

**Національний науковий центр  
«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»**

ISSN print 0131-2189 ISSN on-line 2707-0751

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189>

# **Механізація та електрифікація сільського господарства**

Загальнодержавний збірник

*Випуск № 10 (109)*

Глеваха – 2019

ББК 40.7  
УДК 631.171  
М 55

Збірник, починаючи з 44-го випуску, 1979 року зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre. Paris. France), а з 2019 року він має власну електронну версію, яка розміщується на офіційному веб-сайті: <https://journal.imesg.gov.ua/>. Видання реферується та індексується в міжнародних наукометричних базах, системах і репозитаріях: CrossRef (США), Google Scholar (США), ResearchBib (Канада).

Засновник видання – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства».

Періодичність видання – два випуски на рік.

Тематична спрямованість видання – висвітлення проблем механізації, електрифікації й автоматизації сільськогосподарського виробництва; узагальнення як вітчизняного, так і зарубіжного досвіду розвитку аграрної інженерної науки.

Періодичне видання включено до Переліку наукових фахових видань України (наказ МОН України від 07.10.2015 р. № 1021).

Випуск друкується згідно з рішенням вченої ради ННЦ «ІМЕСГ» (протокол № 18 від 10 грудня 2019 року).

Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського прийняла на репозитарне зберігання та представлення на інформаційному порталі в розділі «Наукова періодика України». URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>. Видання індексується Google Scholar.

Свідоцтво про державну реєстрацію  
Серія КВ № 21384-11184 ПР від 17.06.2015 р.

Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). 192 с.

Національний науковий центр  
«Інститут механізації та електрифікації  
сільського господарства», 2019 р.

BBC 40.7  
UDC 631.171  
M 55

Compilation starting from 44th release in 1979 registered at the International Centre periodical publications (ISSN International Centre. Paris, France) and since 2019 it has its own electronic version, which is available on the official website: <https://journal.imesg.gov.ua/>. The publication is referenced and indexed in international science databases, systems and repositories: CrossRef (USA), Google Scholar (USA), ResearchBib (Canada).

Founder of edition – National scientific centre “Institute for Agricultural Engineering and Electrification”.

Periodicity issue – two issues of per year.

Thematic orientation Edition – covering of the problems mechanization, electrification and automation of agricultural production; generalization of both domestic and foreign experience of agricultural engineering.

Periodical included in the of the List scientific professional editions of Ukraine (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 07.10.2015 No. 1021).

Edition printed accordance with decision of the Academic Council of the NSC “IAEE” (protocol No. 18 of December 10, 2019).

National Library of Ukraine V. I. Vernadsky adopted at repositories storing and presentation at the portal of the “Scientific Periodicals Ukraine” URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>. The publication is indexed by Google Scholar.

Certificate of state registration  
Series KV № 21384-11184 PR from 17.06.2015.

Mechanization and electrification of agriculture: nationwide collection / NSC “IAEE”. Glevakha, 2019. Issue 10 (109). 192 p.

© National Scientific Center  
“Institute of Agricultural Engineering  
and Electrification”, 2019.

**Національна редакційна колегія**

Головний редактор – д.т.н., проф., академік НААН В. В. Адамчук (смт Глеваха)

Заступник головного редактора – к.т.н. М. І. Грицишин (смт Глеваха)

Відповідальний секретар – провідний інженер Н. М. Коньок (смт Глеваха)

**Члени редакційної колегії:**

к.т.н. А. М. Борис (смт Глеваха)

д.т.н. В. В. Братішко (смт Глеваха)

д.т.н., проф., академік НААН В. М. Булгаков (м. Київ)

к.т.н. М. О. Василенко (смт Глеваха)

д.т.н. Ю. Г. Вожик (смт Глеваха)

к.т.н. Ю. В. Герасимчук (смт Глеваха)

д.т.н., проф. Г. А. Голуб (м. Київ)

к.т.н. В. І. Днесь (смт Глеваха)

пров. бібліограф Т. С. Жук (смт Глеваха)

д.т.н., проф. В. В. Козирський (м. Київ)

к.е.н. В. І. Крутякова (смт Хлібодарське Одеської обл.)

