

Хмельовський О.В.
Національний університет
біоресурсів і
природокористування
України,
м. Київ, Україна
E-mail:
khemlovskiy26@gmail.com

**АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРІВ
ФІЛЬТРА-ГЛУШНИКА ВАКУУМНОГО
НАСОСУ**

DOI: <https://doi.org/10.31359/2311-441X-2025-26-235-242>

УДК 628.3

Хмельовський О.В. Аналітична модель параметрів фільтра-глушника вакуумного насосу.

Анотація. В статті розглядається вирішення наукової задачі з віднайдення методологічних підходів до обґрунтування аналітичної моделі параметрів фільтра-глушника вакуумного насосу. В результаті досліджень отримано рівняння визначення швидкості руху частинки оливи при її виведенні із вакуумного насосу та потрапляння у фільтр глушник, останній має ступеневе збільшення радіусу та подано вираз для його визначення. Автором враховано, що маса частинки, безпосередньо не входить у формулу сили тиску повітря. Проте, маса впливає на прискорення частки під впливом сили тиску. Якщо сила тиску повітря перевищує силу тяжіння, частка почне прискорюватися. Автор вважає з погляду на процес, що протікає в фільтрі-глушнику, слід зазначити, що збільшення швидкості руху частинок оливи повинно привести до поліпшення ефекту очищення, так як при цьому зростають відцентрові сили, що діють на частинки.

Ключові слова: глушник, вакуум, установка, доїння.

Khemlovskiy O.V. Analytical model of parameters of vacuum pump filter.

Abstract. The article deals with the solution of the scientific problem to find methodological approaches to substantiation of the analytical model of parameters of the Vacuum Pump filter. As a result of the research, the equation for determining the velocity of motion of the oil particle when it removes from a vacuum pump and enter the filter of the muffler, the latter has a step increase in the radius and an expression for its determination. The author takes into account that the mass of the particle is not directly included in the formula for the air pressure. However, the mass affects the acceleration of the particle under the influence of pressure. If the air pressure exceeds gravity, the proportion will accelerate. The author considers, in terms of the process that occurs in the filter, it should be noted that the increase in the speed of movement of olive particles should lead to improving the purification effect, as centrifugal forces that act on the particles increase.

Key words: silencer, vacuum, unit, milking.

Постановка проблеми

Вакуумний насос роторно-пластинчатого типу, є основним джерелом утворення вакуумметричного тиску у доїльних установках [1]. Олива, яка служить для змащування та охолодження підшипникових вузлів насосу, а також знижує тертя пластин та корпусу, вивантажується із насосу разом із повітрям у дрібнодисперсному вигляді [2]. Рух повітряного потоку разом із дрібнодисперсною оливою рухається у середині

трубопроводу [3] та направляється у фільтр-глушник [4]. Швидкість руху потоку у трубопроводі 5-15 м/с [5]. Потрапивши в середину фільтра-глушника повітряний потік рухається по гвинтовій поверхні у вертикальному напрямку [6], також там виникає сила інерції крапель оливи [7].

Оскільки частинки (краплі оливи) мають масу, вони прагнуть рухатися прямолінійно [8]. Коли повітря змінює напрямок (рухається по гвинтовій поверхні) [9], частинки завдяки інерції продовжують рух по дотичній [10], і з часом вони осідають на стінках корпусу шнека [11].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Для визначення параметрів процесу руху та прилипання частинок оливи до поверхні допускаємо деякі спрощення [12].

Вважаємо, що частинки оливи рухаються поодинокі, мають форму кулі, рух відбувається в необмеженому просторі, а повітряний потік постійний за швидкістю та напрямом [13].

Шлях, який проходять частинки залежить від їх аеродинамічних властивостей, їх швидкості, параметрів повітряного потоку та властивостей матеріалу фільтра-глушника [14].

Швидкість повітряного потоку під час входу в фільтр-глушник визначимо за формулою, яка пов'язує об'ємну витрату повітря та площу перерізу трубопроводу [1].

$$V_{nn} = Q / S_{вн}, \text{ м/с.} \quad (1)$$

де V_{nn} – швидкість руху повітряного потоку, м/с;

Q – продуктивність вакуумного насосу, м³/с;

$S_{вн}$ – площа поперечного перерізу вихідного вікна вакуумного насосу, м².

Для розрахунку площі перерізу (трубопровід круглий) використовуємо формулу [2]:

$$S_{вн} = \pi \cdot (d_m/2)^2, \quad (2)$$

де d_m – діаметр трубопроводу, м;

π – математична константа.

