

УДК 62:631.352:62-82:519.87

DOI: 10.37128/2520-6168-2019-2-3

**МОДЕЛЮВАННЯ ЖИВИЛЬНО-ПОДРІБНЮВАЛЬНОГО АПАРАТА
КОРМОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА КСК-600**

Малаков Олександр Іванович, аспірант
Бурлака Сергій Андрійович, аспірант
Ярошук Роман Олександрович, аспірант
Вінницький національний аграрний університет

O. Malakov, Postgraduate Student
S. Burlaka, Postgraduate Student
R. Yaroshchuk, Postgraduate Student
Vinnytsia National Agrarian University

Проведено дослідження та аналіз взаємодії робочих органів подрібнювального апарату з трав'яною масою із використанням методів теоретичної механіки, диференційного та інтегрального числення, теорії імовірності та математичного моделювання з використанням комп'ютерного програмного забезпечення. Експериментальні дослідження проведено на лабораторних установках та дослідному зразку подрібнювального апарату з використанням теорії планування багатofакторних експериментів. Тензометричні вимірювання величин при визначенні силових показників робочих процесів проводили з використанням прикладного програмного забезпечення. Обробка результатів експериментальних даних здійснювалась методом статистичного та регресійного аналізу на ПК.

Ключові слова: робочі органи, подрібнювач, пресування, вальці, продуктивність, моделювання.

Ф. 4. Рис. 1. Табл. 1. Літ. 10.

1. Постановка проблеми

Забезпечення нашої країни продовольством за умови збереження і підвищення родючості ґрунтів, зменшення енергоспоживання, охорони навколишнього середовища є актуальним завданням сільськогосподарського виробництва. Його вирішення неможливе без впровадження новітніх технологій та механізмів, зокрема комплексної механізації рослинництва і тваринництва на базі науково - обґрунтованої системи машин. Система машин - це сукупність машин, взаємоузгоджених за технологічним процесом, техніко-економічними параметрами і продуктивністю, за допомогою яких забезпечується механізація виробничих процесів. Розробляють таку систему з урахуванням особливостей основних природно-кліматичних зон. Її постійно удосконалюють, доповнюють і змінюють на основі досягнень науки і техніки [1].

Сільськогосподарські машини є технологічними. Кожна з них виконує певний технологічний (робочий) процес, що включає одну або кілька технологічних операцій, при яких відбуваються якісні зміни матеріалу, що обробляється, його розмірів, стану, форми, фізичних і біологічних властивостей. На відміну від промислових, сільськогосподарські машини безпосередньо контактують із живою природою: насінням, рослинами, ґрунтом з його різноманітними живими організмами тощо. Тому їх успішне застосування прямо залежить від пристосованості сортів сільськогосподарських культур до машинних технологій [2]. Для машин кожної групи розроблені вимоги щодо якості виконуваних технологічних операцій. Тому перед початком робіт машини старанно регулюють і настраюють.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Суттєвий вклад в дослідження процесу подрібнення стеблових кормів внесли В. А. Желіговський, Н. Ю. Резнік, Е. С. Босой, С. В. Мельніков, В. І. Особов, С. І. Рустамов, В. А. Ясенецький, С. А. Притченко, І. І. Ревенко, Ф. Ю. Ялпачик та інші.

Основними завданнями, які розв'язуються в процесі заготівлі кормів, є максимально можливий вихід поживних речовин з одиниці площі кормових угідь і мінімальні втрати поживної цінності вихідної сировини в процесі консервування та зберігання. Високого результату можна досягти лише при збиранні кормових культур в оптимальні фази вегетації і строгому дотриманні технологічних вимог процесів виробництва кормів, а також при оптимальній щільності пресування рослинної маси [2].



Недоліком пресування є неможливість регулювання зусилля стиснення листостеблової маси по всій робочій зоні пресування одночасно. При експлуатації широкозахватної і швидкісної техніки щільність стискаючої маси змінюється в значних межах, і внаслідок цього при такій конструкції пристрою відбувається нерівномірне зусилля стиснення по всій робочій зоні пресування, що істотно впливає на якість продукції (маса стає нерівномірною по вологості).

