

УДК 631.358

**Ткачук В.С.<sup>1</sup>***к.т.н., доцент, кафедра загальнотехнічних дисциплін***E-mail:** twskmg@gmail.com**Девін В.В.<sup>1</sup>***к.т.н., доцент, кафедра загальнотехнічних дисциплін***E-mail:** dvvkr.123@gmail.com**Бурдега В.Ю.<sup>1</sup>***к.т.н., доцент, кафедра загальнотехнічних дисциплін***E-mail:** burdega\_vasil@ukr.net*Інженерно технічний факультет*<sup>1</sup>*Подільський державний аграрно-технічний університет,  
Кам'янець-Подільський, Україна*

## АКТИВІЗАЦІЯ СЕПАРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАСИ НА СЕПАРУЮЧИХ РОБОЧИХ ПОВЕРХНЯХ

### *Анотація*

*При підкопі технологічної маси на сепаруючу робочу поверхню попадає з кожного гектару біля 1 тис. т ґрунту. Процес сепарації ускладнюється ще й тим, що технологічна маса містить всього 1,5...5 % корисної продукції, і тим, що властивості ґрунту не постійні, а корисна продукція чутлива до пошкоджень. Процес відділення корисної продукції від ґрунту при сепарації полягає в руйнуванні грудок і просіванні їх через “живий” переріз сепаруючої робочої поверхні.*

*Підвищення продуктивності роботи збиральних машин, зменшення пошкодження корисної продукції за рахунок інтенсифікації вторинної сепарації технологічної маси.*

*Активувати процес кришення грудок можливо поперечними коливаннями сепаратора. Розглянуто “одичні” акти взаємодії, “грудка-пруток”, “грудка-грудка”, “грудка-корисна продукція” і т.п.. Зрозуміло, що в реальній ситуації розглянуті одичні акти взаємодії недостатньо точно описують весь процес сепарації. Тому слід застосувати деякі інтегральні підходи, які б усереднювали ті чи інші фізико-механічні властивості суміші.*

*За результатами теоретичних досліджень можна зробити такі припущення: підвищення ефективності сепарації ґрунту за рахунок використання сепаруючої робочої поверхні із поперечними коливаннями і встановлення площини сепаратора під кутом до поверхні поля є можливим; теоретично граничні параметри, на підставі непрямих чинників, частота і амплітуда коливань ( $\omega = 10...25$  Гц,  $A = 6...18$  мм), кут нахилу площини сепаратора в поздовжньому напрямку і швидкість руху агрегату (подача технологічної маси) вибирається із умови оптимального завантаження сепаратора ( $\alpha = 5...15$  град,  $v = 0,45...1,15$  м/с).*

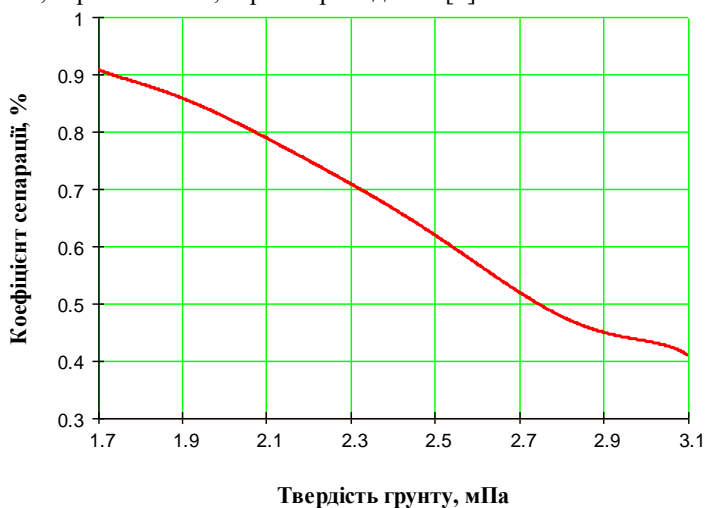
**Ключові слова:** технологічна маса; сепаруюча робоча поверхня; сепарація; поперечні коливання сепаратора.