к.т.н. Р. Б. Кудриницький (смт Глеваха)

к.т.н. В. Ф. Кузьменко (смт Глеваха)

д.т.н., проф. В. Г. Мироненко (смт Глеваха)

д.т.н., проф., чл.-кор. НААН В. Т. Надикто (м. Мелітополь)

к.т.н. В. А. Насонов (смт Глеваха)

к.т.н. С. П. Погорілий (смт Глеваха)

к.т.н. В. В. Ратушний (смт Глеваха)

к.п.н. В. І. Рябець (м. Тараща)

к.т.н. І. Ф. Савченко (смт Глеваха)

заввідділу Н. В. Сергєєва (смт Глеваха)

к.т.н. С. П. Степаненко (смт Глеваха)

к.т.н. В. В. Ткач (смт Глеваха)

к.т.н. В. М. Третяк (смт Глеваха)

д.т.н., проф. А. І. Фененко (смт Глеваха)

**Зарубіжні члени редакційної колегії:**

д.т.н., проф., академік АСГН Республіки Казахстан В. А. Астаф'єв (м. Костанай)

д.т.н., проф. Б. Г. Борисов (м. Русе, Болгарія)

к.т.н., доц. Р. Готеборські (м. Прага, Чехія)

к.т.н., доц. М. Коренко (м. Нітра, Словаччина)

д.т.н., проф. Є. Красовські (м. Люблін, Польща)

д.т.н., проф. В. Крочко (м. Нітра, Словаччина)

д.т.н., проф. А. К. Леола (м. Тарту, Естонія)

д.т.н., проф. Я. В. Новак (м. Люблін, Польща)

д.т.н. проф. С. Івановс (смт Улборка, Латвія)

к.т.н., доц. Д. Степонавічюс (м. Каунас, Литва)

д.т.н., проф. Й. Хорабик (м. Люблін, Польща)

д.т.н., проф., чл.-кор. НАН Білорусії В. О. Шаршунов (м. Могильов, Білорусь)

д.т.н., проф. Л. П. Шульц (м. Бонн, Німеччина)

**Адреса редколегії:**

11, вул. Вокзальна, смт Глеваха, Васильківський район, Київська область, 08631, Україна

Тел.: (04571) 3-11-01 – головний редактор В. В. Адамчук

Тел.: (04571) 3-26-88 – відповідальний секретар Н. М. Коньок

E-mail: [zbir.imesg@gmail.com](mailto:zbir.imesg@gmail.com)

Сайт: [www.imesg.gov.ua](http://www.imesg.gov.ua)

**National Editorial Board**

Editor-in-Chief – Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAAS V. V. Adamchuk (town-type settlement Glevakha)

Deputy Chief Editor – Candidate of Technical Sciences M. I. Gritsyshyn (town-type settlement Glevakha)

Responsible secretary – leading engineer N. M. Konyok (town-type settlement Glevakha)

**Editorial Board Members:**

Candidate of Technical Sciences A. M. Boris (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences V. V. Bratishko (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAAS V. M. Bulgakov (town Kyiv)

Candidate of Technical Sciences M. O. Vasilenko (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences Yu. G. Vozhik (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Technical Sciences Yu. V. Gerasymchuk (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences, Professor G. Golub (town Kyiv)

Candidate of Technical Sciences V. I. Dnes (town-type settlement Glevakha)

Leading bibliographer T. S. Zhuk (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences, Professor V. Kozyrskyy (town Kyiv)

Candidate of Economic Sciences V. I. Krutyakova (town-type settlement Khlybodarskoe of Odessa region)