На частинку оливи, що рухається у повітряному потоці діє сила земного тяжіння [15], сила тиску повітряного потоку та сила опору руху, сила інерції, підйомна сила [16].

Маса частинки, безпосередньо не входить у формулу сили тиску повітря [17].

Проте, маса впливає на прискорення частки під впливом сили тиску [18]. Якщо сила тиску повітря перевищує силу тяжіння (mg), частка почне прискорюватися.

Якщо сила тиску менша від сили тяжіння, частка рухатиметься вниз, але з меншою швидкістю, ніж якби на неї не діяв повітряний потік [19].

Стосовно сили опору руху, то чим більшою вона є, тим швидше частка буде опускатись донизу [2].

Формулювання мети досліджень

Метою роботи є віднайдення методологічних підходів до обґрунтування аналітичної моделі параметрів фільтра-глушника вакуумного насосу.

Результати досліджень

Розглянемо сили, які діють на частинку у повітряному потоці (рис. 1), де $F_{пт}$ – сила тиску повітряного потоку, $F_{опп}$ – сила опору руху, $F_{зт}$ – сила земного тяжіння, $F_{ін}$ – сила інерції, $F_{пс}$ – підйомна сила, F_d – сила опору за законом Стокса.

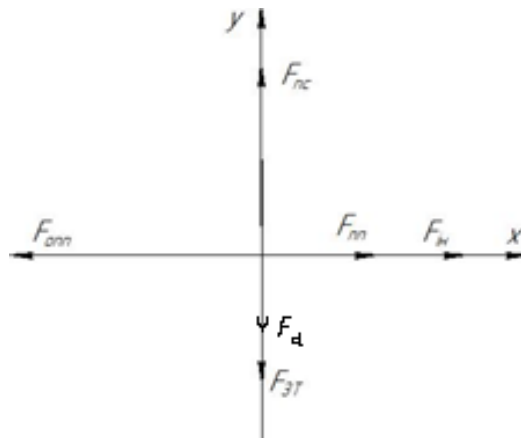


Рис. 1. Сили, що діють на частинку оливи

Силу земного тяжіння визначаємо за формулою:

$$F_{zm} = m \cdot g, \quad (3)$$

де F_{zm} – сила тяжіння, Н;

m – вага частинки оливи, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Сила тиску повітряного потоку розраховується через формулу, що зв'язує тиск, силу та площу:

$$F_{nn} = P \cdot S, \quad (4)$$

де F_{nn} – сила, Н;

P – тиск, Па;

S – площа краплі, м².

У сприйманні потоку, це означає, що тиск, що чиниться потоком повітря на поверхню, залежить від сили, що діє перпендикулярно до цієї поверхні, і площі цієї поверхні.

Розрахунок динамічного тиску, за умови, що потік рухається, використовується формула:

$$P = \rho \cdot (V_v^2/2), \quad (5)$$

де ρ – густина повітря, кг/м³;

v – швидкість повітряного потоку, м/с.

Тоді сила тиску повітряного потоку набуде вигляду

$$F_{nn} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_v^2 \cdot S, \quad (6)$$

Сила опору руху частинки – сила, що діє під час руху в повітрі і обумовлюється дією сил в'язкості і лобового опору.

Формула для визначення сили опору повітря має вигляд:

$$F_{опп} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_v^2 \cdot \xi \cdot S, \quad (7)$$

де $F_{опп}$ – сила опору повітря, Н;

ρ – густина повітря, кг/м³;

v – швидкість руху частинки, (приймаємо однаковою із швидкістю повітряного потоку), м/с)

ξ – коефіцієнт аеродинамічного опору, (краплі оливи мають розмір 35-50 мкм);

S – площа поперечного перерізу частинки, перпендикулярна до напрямку руху, м².

У вертикальному напрямі діє сила опору за законом Стокса

$$F_d = 6\pi\mu a_k (V_{nn} - V_v), \quad (8)$$

де μ – динамічна в'язкість повітря, Па·с,

a_k – радіус краплі, м;

$V_{\text{ч}}$ – швидкість частинки, м/с;
 $V_{\text{пп}}$ – швидкість повітряного потоку, м/с.

З погляду на процес, що протікає в фільтрі-глушнику, слід зазначити, що збільшення швидкості руху частинок оливи повинно привести до поліпшення ефекту очищення, так як при цьому зростають відцентрові сили, що діють на частинки. Сила інерції дорівнює:

$$F_{\text{ин}} = m V_{\text{ч}}^2 / R, \quad (9)$$

де m – вага частинки, кг;

$V_{\text{ч}}$ – швидкість частки, (дорівнює швидкості потоку), м/с;

R – відстань до кожуху шнека фільтра-глушника, м.