**Вступ.** Головним резервом скорочення фактичних втрат урожаю і зменшення собівартості продукції при задовільній якості є удосконалення збирання. Технічні труднощі, що виникають при цьому, пов'язані в значній мірі з особливостями самої культури. При підкопі технологічної маси на сепаруючу робочу поверхню попадає з кожного гектару біля 1 тис. т ґрунту. Процес сепарації ускладнюється ще й тим, що технологічна маса містить всього 1,5...5 % корисної продукції (морква, буряк, цибуля, часник, клубні картоплі), інше - рослинні домішки, кореневища, каміння і інші тверді домішки, і тим, що властивості ґрунту не постійні а корисна продукція чутлива до пошкоджень. Тому удосконаленню існуючих і створенню нових методів сепарації і побудові на їх основі нових збиральних машин є досить актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Із властивостей технологічної маси на процес сепарації найбільший вплив має механічний склад і вологість ґрунту, від яких в свою чергу залежить пластичність, липкість, міцність грудок і т. і. Під час вивчення вітчизняними і зарубіжними дослідниками просівання ґрунту різноманітними сепараторами встановлено, що ефективність використання тих чи інших сепаруючих пристроїв залежить від фізико-механічного складу ґрунту. Зміна стану технологічної маси приводить до різних коливань якісних і техніко-економічних показників збиральних машин і комбайнів. Міцність грудок, як показують дослідження, залежить від природи їх походження: грудки які створенні робочими органами машин мають високу міцність, грудки, які створилися із нижніх шарів ґрунту менш міцні.

Від вологості і механічного складу ґрунту залежить міцність грудок і їх єдність між собою. Єдність між собою – здатність частинок вдержуватися при їх роз'єднанні – у суглинистих ґрунтів – до  $1,5\text{МПа}$ , супіщаних – до  $1,7\text{МПа}$ , глинистих – до  $3\text{МПа}$ . Міцність грудок залежить від їх розміру. Середня міцність мілких грудок ( $21...30\text{мм}$ ) –  $40...50\text{Н}$ , крупних ( $71...80\text{мм}$ ) –  $120...200\text{Н}$  [1]. Потрібно відмітити, що зміна вологості в межах  $13...21\%$  на міцність грудок не впливає. На ефективність збирання впливає твердість ґрунту, рис. 1 [2].

Для розрахунку робочих органів машин велике значення має коефіцієнт тертя, який в основному характеризує різну механічну дію на матеріал. Досліджуючи це питання В.П. Горячкін для грудок ґрунту і клубнів картоплі виділив декілька видів тертя: – тертя ковзання, тертя кочення, тертя перекидання [3].



**Рис. 1. Залежність сепарації від твердості ґрунту**

Тертя перекидання відрізняється від тертя кочення тим, що пересування грудок ґрунту при дії сили проходить поздовж довшої осі. Кожний вид тертя характеризується відповідним коефіцієнтом тертя і змінюється залежно від матеріалу поверхні; тертя кочення  $0,35...0,37$ , тертя перекидання  $0,43...0,53$ , тертя ковзання  $0,58...0,95$ . Можна зробити висновок що коефіцієнти тертя змінюються навіть на одній і тій же поверхні. Причина цього – непостійність вологості і форми. Але у всіх випадках коефіцієнти тертя кочення менші коефіцієнтів тертя ковзання [3], [4].

Так як корисна продукція механічно не міцна, то при статичній або динамічній дії робочих органів збиральних машин можливі її пошкодження. Лабораторно-польові

дослідження пошкоджень різними машинами показали що із збільшенням вологості ґрунту кількість пошкоджених збільшується [5], [6], [7].

Особливо різко збільшуються пошкодження в інтервалі вологості від 19% до 25%, що пояснюється більш високою сепарацією ґрунту. При вологості більше 25% має місце незначне збільшення числа механічних пошкоджень, що пов'язано з налипанням ґрунту на робочі органи.

Дослідженнями залежності пошкоджень від температури навколишнього середовища встановлено, що зміна температури в період збирання впливає на пошкодження більше ніж зміна вологості. Із зниженням температури ґрунту кількість пошкоджених зростає. З.В. Ловкіс [5], в результаті досліджень напружено-деформованого стану картопленосного пласти встановив, що при деформації і руйнуванні неоднорідних середовищ (якими є клубненосний шар що включає ґрунт, картоплю, кам'янисті вклучення, органічні рештки, добрива, ...) необхідно прикладати навантаження, що значно відрізняються від тих, що необхідні при руйнуванні однорідних середовищ, при чому величина лінійних деформацій до досягнення граничних значень при зсуві, стиску і розтягу також відрізняються від загальноприйнятих.