Candidate of Technical Sciences R. B. Kudrynetskyy (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Technical Sciences V. F. Kuzmenko (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences, Professor V. G. Myronenko (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corr. of NAAS V. Nadykto (town Melitopol)

Candidate of Technical Sciences V. A. Nasonov (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Technical Sciences S. P. Pohorilyy (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Technical Sciences V. V. Ratushny (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Pedagog. Sciences V. Ryabets (town Tarashcha)

Candidate of Technical Sciences I. Savchenko (town-type settlement Glevakha)

Head of Department N. V. Sergeeva (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Technical Sciences S. P. Stepanenko (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Technical Sciences V. V. Tkach (town-type settlement Glevakha)

Candidate of Technical Sciences V. M. Tretyak (town-type settlement Glevakha)

Doctor of Technical Sciences, Professor A. Fenenko (town-type settlement Glevakha)

**Foreign members of the Editorial Board:**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of ASHN Republic of Kazakhstan V. Astafyev (town Kostanai)

Doctor of Technical Sciences, Professor B. Borisov (town Ruse, Bulgaria)

Candidate of Technical Sciences, Docent R. Hotyborsky (town Prague, Czech Republic)

Candidate of Technical Sciences, Docent M. Korenko (town Nitra, Slovak Republic)

Doctor of Technical Sciences, Professor E. Krasovskii (town Lublin, Poland)

Doctor of Technical Sciences, Professor V. Krochko (town Nitra, Slovak Republic)

Doctor of Technical Sciences, Professor A. Leola (town Tartu, Estonia)

Doctor of Technical Sciences, Professor J. Novak (town Lublin, Poland)

Doctor of Technical Sciences, Professor S. Ivanovs (town-type settlement Ulbroka, Latvia)

Candidate of Technical Sciences, Docent D. Steponavichyus (town Kaunas, Lithuania)

Doctor of Technical Sciences, Professor J. Horabyk (town Lublin, Poland)

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corr. National Academy of Sciences Belarus V. Sharshunov (town Mogilev, Republic of Belarus)

Doctor of Technical Sciences, Professor L. P. Schulze (town Bonn, Germany)

**Address of Editorial Board:**

11, Vokzalna Street, Glevakha-1, Vasytkiv District, Kyiv Region, 08631 UKRAINE

Tel.: (04571) 03-11-01 – Editor-in-Chief V. V. Adamchuk

Tel.: (04571) 3-26-88 – Responsible secretary N. M. Konyok

E-mail: [zbir.imesg@gmail.com](mailto:zbir.imesg@gmail.com)

Website: [www.imesg.gov.ua](http://www.imesg.gov.ua)

## ЗМІСТ

### Механіко-технологічні процеси, робочі органи та машини для рослинництва

<i>1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В., Ружило З. В.</i> Теоретичні дослідження коливань очисних робочих органів спірального сепаратора картоплі .....	10
<i>2. Вожик Ю. Г.</i> Шляхи підвищення родючості ґрунтів .....	24
<i>3. Горобей В. П.</i> Теоретичні дослідження розсіву насіння лаповим сошником із роликком-розсіювачем .....	33
<i>4. Панасюк В. І.</i> Дослідження закономірності осідання краплин рідини під час обприскування польових культур .....	42
<i>5. Маранда С. О.</i> Теоретичні дослідження процесу розподілу біоматеріалу на поверхні поля .....	48
<i>6. Котов Б. І., Степаненко С. П.</i> Аналіз впливу нерівномірності швидкості повітряного потоку на траєкторії руху зернових частинок у пневмоінерційному сепараторі .....	57
<i>7. Швидя В. О.</i> Теоретичне обґрунтування використання контактного нагріву для сушіння насіння у вакуумі .....	66
<i>8. Степаненко С. П.</i> Аналітичні дослідження технологічних параметрів криволінійного каналу пневмосепаратора .....	75
<i>9. Крутич О. М., Банга В. І., Веремейчик Н. В., Крутич С. О.</i> Дослідження прискорень струшування гілок та відриву плодів волоського горіха .....	84