Вказана сила буде тим більшою, чим більша швидкість частинки, що характеризується швидкістю повітряного потоку при вході у фільтр-глушник.

Збільшення відцентрової сили має прискорити переміщення найбільш дрібних і легких частинок до стінки шнеку фільтра-глушника, тобто сприятиме підвищенню ефекту оливоловлення.

Скористаємось умовою інерційного осадження частинок та за допомогою Параметра Стокса визначимо, щоб зрозуміти, чи частинка зіштовхнеться із стінкою фільтра-глушника не встигаючи відреагувати на зміну руху повітряного потоку по поверхні шнека. Вищезгадана умова забезпечується при $Stk \geq 1$.

$$Stk = \frac{t_{\text{рч}} \cdot V_{\text{пп}}}{R_{\text{шн}}}, \quad (10)$$

де $t_{\text{рч}}$ – час реакції частинки на зміну потоку, с;

$$t_{\text{рч}} = \frac{\rho_{\text{р}} \cdot d_{\text{р}}^2}{18\mu}, \quad (11)$$

де $\rho_{\text{р}}$ – густина частинки, кг/м³;

$d_{\text{р}}$ – діаметр частинки, м;

μ – динамічна в'язкість повітря, Па·с;

$v_{\text{пп}}$ – швидкість повітряного потоку, м/с;

$R_{\text{шн}}$ – характерний розмір (радіус кривини траєкторії або діаметр спіралі).

Підйомна сила це сила, яка виникає при обтіканні тіла потоком повітря і спрямована перпендикулярно до руху потоку.

Для розрахунку підйомної сили скористаємось виразом

$$F_{\text{пс}} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot S \cdot C_d, \quad (12)$$

де $F_{\text{пс}}$ – підйомна сила, Н;

ρ – щільність газу, кг/м³);

$V_{\text{ч}}$ – швидкість часточки, м/с;

S – площа поверхні, що створює підйомну силу, м²;

C_d – коефіцієнт підйомної сили.

Переміщення крапель оливи в бік зовнішньої поверхні шнека виникає завдяки відцентровій силі, проте на осадження часток має вплив сила земного тяжіння

$$F_{\text{рх}} = \frac{mV_{\text{ч}}^2}{R} + \frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot S - \frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot \xi \cdot S = m x; \quad (13)$$

$$F_{\text{рy}} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot C_d \cdot S - 6\pi\mu a_{\text{к}}(V_{\text{пп}} - V_{\text{ч}}) - mg = m y; \quad (14)$$

Для визначення відстані, яку може пройти у повітряному потоку частинка оливи, розглянемо проекцію сил на осі x , оскільки

$$\frac{mV_{\text{ч}}^2}{R} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot (\xi \cdot S - S), \quad (15)$$

скоротивши на $V_{\text{ч}}^2$, отримаємо

$$\frac{m}{R} = \frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1), \quad (16)$$

поділивши на R – отримаємо:

$$m = \frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1)R \quad (17)$$

Отже, відстань яку може пройти у повітряному потоку частинка оливи залежить від її ваги

Для визначення сили земного тяжіння, що діє на частку оливи в повітряному потоці, розглянемо проекцію сил на осі y , оскільки

$$mg = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot C_d \cdot S - 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{пп}} + 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{ч}}, \quad (18)$$

Отже, визначимо швидкість, з якою частка оливи буде рухатись у повітряному потоці.

Підставимо вираз для m з осі x отримаємо:

$$\left(\frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1)R\right)g = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot C_d \cdot S - 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{пп}} + 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{ч}} \quad (19)$$

Перенесемо $V_{\text{ч}}^2$ в ліву сторону та отримаємо квадратичне рівняння щодо $V_{\text{ч}}$:

$$\frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot C_d \cdot S + 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{ч}} - \left(\frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1)R \cdot g + 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{пп}}\right) = 0, \quad (20)$$

Розв'яжемо квадратичне рівняння щодо $V_{\text{ч}}$

Приведемо до стандартної форми:

$$aV_{\text{ч}}^2 + bV_{\text{ч}} + c = 0,$$

$$\text{де } a = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot S$$

$$b = 6\pi\mu a_{\text{к}}$$

$$c = -\left(\frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1)R \cdot g + 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{пп}}\right)$$

$$D = b^2 - 4ac = (6\pi\mu a_{\text{к}})^2 + 4\left(\frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot S\right)\left(\frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1)R \cdot g + 6\pi\mu a_{\text{к}} V_{\text{пп}}\right), \quad (21)$$