Автори відмічають, що граничні напруження розриву в залежності від виду деформації клубненосного пласти нижче в 5 разів порівняно з напруженнями ідеального ґрунту ( $\sigma_p = 0,01 \text{ МПа}$ ). При цьому руйнування клубненосного шару настає при деформації 0,2 см, що в 1,5...2 рази менше ніж для ґрунту, який сформувався в цих же умовах без клубнів [6].

**Мета.** Процес відділення корисної продукції від ґрунту при сепарації полягає в руйнуванні грудок і просіванні їх через "живий" переріз сепаруючої робочої поверхні. Крім цього необхідно виконувати подальше транспортування технологічної маси. Мета полягає в підвищенні продуктивності роботи збиральних машин, зменшення пошкодження корисної продукції за рахунок інтенсифікації вторинної сепарації технологічної маси.

**Методологія досліджень.** Теоретичне обґрунтування параметрів і режимів сепаратора проводилось з використанням математичного моделювання та базувалося на положеннях механіки суцільних середовищ, теоретичної механіки, теорії ймовірності та математичної статистики.

**Результати досліджень.** Проходження грудок ґрунту через сепаратор спричиняє їх руйнування і створення безлічі мілких частинок. Контактуючи із грудками з одного боку та прутками з іншого, вони втираються в поверхні, налипають на них. По мірі збільшення зон налипання відбувається розростання їх в тильний бік прутків, що в свою чергу призводить до зменшення "живого" перерізу.

Цей процес особливо характерний під час роботи на перезволожених ґрунтах, що призводить до різкого погіршення роботи сепаратора, зниження ефективності сепарації і продуктивності роботи машини.

Частково налипання можна позбутися шляхом струшування сепаратора, встановленням допоміжних пристосувань.

Найбільш цікавими є роботи в яких розглядаються зміни фізико-механічного стану ґрунту, що підлягає дії вібраційних робочих органів [6], [7]. Встановлено, що величина сил опору зсуву і прилипанню ґрунту до прутків зменшується по мірі збільшення частоти коливань. Також на стан ґрунту впливають технології його обробітку і попередники в сівозміні. Найпухкіший ґрунт і найлегший для сепарації ґрунт на ділянках, де були з осені заорані сидерати, на ньому не застоюється вода, він раніше досягає і легше руйнуються грудки [8].

Результатами цих досліджень можна скористатися для створення робочих органів

вторинної сепарації, так як ефективність вібрацій зменшується із збільшенням кількості технологічної маси (висоти шару).

Ефективність робочого процесу сепарації визначається його сепаруючою здатністю, яка характеризується коефіцієнтом сепарації  $\eta$ . Складність процесів, що відбуваються на робочій поверхні сепаруючого робочого органу, не дозволяє з достатньою точністю їх описати математично. Найбільш близьким математичним виразом просівання ґрунту на прутковому елеваторі є формула

$$\eta = a \cdot L_e^b / (1 + a \cdot L_e^b), \quad (1)$$

де  $L_e$  – довжина елеватора;

$a$  – коефіцієнт, що характеризує швидкість просівання ґрунту в залежності від його фізичного стану;

$b$  – коефіцієнт, що залежить від завантаження і місця розташування робочого органу в технологічній схемі.

Відсутність універсальної формули для розрахунку сепаруючого робочого органу і технологічних параметрів його роботи пояснюється також їх різноманітністю і нестабільністю фізико-механічних властивостей ґрунту. На нашу думку прийнятним є надання технологічній масі відносного руху, що дозволяє використовувати саму масу, бадилля і інші домішки, при їх відносному переміщенні, для очистки “живого” перерізу і інтенсифікації сепарації. Найбільш на процес сепарації впливає взаємодія «елементів» процесу: «грудка-грудка», «грудка-корисна продукція». Так як механічні характеристики корисної продукції мало відрізняються від грудок, а руйнування грудок сприяє покращенню сепарації, то розглянемо процес взаємодії двох грудок. Нехай є дві грудки з розмірами  $L_2 > L_1$  що знаходяться на поверхні сепаратора ( $\alpha \neq 0$ ). Їх швидкості :

$$\dot{x}_i = \frac{x_{0i}}{\omega} \left[ \frac{\pi^2}{6} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} \cos k\omega t \right]; \quad (2)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots$$

