that if rigid mounting of the body to the parts of the working body of unloading of soil with different physical and mechanical properties is problematic and effective soil unloading is possible provided the hinged connection of the links of the mechanism of the intensifier and additional springing of the discharge blades.

**KEYWORDS:** INTENSIFIER, TRENCH, LOADING, PIPE, FRESES.

### **РЕФЕРАТ**

Мусийко В.Д. Определение рациональных режимов работы интенсификаторов разгрузки ґрунта из рабочих органов землеройных машин непрерывного действия / В.Д. Мусийко, С.В. Кравец,

А.И. Пухтаевич // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2018. – Вып. 1 (40).

В статье обосновано техническое предложение на создание интенсификатора разгрузки грунта, разработанного машиной подкапывающей, с определением рациональных режимов его работы в зависимости от физико-механических свойств разрабатываемого грунта

Объект исследования: грунт, который переносится транспортирующей лопаткой рабочего органа.

Цель работы: разработка технического предложения на создание интенсификатора разгрузки грунта, разработанного машиной подкапывающей, и определение рациональных режимов его работы в зависимости от физико-механических свойств разрабатываемого грунта.

Подкапывание грунта под трубой в процессе капитального ремонта магистральных трубопроводов без подъема трубы в траншее всегда имеет место, независимо от способа его исполнения. Подкапывание грунта должно выполняться со скоростью производства земляных работ по открытию трубопровода. Трудности работы в переувлажненных вязких грунтах, недостаточная разгрузочная способность рабочих органов, необходимость наличия в траншее достаточного пространства для размещения разработанного и извлеченного из-под трубы грунта уменьшают темпы выполнения работ подкапывающими машинами. Разработанный грунт однозначно должен убираться с торцов фрез и не создавать дополнительных сопротивлений.

Убрать разработанный грунт можно в прямки, созданные в траншее вдоль трубопровода (по такому принципу работает абсолютное большинство известных конструкций подкапывающих машин), к боковым стенкам разработанной выемки с обеих сторон трубы, вперед или назад от оси вращения фрез, перемещая грунт по дну откопанных траншей.

Перемещение разработанного грунта к боковым стенкам выемки требует увеличения ее ширины для размещения разработанного под трубой грунта. Это увеличивает объем грунта, который необходимо разработать в процессе открытия трубопровода, уменьшает производительность и темпы выполнения земляных работ при капитальном ремонте трубопроводов.

Проблема может быть решена путем импульсной интенсификации разгрузки грунта, разработанного под трубопроводом фрезерно-роторным рабочим органом подкапывающей машины и смещенного на обе стороны от трубы.

Результаты выполненных исследований позволяют утверждать, что при условии жесткого крепления корпуса интенсификатора к звеньям рабочего органа разгрузку грунта осуществить проблематично, эффективная разгрузка грунта возможна при условии шарнирного соединения звеньев механизма интенсификатора и дополнительного подпружинивания разгрузочных лопаток.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ИНТЕНСИФИКАТОР, ТРАНШЕЯ, РАЗГРУЗКА, ТРУБА, ФРЕЗА.

#### **АВТОРИ:**

Мусійко 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, кв. 226. orcid.org: 0000-0001-9983-3296.

Кравець Святослав Володимирович, доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, Завідувач кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних машин та обладнання, професор, e-mail: s.v.kravets@nuwm.edu.ua, тел: +380972891589, Україна, 33022, м. Рівне, вул. Соломії Крушельницької 54, кв. 24. orcid.org: 0000-0003-4063-1942

Пухтаєвич Олексій Ігорович, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: alexeinox@gmail.com, тел: +380973058498, Україна, 36000, м. Костопіль, вул. Чубинського 14, кв. 24. orcid.org: 0000-0002-8543-112X.

#### **AUTHORS:**

Musiyko Volodymyr Danilovich, 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. Omelanovich-Pavlenko, 1, ap. 226. orcid.org: 0000-0001-9983-3296.

Kravets Svyatoslav Volodimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Water Management and Nature Management, Head of the Department of Construction, Road, Reclamation

Machinery and Equipment, Professor, e-mail: s.v.kravets@nuwm.edu.ua, tel: + 380972891589, Ukraine, 33022, Rivne, street. Solomia Krushelnytska 54, ap. 24. orcid.org:: 0000-0003-4063-1942.

Pukhtajevich Olexiy Igorovich, National University of Water Management and Nature Management, e-mail: alexeinox@gmail.com, tel: +380973058498, Ukraine, 36000, Kostopil, street. Chubinsky 14, ap. 24. orcid.org: 0000-0002-8543-112X.

**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. Емельяновича-Павленко, 1, кв. 226. orcid.org: 0000-0001-9983-3296.

Кравец Святослав Владимирович, доктор технических наук, профессор, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Заведующий кафедрой строительных, дорожных, мелиоративных машин и оборудования, профессор, e-mail: s.v.kravets@nuwm.edu.ua, тел: +380972891589, Украина, 33022, г. Ровно, ул. Соломии Крушельницкой 54, кв. 24. orcid.org: 0000-0003-4063-1942

Пухтаевич Алексей Игоревич, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, e-mail: alexeinox@gmail.com, тел: +380973058498, Украина, 36000, г. Костополь, ул. Чубинского 14 кв. 24. orcid.org:: 0000-0002-8543-112X.

**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., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, General Director "Neftegazstroyizoliatsiya" Industrial Production Institute of welding-insulation technologies to a piping building, Kyiv, Ukraine.