### Механіко-технологічні процеси, робочі органи та машини для тваринництва

<i>10. Мілько Д. О., Журавель Д. П., Педченко Г. П., Кузьменко В. Ф.</i> Методика складання раціону великої рогатої худоби на основі поживної цінності кормових компонентів .....	91
<i>11. Болтянська Н. І., Болтянський О. В.</i> Обґрунтування вибору системи опалення свинарників .....	97
<i>12. Болтянська Н. І.</i> Шляхи вдосконалення конструкцій шестеренних прес-грануляторів .....	104
<i>13. Григоренко С. М., Мілько Д. О.</i> Методика експериментальних досліджень процесу сушіння пташиного посліду в барабанній сушарці .....	111

**Енергетика, енергетичні засоби, відновлювані джерела енергії, електротехнології та автоматизація виробничих процесів**

<i>14. Погорілий С. П.</i> Результати експериментальних досліджень сили опору коченню МЕЗ-330 «Автотрактор» .....	118
<i>15. Журавель Д. П., Мілько Д. О., Бондар А. М.</i> Використання біологічної оливи для сільськогосподарської техніки.....	125
<i>16. Скляр О.Г., Скляр Р. В.</i> Аналіз роботи біогазових установок .....	132
<i>17. Скляр О. Г., Скляр Р. В.</i> Аналіз роботи насосів, що використовуються в біогазових установках .....	139
<i>18. Witold Jan Wardal</i> Prawne i praktyczne aspekty wytwarzania i uzdatniania biogazu rolniczego.....	146

**Створення, технічне обслуговування, ремонт і надійність машин**

<i>19. Василенко М. О., Буслаєв Д. О., Калінін О. Є., Кононогов Ю. А.</i> Дослідження зносостійкості лемешів плугів, зміцнених електроконтактним обробленням і точковим наплавленням .....	154
<i>20. Болтянська Н. І., Комар А. С.</i> Кількісні показники економічного аналізу надійності прес-гранулятора з нерухомою матрицею .....	160

**Інженерія машинних систем та управління проектами, адаптація аграрного виробництва до глобальних змін клімату**

<i>21. Мироненко В. Г., Тютюнник Н. В.</i> Система інформаційного забезпечення визначення раціонального терміну початку збирання врожаю зернових колосових культур .....	166
<i>22. Крутякова В. І.</i> Концепція стратегії розвитку виробництва біологічних засобів захисту рослин.....	170
<i>23. Вітрук П. І.</i> Моделювання продуктивності для оцінки проектних параметрів транспортно-технологічних машин.....	177
Ювілеї.....	183
Пам'яті вченого .....	187

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2019-10-12>  
УДК 631.36

## Шляхи вдосконалення конструкцій шестеренних прес-грануляторів

**Болтянська Н. І.,**

к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, e-mail: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua;  
ORCID iD 0000-0002-7887-4715

### Анотація

**Мета.** Проаналізувати шестеренні прес-гранулятори з метою визначення напрямів вдосконалення їхньої конструкції.

**Методи.** Для аналізу шестеренних прес-грануляторів використано методи порівняльного й системного аналізу, синтезу, наукових узагальнень та метод аргументації.

**Результати.** Проаналізовано основні праці науковців, що присвячені дослідженням роботи шестеренних прес-грануляторів, визначено шляхи підвищення продуктивності та надійності прес-грануляторів із кільцевою матрицею, зниження енергоємності процесу гранулювання і трудомісткості обслуговування робочих органів, забезпечення можливості регулювання якості одержуваних гранул, виявлено комплекс

конструктивних і технологічних недоліків та вирішено окремі завдання структурного синтезу з удосконалення конструкцій прес-грануляторів.