3. Мета та задачі дослідження

Збільшення рівномірності і ступеня плющення листостеблової маси шляхом зміни зусилля її стиснення по всій робочій зоні пресування покращує якість пресування рослинної маси. Зазначена мета досягається тим, що транспортуючі та пресові вальці мають однакову швидкість і пристрій, що дозволяє регулювати зусилля стиснення листя-стеблової маси одночасно по всій зоні пресування.

4. Матеріали та методи досліджень

Величина зусилля підпресування вальців описується тільки показниками щільності стискаючої маси ($350 - 600 \text{ кг/м}^3$), що не цілком коректно, оскільки в сучасних умовах робота кормозбирального комплексу проводиться в одному прибиральному циклі як на трав'яних, так і на грубостеблових культурах, питомі щільності яких відрізняються в кілька разів, причому відмінності є навіть при відмінності способів прибирання однієї культури, наприклад при прямому косінні трави і заготівлі сінажу, де вологість, а відповідно, і питома щільність відрізняються на 35 – 50% [3, 4].

Довжина частинок при приготуванні силосу повинна забезпечуватися в межах 2...3 см при вологості 65...70%, 4...5 см – при вологості 75...80% і збільшується до 12 см при збільшенні вологості до 85%. Оптимальні умови досягаються при заготівлі трав на силос при вологості маси 70...75%. Рослинна маса повинна подрібнюватися при цьому до відрізків довжиною 3...4 см. Кількість частинок заданого розміру по масі має бути не менше 70%, причому розмір інших часток не повинен перевищувати заданий більш ніж в 1,5 рази [5].

При більшій вологості листостеблової маси потрібно подрібнювати на частинки з більшою довжиною з метою виключення втрат соку рослин і забезпечення щільності укладки.

Як показник підпресування рослинної маси (РМ) краще використовувати величину зусилля, що передається від пружин на вальці і віднесеного до довжини їх робочої поверхні, безпосередньо впливає на шар РМ, що подається в живильний апарат. Зусилля пружин – більш прийнятний показник і при розробці конструкцій живильних апаратів.

Однак перехід до зазначеного критерію в процесі проведення параметричного синтезу, з одного боку, впирається в значну складність кінематики механізму і, з іншого боку, в величезний розкид параметрів необхідного шару РМ.

В силу нюансів виконуваного технологічного процесу механізмом підпресування (МП) його кінематична модель є статично невизначеною і вирішується тільки після введення в неї додаткового елемента – шару РМ, який являє собою як функцію часу, так і зусилля підпресування, при цьому обумовлений фізико-біологічними показниками культури, що прибирається.

Рішення такого завдання - дуже ресурсомістка операція [6, 7].

При наявності функціональної математичної моделі (ФММ) проблема параметричного синтезу МП вирішується за допомогою ПЕОМ. Параметричний синтез МП заданої структури полягає у визначенні чисельних значень його внутрішніх параметрів, що забезпечують оптимальне значення основного показника якості МП при одночасному виконанні умов працездатності МП.

Також при аналізі і розрахунку схем ріжучих апаратів велике значення надається обґрунтуванню і вибору кута τ ковзання їх ножів. Значення цього кута для величини зусилля різання загально визнане. Досліди показують, що найменша питома робота зростає спочатку повільно, а після досягнення куту $\tau = 70 - 75^\circ$ – все інтенсивніше. Однак дослідження не підтвердили систематичного збільшення питомої роботи різання зі збільшенням кута τ . Найменшу величину питома робота для різних матеріалів має в межах значення кута τ , рівного $30 - 50^\circ$, після чого відбувається поступово прискорене збільшення питомої роботи. На запропонованому апараті з шевронними ножами кут ковзання знаходиться в вищевказаних межах.