Їх координати

$$x_i = \frac{x_{0i}}{\omega^2} \left[ \frac{\pi^2 t}{6} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^3} \sin k\omega t \right] + x_{0i}. \quad (3)$$

При  $t = \infty$  можливим є наближення (удар) грудок. Удар можливий при виконанні умови

$$|x_2 - x_1| = \frac{L_1 + L_2}{2}. \quad (4)$$

Відкидаючи коливні складові отримаємо

$$\left| \frac{\pi^2 t}{6\omega^2} x_{02} - \frac{\pi^2 t}{6\omega^2} x_{01} + x_{02} - x_{01} \right| = \frac{L_1 + L_2}{2}. \quad (5)$$

Звідки знаходимо час до зіткнення

$$t_c = \frac{3\omega^2}{\pi^2} \cdot \frac{L_1 + L_2 + 2(x_{01} - x_{02})}{x_{02} - x_{01}}. \quad (6)$$

Або з урахуванням (6):

$$t_c = \frac{3\omega^2(L_2 - L_1)[L_1 + L_2 + 2(x_{01} - x_{02})] \operatorname{tg} \alpha \cdot S_0}{4\pi k_x g \cos \alpha [S_0^2 - (L_1 - L_2) S_0 \operatorname{tg} \alpha + L_1 L_2 \operatorname{tg}^2 \alpha]}. \quad (7)$$

Швидкість удару

$$|\Delta\dot{x}| = \frac{\pi^2}{6\omega} |x_{02} - x_{01}| = \frac{2\pi}{3\omega} k_x g \frac{|L_1 - L_2|}{S_0} \sin \alpha. \quad (8)$$

Із отриманих виразів (2...8) випливає що на горизонтальних ділянках можливий удар грудок. Розглянута задача відповідає нерухомій в поперечній площині сепаруючій поверхні. Якщо сепаратору надати коливань в поперечній площині то, із виразу (8) можливо оцінити граничну частоту коливань. Якщо прийняти що при  $V_m$  грудки розбиваються, то вище цієї швидкості мати  $|\Delta x|$  немає сенсу.

$$\frac{2\pi}{3\omega} k_x g \frac{|L_1 - L_2|}{S_0} \sin \alpha_0 \leq V_m; \quad (9)$$

$$\text{звідки} \quad \omega \leq \frac{2\pi k_x g |L_1 - L_2|}{3V_m S_0} \sin \alpha_0. \quad (10)$$

Так як амплітуда окремих гармонік сильно залежить від номера гармоніки то без втрати загальності можна розглядати процеси, що протікають першою гармонікою (якщо не обумовлено інше). Таке наближення вносить поправочний коефіцієнт 1.63. Грудка і корисна продукція мають різні коефіцієнти тертя до прутків і між собою, різні розміри ( $L_k$  і  $k_k$  – розмір і коефіцієнт для корисної продукції). Швидкість удару

$$|\Delta\dot{x}| = \frac{\pi^2}{6\omega} |x_{0k} - x_0| = \frac{\pi^2}{6\omega} \frac{4g}{\pi} \left[ k_k \left( 1 - \frac{L_k}{S_0} \operatorname{tg} \alpha \right) - k \left( 1 - \frac{L}{S_0} \operatorname{tg} \alpha \right) \right] \cos \alpha; \quad (11)$$

$$\text{тоді} \quad \Delta\dot{x} = \frac{2\pi g}{3\omega} \left| k_k - k + \frac{1}{S_0} (kL - k_k L_k) \operatorname{tg} \alpha \right| \cos \alpha. \quad (12)$$

Якщо клубні не допустимо ударяти із швидкістю більше  $V_{кр}$ , тоді виникає обмеження на частоту

$$\omega \leq \frac{2\pi g}{3V_{кр}} \left| k_k - k + \frac{1}{S_0} (kL - k_k L_k) \operatorname{tg} \alpha \right| \cos \alpha. \quad (13)$$

Моделювання процесу сепарації і аналіз отриманих рівнянь проводився з використанням систем системи комп'ютерної математики, такими як Maple, MathCAD, Matlab [9].