**Висновки.** Розробка конструктивно-технологічної схеми шестеренного прес-гранулятора повинна бути спрямована на наступне: простота конструкції; забезпечення швидкого доступу до його основних вузлів і деталей із метою зручності їх заміни; забезпечення оптимальної експлуатації з можливістю керування продуктивністю; підвищення його продуктивності та зниження енергоємності процесу гранулювання.

**Ключові слова:** шестеренний прес-гранулятор, конструкція, гранулювання, підвищення продуктивності, підвищення надійності, переваги, недоліки.

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2019-10-12>  
UDC 631.36

## Ways to improve the design of gear granulator presses

**Boltianska N.,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, e-mail: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua;  
ORCID iD 0000-0002-7887-4715

### Annotation

**Purpose.** Analyze gear press granulators in order to determine directions for improving their designs.

**Methods.** In the analysis of the gear presses-granulators used the methods of comparative and systemic analysis, synthesis, scientific generalizations, and the method of argumentation.

**Results.** The article analyzes the main works of scientists devoted to the study of work gear presses-granulators, identify ways to improve the performance and reliability of pellet press machine ring die, reducing energy consumption of the pelletizing process and the complexity of maintenance of the working bodies, providing the possibility of

regulating the quality of the pellets revealed the complex structural and technological shortcomings.

**Conclusions.** The development of the structural and technological scheme of the gear press granulator should be aimed at the following: simplicity of design; providing quick access to its main components and parts for the convenience of replacing them; ensuring optimal operation with the ability to control performance; increasing its productivity and reducing the energy intensity of the granulation process.

**Keywords:** gear press granulator, design, granulation, enhanced performance, increased reliability, advantages, disadvantages.



DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2019-10-12>  
УДК 631.36

## Пути совершенствования конструкций шестеренных пресс-грануляторов

**Болтянская Н. И.,**

к.т.н., доцент, Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного,  
e-mail: natalia.boltianska@tsatu.edu.ua; ORCID iD 0000-0002-7887-4715

### Аннотация

**Цель.** Проанализировать шестеренные пресс-грануляторы с целью определения направлений совершенствования их конструкции.

**Методы.** При анализе шестеренных пресс-грануляторов использованы методы сравнительного и системного анализа, синтеза, научных обобщений и метод аргументации.

**Результаты.** Проанализированы основные труды ученых, посвященные исследованию работы шестеренных пресс-грануляторов, определены пути повышения производительности и надежности пресс-грануляторов с кольцевой матрицей, снижение энергоемкости процесса гранулирования и трудоемкости обслуживания рабочих органов, обеспечение возможности регулирования качества получаемых гранул, выявлено комплекс конструктивных и технологических недостатков.

**Выводы.** Разработка конструктивно-технологической схемы шестеренного пресс-гранулятора должна быть направлена на следующее: простота конструкции; обеспечение быстрого доступа к его основным узлам и деталям с целью удобства их замены; обеспечение оптимальной эксплуатации с возможностью управления производительностью; повышение его производительности и снижение энергоемкости процесса гранулирования.

**Ключевые слова:** шестеренный пресс-гранулятор, конструкция, гранулирование, повышение производительности, повышение надежности, преимущества, недостатки.

**Постановка проблемы.** Нині активно розвиваються існуючі й розробляються нові промислові напрями, де застосовуються технології пресового гранулювання попередньо подрібнених матеріалів у прес-грануляторах екструзійного типу з циліндричними робочими органами. Фахівцями обґрунтована можливість гранулювання більше 5000 різних видів сировини [1, 2]. У сфері АПК у прес-грануляторах здійснюють переробку агросировини на виробництві гранульованих комбікормів та їхніх окремих компонентів, на виробництві паливних гранул із відходів АПК (наприклад, із соломи, лушпиння), а також із

метою отримання гранульованих проміжних продуктів для підвищення ефективності подальшого технологічного процесу (наприклад, гранулювання макухи на олійно-екстракційних заводах) [2, 3]. Прес-гранулятори широко використовуються аграріями як інструмент для підготовки кормів та переробки відходів сільського господарства. Гранулювання тирси, сіна, соломи, лушпиння та інших відходів дозволяє економити на паливі та підвищити рентабельність роботи підприємства загалом [2–5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасній класифікації пресуючих механізмів видавлюючого типу виділяють прес-гранулятори з циліндричними робочими органами, в яких виключається прослизання. Це – шестеренні прес-гранулятори з внутрішнім зубчастим зачепленням колеса-матриці й пресуючих коліс [5–8].