ФММ аналізу властивостей МП [8] є складовою частиною математичної моделі параметричної оптимізації. Для кожної структурної схеми МП (рис. 1) визначаються його вихідні параметри, що залежать від узагальненої координати – відстані між центрами вальців (Y).

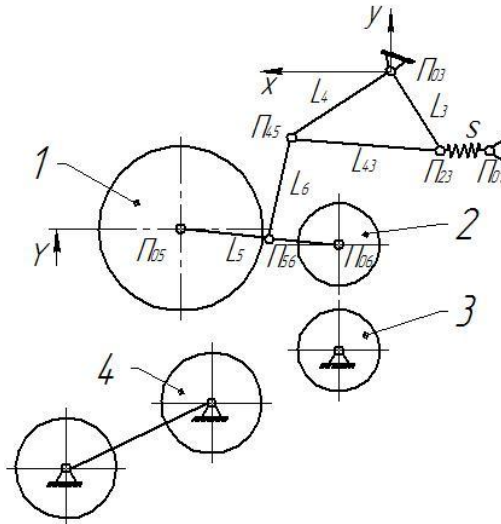
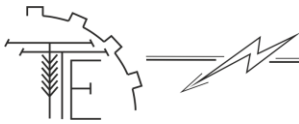


Рис. 1. Структурна схема живильного апарата КСК-600:

1 - валець передній верхній; 2 - валець задній верхній; 3 - валець передній нижній; 4 - валець середній нижній; 5 - валець задній нижній

5. Основні результати досліджень

В якості керованих параметрів МП, що визначають його конструктивний варіант, були обрані координати шарніра кріплення блоку пружин X_{01}, Y_{01} , а також параметри поворотного важеля $L_3, \varphi_{34}, L_{34}$. Слід зауважити, що число керованих параметрів і діапазон їх зміни обмежені умовами серійного виробництва. Рационально вибрані точки кріплення ланок МП і їх геометричні розміри повинні забезпечувати його надійну роботу на складових технологічного процесу: захоплення, протягуванні і плющенні РМ [9].

Поточна довжина розтягнутої пружини МП обмежується вираженням:

$$S(Y_{\min}) < S(Y) < L_4 + \sqrt{(Y_{03} - Y_{01})^2 + (X_{03} - X_{01})^2} \quad (1)$$

Кожному фіксованому значенню набору керованих параметрів $X = \{X_{01}, Y_{01}, L_3, \varphi_{34}, L_{34}\}$ відповідають значення передавального числа і питомого тиску в діапазоні зміни узагальненої координати.

Окружну швидкість живильних вальців, що забезпечує безперешкодне надходження маси заданої товщини H , можна отримати з виразу:

$$v_B = \frac{D \cdot v_{PM}}{D + h - H}$$

Таким чином, швидкості v_B і v_{PM} пов'язані між собою співвідношенням:

$$\frac{v_B}{v_{PM}} = \frac{D}{D + h + H} \quad (2)$$

Експериментально встановлено, що співвідношення швидкостей v_B і v_{PM} , визначене за виразом (2), забезпечує стійку подачу РМ до плющильних вальців. При цьому для забезпечення надійності передачі РМ зі шнека жатки на нижній живильний валець дотримуються наступного співвідношення швидкостей [2]

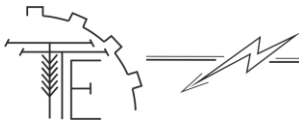
$$\frac{v_B}{v_{PM}} = 1,25 / 1,35 \text{ або } 1,35 > \frac{v_B}{v_{PM}} > 1,25 \quad (3)$$

У разі якщо (1), (2), (3) виконуються, розраховуються і запам'ятовуються значення передавальних чисел для МП відповідної структури - $I(Y)$:

$$I(Y) = \varphi_3 \cdot U_{34} \cdot L_4 \cdot \cos \varphi_{34}(Y)$$

де $\varphi_3(Y)$ – аналог кутової швидкості важеля; $U_{34}(Y)$ – передавальне відношення; $L_4(Y)$ – довжина ланки і кут, утворений \vec{L}_4 з віссю абсцис, в правій системі координат.