Із розглянутих задач можна зробити висновок, що активувати процес кришення грудок можливо поперечними коливаннями сепаратора.

Вищеописані процеси стосуються “одиничних” актів взаємодії, наприклад “грудка-пруток”, “грудка-грудка”, “грудка-корисна продукція” і т.п.

Зрозуміло, що в реальній ситуації, коли на сепаруючій пристрій поступає технологічна маса, розглянуті одиничні акти взаємодії недостатньо точно описують весь процес сепарації, оскільки на ряду з великою кількістю ступенів вільності добавляється імовірнісний фактор нерівномірності, неоднорідності суміші. Тому слід застосувати деякі інтегральні підходи, які б усереднювали ті чи інші фізико-механічні властивості суміші. Безумовно, при цьому слід враховувати ті теоретичні висновки, які отримані вище.

**Висновки і перспективи.** За результатами теоретичних досліджень можна зробити такі припущення:

- підвищення ефективності сепарації ґрунту за рахунок використання сепаратора із поперечними коливаннями сепаратора і встановлення площини сепаратора під кутом до поверхні поля є можливим ;

• теоретично граничні параметри, на підставі непрямих чинників, частота і амплітуда коливань ( $\omega = 10 \dots 25$  Гц,  $A = 6 \dots 18$  мм), кут нахилу площини сепаратора в поздовжньому напрямку і швидкість руху агрегату (подача технологічної маси) вибирається із умови оптимального завантаження сепаратора ( $\alpha = 5 \dots 15$  град,  $v = 0,45 \dots 1,15$  м/с).

#### Список використаних джерел

1. Пшеченков К.А. Комплексная механизация возделывания, уборки и хранения картофеля. Москва : Колос, 1972. 250 с.
2. Батин П.У. Исследование физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. Москва : Колос, 1969. 271 с.
3. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Том 1. Москва : Колос, 1965. 720 с.
4. Бончик В.С., Федирко П.П. Результаты экспериментальных исследований геометрических параметров картофельной грядки при работе картофелеуборочных машин. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Том 17. №5. 2015. с. 3-6.
5. Ловкис З.В., Оскирко С.И. Энергетический расчет рыхлителя-выравнивателя почвы картофелеуборочных машин. *Труды БСХА. Механизация возделывания и уборки картофеля в Белорусской ССР*. 1987. с. 35-42.
6. Ткачук В.С. Динаміка ґрунтових макроагрегатів на пружних стержнях, що коливаються антипаралельно. Науковий збірник "Аграрна наука - селу", випуск 7. Кам'янець-Подільський. 1999. с.165-168.
7. Шевченко І.А., Ткачук В.С. Фізико-механічні властивості ґрунту і картоплі, які визначають технологічний процес роботи картоплезбиральних машин. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2000. Випуск 1, том 16. С.17-23.
8. Скоробогатов Д.В., Девін В.В., Нашкольніий Ю.А. Комбінований плуг-ефективний засіб для загортання сидеральних культур. *Збірник наукових праць ПДАТУ. Технічні науки*. 2015. Т 23. Кам'янець-Подільський. С. 137-146.
9. Девін В.В., Ткачук В.С. Розв'язання задач кінематики точки з використанням системи Mathcad. *Актуальные научные исследования в современном мире*. Випуск 3(35), Часть 2. 2018. С. 128-135.

Дата надходження статті до редакції: 11.11.2020  
І рецензування 18.12.2020 Прийняття в друк: 22.12.2020

#### **Tkachuk V.S.<sup>1</sup>**

*Ph.D. (Techn.), Associate Professor  
Department of Agriculture machines*

**E-mail:** twskmg@gmail.com

#### **Devin V.V.<sup>1</sup>**

*Ph.D. (Techn.), Associate Professor  
Department of Agriculture machines*

**E-mail:** dvvvp.123@gmail.com

#### **Burdeha V.Yu.<sup>1</sup>**

*Ph.D. (Techn.), Associate Professor  
Department of Agriculture machines*

**E-mail:** burdega\_vasil@ukr.net

*Engineering Faculty*

<sup>1</sup>State Agrarian and Engineering University in Podilya  
Kamianets-Podilskiy, Ukraine

## ACTIVATION OF SEPARATION OF TECHNOLOGICAL MASS ON SEPARATING WORKING SURFACE

### Abstract

About 1 thousand tons of soil from each hectare gets into the machine in terms of digging the technologic masses. The process of separation is complicated by the fact that technologic mass contains only 1.5 ... 5% of useful products, and by the fact that the properties of the soil are not permanent, and useful products are sensitive to damage. The process of separation of useful products from soil is determined by breaking lumps and cribbling them through the "live" section of separation working surface.