Визначимо корені рівняння

$$v_{\text{ч}1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2a}$$

$$V_{\text{ч}1,2} = \frac{-6\pi \cdot \mu \cdot a_{\text{к}} \pm \sqrt{(6\pi \mu a_{\text{к}})^2 + 4\left(\frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot S\right)\left(\frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1)R \cdot g + 6\pi \mu a_{\text{к}} V_{\text{пп}}\right)}}{\rho \cdot C_d \cdot S}, \quad (22)$$

Із рівняння (19) можна визначити R .

$$R = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot V_{\text{ч}}^2 \cdot C_d \cdot S - 6\pi \mu a_{\text{к}} V_{\text{пп}} + 6\pi \mu a_{\text{к}} V_{\text{ч}}}{\frac{1}{2} \rho \cdot S(\xi - 1) \cdot g}, \quad (23)$$

Висновки

1. В статті отримано рівняння визначення швидкості руху частинки оливи при її виведенні із вакуумного насосу та потрапляння у фільтр глушник, останній має ступеневе збільшення радіусу та подано вираз для його визначення.

Список використаних джерел

1. Руденко Е.В., Савран В.П., Гребень Л.Г., Антоненко С.Ф., Дибиров Р.М. Перспективи інтенсивного виробництва молока. Механізація, екологізація та конвертація біосировини у тваринництві. 2009. Вип. 1 (3,4). С. 41–46.

2. Адамчук В.В. Дослідження руху частинки технологічного матеріалу в повітряному середовищі в умовах вітру і супроводжуючого повітряного струменя. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2005. Вип. 89. С. 27–49.
3. Rogovskii I., Sivak I., Shatrov R., Nadtochiy O. Agroengineering studies of tillage and harvesting parameters in soybean cultivation. *Engineering of Rural Development*. 2024. Vol. 23. P. 965-970. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF195>.
4. Sheichenko V., Petrachenko D., Koropchenko S., Rogovskii I., Gorbenko O., Volianskyi M., Sheichenko D. Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 2 (1 (128)). P. 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>.
5. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Titova L., Hrynkiv A., Mironov D., Volianskyi M., Rogatynskyi R., Solomka O., Lysenko S. Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 1 (3 (127)). P. 37–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298567>.
6. Volokha M., Rogovskii I., Fryshev S., Sobczuk H., Virchenko G., Yablonskyi P. Modeling of transportation process in a technological complex of beet harvesting machines. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*. 2023. Vol. 10(2). P. F1–F9. [https://doi.org/10.21272/jes.2023.10\(2\).fl](https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).fl) Scopus
7. Rogovskii I., Titova L., Sivak I., Berezova L., Vyhovskyi A. Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*. 2022. Vol. 21. P. 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
8. Rogovskii I., Titova L., Shatrov R., Bannyi O., Nadtochiy O. Technological effectiveness of machine for digging seedlings in nursery grown on vegetative rootstocks. *Engineering for Rural Development*. 2022. Vol. 21. P. 924–929. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF290>.
9. Romaniuk W., Rogovskii I., Polishchuk V., Titova L., Borek K., Wardal W.J., Shvorov S., Dvornyk Y., Sivak I., Drahnev S., Derevjanko D. Study of methane fermentation of cattle manure in the mesophilic regime with the addition of crude glycerine. *Energies*. 2022. Vol. 15. Issue 9. P. 3439. <https://doi.org/10.3390/en15093439>.
10. Rogovskii I.L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12(1). P. 137–146.
11. Rogovskii I.L. Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12. Issue 2. P. 123–131. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123>.
12. Rogovskii I.L. Influence of operating failure of agricultural machines on efficiency of their machine use. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12(3). P. 157–166.
13. Rogovskii I.L. Analyticity of complex criteria for evaluation of grain production in agricultural enterprises intensification of engineering management. *Machinery and Energetics*. 2021. Vol. 12(4). P. 129–138.
14. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4(7(112)). P. 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
15. Rogovskii I.L., Titova L.L., Gumenyuk Yu.O., Nadtochiy O.V. Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard

planting machine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 839. P. 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.

16. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Borak K.V., Lavrinenko O.T., Bannyi O.O. Research on a grain cultiseeder for subsoil-broadcast sowing. INMATEH. Agricultural Engineering. Bucharest. 2021. Vol. 63. No 1. P. 385–396. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-63-39>.

17. Rogovskii I.L., Sivak I.M. Research of machines for mulching near-trunk strips in perennial fruit plantations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. P. 042041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/4/042041>.

18. Rogovskii I.L., Sivak I.M. Research of microdeformation and stress in details of agricultural machines by implementing holography. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. P. 052038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052038>.