Передавальне відношення



$$U_{34}(Y) = \varpi_3 \cdot R = \varpi_3 \cdot L_{34}.$$

Знаходимо кутову швидкість:

$$\varpi_3 = \varphi_3' \cdot S$$

Потім розраховується відповідне питомому тиску між вальцями $p(Y)$ значення зусилля на пружині

$$F_{np}(Y) = p(Y) \cdot \frac{Y_{05}}{I(Y) \cdot S} \quad (4)$$

де $F_{np}(Y)$ – зусилля на пружині; $I(Y)$ – передавальні числа; S – довжина пружини.

Цільова функція $Z(Y)$ формується на основі аналітичного виразу для питомої тиску між вальцями у відповідності зі стратегією власного критерію [9]

$$Z(Y) = \sum_{i=1}^n |p_{cp} - p(Y_i)| \rightarrow \min$$

де p_{cp} – середнє значення тиску в інтервалі від 1-го до n -го кроку; $p(Y_i)$ – дискретне значення функції тиску на i -му кроку.

Пошук екстремуму цільової функції виконувався за методом градієнта.

Для обраної структури і внутрішніх параметрів плоских аналогів механізму плющення на основі сформованої ФММ був проведений обчислювальний експеримент.

6. Обговорення результатів

У даній роботі пропонуються методика параметричного синтезу пристрою плющення рослинної маси живильним апаратом КСК-600 та відповідні результати дослідження. Розроблений спосіб модернізації параметрів механізму плющення може бути використаний як в причіпних, так і в самохідних косарках-плющилках [10].

Основні результати експерименту зведені у табл. 1.

Таблиця 1

Дані параметричного синтезу пристрою плющення рослинної маси

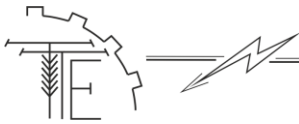
Зазор між валами	Довжина стисненої пружини	Передавальне число механізму	Навантаження на пружині	Сила тиску за рухом вальця
Y , м	$S(Y)$, м	$I(Y)$	$F_{np}(Y)$, Н	$P(Y)$, Н
-0,210	0,675	2,331	651,35	1120,56
-0,191	0,667	2,418	1567,54	2356,41
-0,164	0,652	2,525	3546,25	3561,53
-0,152	0,645	2,664	4523,34	4201,23
-0,134	0,638	2,862	5264,14	4625,47
-0,112	0,631	3,171	5978,60	5140,28

7. Висновки

Аналітичне рішення задачі проектування живильно-подрібнювального апарата є ітераційне виконання процедур аналізу на основі сформованої ФММ, а також процедур порівняння і перебору варіантів в процедурі параметричного синтезу МП. Воно полягає у виборі комбінації внутрішніх параметрів плющильного пристрою, відповідних до обраної структури МП, які одночасно стабілізують тиск верхніх вальців на нижні.

Список використаних джерел

1. Долгов І. А. Кормозбиральні машини: теорія, конструкція, розрахунок / І. А. Долгов. - Ростов н / Д: ДДТУ, 1996. – 124 с.
2. Дереза О. О. Аналіз існуючої техніки для заготівлі якісного сіна в господарствах / О. О. Дереза, С. В. Дереза // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, 2009. - Т. 5. - С. 44 – 47.