Дослідженням роботи шестеренних прес-грануляторів присвячені наукові праці В. І. Щербини [9], Ю. А. Сімакіна [10], А. Ф. Зоріна, С. А. Белоконова [11], Е. А. Ладігіна [12] та інших дослідників. За їхніми даними істотний інтерес і перспективність представляють шестеренні гранулятори кормів. Проте, незважаючи на накопичений практичний досвід, завдання щодо створення конкурентоспроможних конструкцій грануляторів для переробки біомаси на пресоване біодобриво та паливні гранули дотепер не розв'язане і потребує подальшого дослідження.

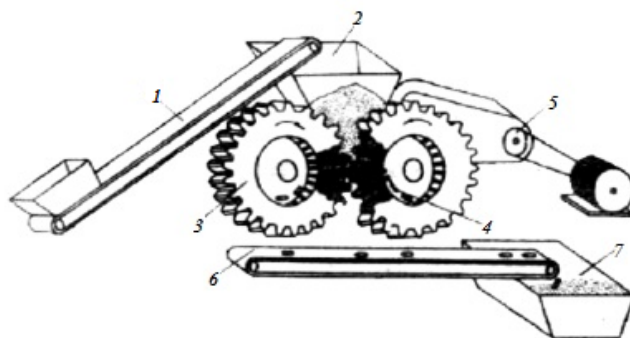
**Мета досліджень.** Проаналізувати шестеренні прес-гранулятори з метою визначення напрямів вдосконалення їхньої конструкції.

**Методи досліджень.** Для аналізу шестеренних прес-грануляторів використано методи порівняльного й системного аналізу, синтезу, наукових узагальнень та метод аргументації.

**Результати досліджень.** В Україні й за кордоном найбільш поширені вальцово-матричні прес-гранулятори з активною кільцевою матрицею і пасивними пресуючими роликками. Однак, за останнє двадцятиріччя конструкції таких пресуючих механізмів хоча й досягли більш високого технічного рівня, але за структурними ознаками змінилися незначно [14]. Шестеренні гранулятори виділені окремо, оскільки вони поєднують безперервний процес порційного гранулювання матеріалу. Найбільш детальна схема поділу шестеренних прес-грануляторів за основними ознаками приведена у відомих роботах С. В. Щербини [9]. Ним запропоновано поділ пресів: за способом формування гранул – на ті, що формують, і ті, що видавлюють; за способом приводу робочих органів – на преси з колесами, що поєднують функції гранулювання матеріалу і передачі їм обертового моменту, і преси з відокремленою функцією обертання коліс від

паралельної передачі; за способом зачеплення шестерень – на два типи: з внутрішнім і зовнішнім зачепленням; за типом впливу зубів коліс гранулятора на матеріал – на преси лопатевого і плунжерного типів. Зубчасті колеса з лопатевим впливом на корм упресовують його бічною поверхнею зуба, а з плунжерним – голівкою зуба; за розташуванням пресуючих коліс – на преси з вертикальним або горизонтальним компонуванням робочих органів. Шестеренні гранулятори здійснюють переробку великого набору сировини, а проте в багатьох із них немає можливості здійснювати регулювання каналу пресування, через що енергоємність у таких пристроїв завищена.

У брикетуванні рослинних матеріалів Ю. А. Сімакін [10] першим застосував зубчасті колеса. Одночасно з пресуванням зубчасті колеса його преса передавали обертовий момент (рис.).