19. Rogovskii I.L., Polishchuk V.M., Titova L.L., Sivak I.M., Vyhovskyi A.Yu., Drahnev S.V., Voinash S.A. Study of biogas during fermentation of cattle manure using a stimulating additive in form of vegetable oil sediment. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020. Vol. 15. Issue 22 (20th November). P. 2652–2663.

References

1. Rudenko E.V., Savran V.P., Greben L.G., Antonenko S.F., Dibirov R.M. (2009). Perspectives of intensive milk. Mechanization, Greening and Conversion of Biorapid in Animal Husbandry. Iss. 1 (3,4). P. 41–46.

2. Adamchuk V.V. (2005). Investigation of the movement of a particle of technological material in the air environment in wind conditions and accompanying air jet. Mechanization and Electrification of Agriculture. Iss. 89. P. 27–49.

3. Rogovskii I., Sivak I., Shatrov R., Nadtochiy O. (2024). Agroengineering studies of tillage and harvesting parameters in soybean cultivation. Engineering of Rural Development. Vol. 23. P. 965-970. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF195>.

4. Sheichenko V., Petrachenko D., Koropchenko S., Rogovskii I., Gorbenko O., Volianskyi M., Sheichenko D. (2024). Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 2 (1 (128)). P. 34–48. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.300174>.

5. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Titova L., Hrynkiv A., Mironov D., Volianskyi M., Rogatynskyi R., Solomka O., Lysenko S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1 (3 (127)). P. 37–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298567>.

6. Volokha M., Rogovskii I., Fryshev S., Sobczuk H., Virchenko G., Yablonskyi P. (2023). Modeling of transportation process in a technological complex of beet harvesting machines. Journal of Engineering Sciences (Ukraine). Vol. 10(2). P. F1–F9. [https://doi.org/10.21272/jes.2023.10\(2\).fl](https://doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).fl) Scopus

7. Rogovskii I., Titova L., Sivak I., Berezova L., Vyhovskyi A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. Engineering for Rural Development. Vol. 21. P. 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.

8. Rogovskii I., Titova L., Shatrov R., Bannyi O., Nadtochiy O. (2022). Technological effectiveness of machine for digging seedlings in nursery grown on vegetative rootstocks. Engineering for Rural Development. Vol. 21. P. 924–929. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF290>.

9. Romaniuk W., Rogovskii I., Polishchuk V., Titova L., Borek K., Wardal W.J., Shvorov S., Dvornyk Y., Sivak I., Drahnev S., Derevjanko D. (2022). Study of methane fermentation of cattle manure in the mesophilic regime with the addition of crude glycerine. *Energies*. Vol. 15. Issue 9. P. 3439. <https://doi.org/10.3390/en15093439>.
10. Rogovskii I.L. (2021). Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery and Energetics*. Vol. 12(1). P. 137–146.
11. Rogovskii I.L. (2021). Resource of removal expenses for strong agricultural period of volume of operations. *Machinery and Energetics*. Vol. 12. Issue 2. P. 123–131. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.123>.
12. Rogovskii I.L. (2021). Influence of operating failure of agricultural machines on efficiency of their machine use. *Machinery and Energetics*. Vol. 12(3). P. 157–166.
13. Rogovskii I.L. (2021). Analyticity of complex criteria for evaluation of grain production in agricultural enterprises intensification of engineering management. *Machinery and Energetics*. Vol. 12(4). P. 129–138.
14. Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskiy M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 4(7(112)). P. 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
15. Rogovskii I.L., Titova L.L., Gumenyuk Yu.O., Nadtochiy O.V. (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 839. P. 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.
16. Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Borak K.V., Lavrinenko O.T., Bannyi O.O. (2021). Research on a grain cultiseeder for subsoil-broadcast sowing. *INMATEH. Agricultural Engineering*. Bucharest. Vol. 63. No 1. P. 385–396. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-63-39>.
17. Rogovskii I.L., Sivak I.M. (2021). Research of machines for mulching near-trunk strips in perennial fruit plantations. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 723. P. 042041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/4/042041>.
18. Rogovskii I.L., Sivak I.M. (2021). Research of microdeformation and stress in details of agricultural machines by implementing holography. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 677. P. 052038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052038>.
19. Rogovskii I.L., Polishchuk V.M., Titova L.L., Sivak I.M., Vyhovskyi A.Yu., Drahnev S.V., Voinash S.A. (2020). Study of biogas during fermentation of cattle manure using a stimulating additive in form of vegetable oil sediment. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 15. Issue 22 (20th November). P. 2652–2663.