3. Поляков А. П. Математична модель системи «Двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив» / А. П. Поляков, О. О. Галушак // Між-вузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". – Луцьк, 2014. – Випуск №45. – С. 438 – 443.
4. Пиуновский И. И. Проблемы повышения качества кормов при заготовке их на сено и сенаж / И. И. Пиуновский // Сборник научных докладов. Международная научно-практическая конференция «Земледельческая механика в растениеводстве», 2001. - Т. 4. - С. 97 – 103.
5. Калетнік Г. М. Інститути інфраструктури та ціноутворення у розвитку аграрного ринку: регіональний аспект / Г. М. Калетнік, О. Г. Шпикуляк, Г. О. Пчелянська // Вінниця: ТОВ «Фірма «Планер», 2012. – 213 с.
6. Пришляк В. М. Дослідження перспективних машинних технологій з використанням відновлювальних паливних ресурсів / В. М. Пришляк, А. А. Пясецький, С. А. Бурлака // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету, 2014. - №2. - С. 212 – 219.
7. Karabektas M. The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine / M. Karabektas, G. Ergen, M. Hosoz // Applied Thermal Engineering, 2008. – 28(17-18). P. 2136 – 2143.
8. Іванов М. І. Застосування гідропривода поперечних коливань доочисників гичкозбиральної машини / М. І. Іванов, І. М. Подолянин, А. С. Гунько. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2011. – №41. – С. 217 – 223.
9. De A. Chemical Structure and Physical Properties of Vegetable Oil Esters / A. De, J. Rodrigues, P. De, F. Cardoso, E. R. Lachter, L. R. M. Estevao, E. Lima, R. S. V. Nascimento // JAOCS, 2006. – Vol. 83. – № 4. – P. 353 – 357.
10. Малаков О. І. Зниження навантаження елементів конструкції моста керованих коліс самохідної косарки шляхом раціональної установки гідроциліндрів / О. І. Малаков, С. А. Бурлака, Р. О. Ярошук // Вісник Хмельницького національного університету, 2018. - №4. – С. 56 – 61.

References

- [1] Dolgov, I. (1996) *Kormozbyralni mashyny: teoriia, konstruktsiia, rozrakhunok [Self-propelled machines: theory, design, calculation]* Rostov N / D: Don. derzh. tekhn. un-t -DDTU [in Russian].
- [2] Dereza, O., Dereza S. (2009) *Analiz isnuiuchoi tekhniki dlia zahotivli yakisnoho sina v hospodarstvakh [Analysis of existing equipment for harvesting quality hay in farms]*, 5, 44 – 47, Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu [in Ukrainian].
- [3] Polyakov A., Halushchak, O. (2014) *Matematychna model systemy «Dvyhun – systema zhyvlennya sumishshyu dyzelnoho ta biodyzelnoho palyv» [Mathematical model of the system "Engine - a system of supply with a mixture of diesel and biodiesel fuels"]*, 45, 438 – 443, Lutsk: Mizh-vuzivskyy zbirnyk "NAUKOVI NOTATKY" [in Ukrainian].
- [4] Pyunovsky, I. (2001) *Problemy povysheniya kachestva kormov pry zahotovke ykh na seno y senazh. [Problems of improving the quality of feed when harvesting them for hay and senaez]*, 4, 97 – 103, Sbornyk nauchnykh dokladov. Mezhdunarodnaia nauchno-praktycheskaia konferentsiya «Zemledelcheskaia mekhanyka v rastenyevodstve» [in Russian].
- [5] Kaletnik, H., Shpykulyak, O., Pchelyanska, H. (2012) *Instytuty infrastruktury ta tsinoutvorennia u rozvytku ahrarnoho rynku: rehionalnyy aspekt [Infrastructure and pricing institutes in the development of the agrarian market: a regional aspect]* Vinnytsya: TOV "Firma "Planer" [in Ukrainian].
- [6] Pryslyak, V., Piasetskii, A., Burlaka, C. (2014) *Doslidzhennia perspektyvnykh mashynnykh tekhnolohii z vykorystanniam vidnovliuvalnykh palyvnykh resursiv [Research of advanced machine technologies with the use of renewable fuels]*, 2, 212 – 219, Vinnytsya: Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [in Ukrainian].
- [7] Karabeka, M., Ergen, G., Hosoz, M. (2008) The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine, 28(17 – 18), 2136 – 2143, Applied Thermal Engineering.
- [8] Ivanov, M., Podolyanyn, I., Hunko, A. (2011) *Zastosuvannya hidropryvoda poperechnykh kolyvan doochysnykiv hychkozbyralnoyi mashyny [Application of the hydraulic drive of the transverse oscillation of the cleanser of the hoeing machine]*, 41, 217 – 223, Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya silskohospodarskykh mashyn [in Ukrainian].