The aim of the study is the productivization of assembling machines, reducing the utility products damage due to the intense flowing of the secondary separation of technologic masses.

To activate the process of crushing lumps we must transverse the vibrations of separator. "Single" acts, "earth-ball-bar", "earth-ball-earth-ball", "earth-ball-useful products" and were considered in the study. It is clear that in a real situation single acts of interaction are not enough to accurately describe the whole process of separation. So we should apply some integrated approaches that would average some physical and mechanical properties of the mixture.

The results of the study show: the increasing the efficiency of soil separation with the help of using the separator with transverse vibrations of the separator and the placing the separator flat surface at an angle to the surface of the field is possible; theoretically coboundary parameters on the basis of circumstantial factors, frequency and amplitude of fluctuations ( $w = 10.25 \text{ Hz}$ ,  $= 6.18 \text{ mm}$ ), the angle of the separator flat surface in the longitudinal direction and speed of aggregate units (supply of technologic mass) are determined by the conditions of optimum separator load ( $\alpha = 5.15 \text{ deg}$ ,  $v = 0.45.1.15 \text{ m/s}$ ).

**Keywords:** technologic mass; separation; separating countertop; transverse oscillation separator.

### Referenses

1. Pshechenkov, K.A. (1972). Kompleksnaia mekhanyzatsiia vozdeľvanyia, uborky y khraneniia kartofelia. Moscow: Kolos. [In Russian].
2. Batin, P.U. (1969). Yssledovanye fizyko-mekhanycheskykh y tekhnolohycheskykh svoistv osnovnykh tyfov pochv SSSR. Moskva: Kolos. [In Russian].
3. Goryachkin, V.P. (1965). Sobranie sochinenij. Tom 1. Moscow: Kolos. [In Russian].
4. Bonchik, V.S., & Fedirko, P.P. (2015). Rezultatu eksperymentalnykh yssledovanyi heometrycheskykh parametrov kartofelnoi hriadky pry rabote kartofeleuborochnykh mashyn. MOTROL. *Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 17(5), 3-6. [In Ukrainian].
5. Lovkis, Z.V., & Oskirko, S.I. (1987). Energeticheskij raschet ryxlitelya-vyravnivatelya pochvy kartofeleuborochnykh mashyn. *Trudy BSXA. Mexanizaciya vozdeľvanyia i uborki kartofelya v Beloruskoj SSR*, p. 35-42. [In Russian].
6. Tkachuk, V.S. (1999). Dynamika gruntovykh makroahrehativ na pruzhnykh sterzhniakh, shcho kolyvaiutsia antyparalelno. *Naukovij zbirnik "Agrarna nauka - selu"*, 165-168. [In Ukrainian].
7. Shevchenko, I.A., & Tkachuk, V.S., (2000) Fizyko-mekhanichni vlastyvoli gruntu i kartopli, yaki vyznachaiut tekhnolohichni protses roboty kartoplezbyralnykh mashyn. Pratsi Tavriiskoi derzhavnoi ahrotekhnichnoi akademii, vypusk 1, tom 16. Melitopol. p. 17-23. [In Ukrainian].
8. Skorobogatov, D.V., Devin, V.V., & Nashkolnyi Yu.A. (2015). Kombinovanyi pluh-efektyvnyi zasib dlia zahortannia syderalnykh kultur. *Zbirnyk naukovykh prats PDATU. Tekhnichni nauky*, 23, 137-146. [In Ukrainian].
9. Devin, V. & Tkachuk, V. (2018). Rozviazannia zadach kinematyky tochky z vykorystanniam systemy Mathcad. *Aktualnyie nauchnyie issledovaniia v sovremennom mire*, no. 3(35), Part 2, 128-135 (in Ukrainian)

Received: 11/11/2020

Revision: 12/18/2020 Accepted: 12/22/2020