- [9] De, A., Rodrigues, J., De, P., Cardoso, F., Lachter, E. R., Estevao, L.R.M., Lima, E., Nascimento, R.S.V. (2006) Chemical Structure and Physical Properties of Vegetable Oil Esters, 83, 4, 353 – 357, JAOCS.
- [10] Malakov, O. I., Burlaka, S., Yaroshchuk, R. (2018) *Znyzhennia navantazhennia elementiv konstruktssii mosta kerovanykh kolis samokhidnoi kosarky shliakhom ratsionalnoi ustanovky hidrotsylindriv [Reduction of the structural elements of the bridge of the controlled wheels of the self-propelled mower through the rational installation of the hydraulic cylinders]*, 8, 56 – 61, Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu [in Ukrainian].

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЖИВО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО АППАРАТА КОРМОСБИРАЛЬНОГО КОМБИНАТА КСК-600

Проведено дослідження і аналіз взаємодії робочих органів измельчаючого апарату з трав'яною масою методами теоретичної механіки, диференціального і інтегрального числення, теорії ймовірностей і математичного моделювання з використанням комп'ютерного програмного забезпечення. Експериментальні дослідження проводились на лабораторних установках і опытном образце дробильного апарату з використанням теорії планування багатофакторних експериментів. Тенометричні вимірювання значень при визначенні показателів міцності робочих процесів проводились з використанням прикладного програмного забезпечення. Обробка результатів експериментальних даних проводилась методом статистичного і регресійного аналізу на ПК.

Ключевые слова: рабочие органы, измельчитель, прессование, ролики, производительность, моделирование.

Ф. 4. Рис. 1. Табл. 1. Лит. 10.

MODELING OF THE LIVING-CONVERTING APPARATUS OF KSK-600 KORMOSBIRAL COMBINE

The research and analysis of the interaction of working bodies of a grinding apparatus with herbal mass using the methods of theoretical mechanics, differential and integral calculus, probability theory and mathematical modeling with the use of computer software is carried out. Experimental researches were carried out on laboratory facilities and experimental sample of a crushing apparatus using the theory of planning of multifactorial experiments. Tenometric measurements of the values in determining the strength indicators of work processes were carried out using application software. The processing of the results of experimental data was carried out by the method of statistical and regression analysis on the PC.

Keywords: working bodies, shredder, pressing, rollers, productivity, modeling

F. 4. Fig. 1. Tab. 1. Ref. 10.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Малаков Олександр Іванович – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, malakovsana@gmail.com).

Бурлака Сергій Андрійович – асистент кафедри «Загальнотехнічних дисциплін та охорони праці» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: ipserhiy@gmail.com).

Ярошук Роман Олександрович – аспірант кафедри «Загальнотехнічних дисциплін та охорони праці» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: romanyaroshchuk91@gmail.com).

Малаков Александр Иванович – аспірант кафедри «Машин и оборудования сельскохозяйственного производства» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, malakovsana@gmail.com).



Бурлака Сергей Андреевич – ассистент кафедры «Общетехнических дисциплин и охраны труда» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: ipserhiy@gmail.com).

Ярошук Роман Александрович – аспирант кафедры «Общетехнических дисциплин и охраны труда» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: romanyaroshchuk91@gmail.com).

Alexander Malakov – Postgraduate Student of the Department of “Machines and Equipment for Agricultural Production” of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyschaya Str., Vinnytsia, Ukraine, 21008, malakovsana@gmail.com).

Sergiy Burlaka – Assistant of the department "General Technical Disciplines and Occupational Safety" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solyaschaya str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: ipserhiy@gmail.com).

Roman Yaroshchuk – Postgraduate Student of the Department of “General Technical Disciplines and Occupational Safety” of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: romanyaroshchuk91@gmail.com).