**Рис.** Схема лабораторно-виробничої установки Ю. А. Сімакіна:

1 і 6 – завантажувальний і вивантажувальний стрічковий транспортери; 2 – завантажувальний бункер; 3 – пресувальні зубчасті колеса; 4 – ніж обламувальний; 5 – привод преса; 7 – ємність накопичувача

**Fig.** Scheme of laboratory-production unit Yu. A. Simakin:

1 and 6 – loading and unloading belt conveyors; 2 – loading hopper; 3 – pressing gear wheels; 4 – breaking knife; 5 – press drive; 7 – capacity of the drive

Ним отримана залежність щільності пресованого матеріалу  $\rho$  від кута повороту пресуючих коліс, яка має вигляд:

$$\rho = \gamma \frac{r_e^2 \left( \frac{\pi}{2z} + \sin \alpha_e - \operatorname{inv} \alpha \right) - \frac{r_0^2}{3} (\alpha_e + \operatorname{inv} \alpha_e) -}{r_0^2 \left[ \frac{\pi}{z} \varphi^2 - \frac{2\pi}{z} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{\pi}{z} \right) \varphi + \frac{\pi}{z} \left( 1 + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{2\pi}{z} \operatorname{tg} \alpha + \frac{4\pi^2}{3z^2} \right) - \frac{1}{3} \operatorname{tg}^3 \alpha_e \right] - \frac{-r_3^2 \left( \frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha \right)}{-r_e^2 \left( \frac{\pi}{2z} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_e \right) - z_3^2 \left( \frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha \right)}, \quad (1)$$

де  $\gamma$  – насипна маса корму, кг/м<sup>3</sup>;

$r_e, r_0, r_3$  – радіуси кіл верхніх зубів, основний і заходу зубів у западини коліс, відповідно, м;

$z$  – число зубів коліс;

$\alpha$  – кут зачеплення зубчастих коліс, рад;

$\alpha_e$  – кут радіуса-вектора евольвенти у вершині зуба колеса, рад;  
 $\varphi$  – кут повороту зубчастих коліс, рад.

Зусилля стиснення за його даними варіює відповідно до зміни площі западин між зубами:

$$q_{cm} = \gamma \frac{k_0 \gamma S_b}{\rho_K \left( S_{зп} - \frac{\gamma}{\rho_K} S_b \right)}, \quad (2)$$

де  $S_b$  і  $S_{зп}$  – первісна і поточна площі поперечного перерізу западин, м<sup>2</sup>.

Пропускну здатність  $\theta$  такого зубчастого гранулятора пропонується ним визначати за формулою:

$$\theta = Bz\omega\gamma K_3 K_6 \frac{1}{\pi} \left[ r_e^2 \left( \frac{\pi}{2z} + inv \alpha_e - inv \alpha \right) - \frac{r_0^2}{3} (\alpha_e - inv \alpha_e)^2 - r_0^2 \left( \frac{\pi}{2z} - inv \alpha \right) \right], \quad (3)$$

де  $B$  – ширина, м;

$\omega$  – кутова швидкість зубчастих коліс, с<sup>-1</sup>;

$K_3$  – коефіцієнт заповнення западин;

$K_6$  – коефіцієнт брикетування (частка готових гранул від маси поданого корму).

Відомий також вираз і для визначення довжини пресувальних отворів  $L_0$ :

$$L_0 = \frac{S_b}{U f \delta}, \quad (4)$$

де  $S_b$  – площа перетину, м<sup>2</sup>;

$U$  – периметр перетину, м;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\delta$  – коефіцієнт бокового тиску.

У дослідженнях Ю. А. Сімакіна застосовувалася нова компоновка філь'єр у западинах – строго радіальний отвір подовжений округлий, що підвищує коефіцієнт живого перетину. Зубчастий вінець пресуючих коліс був стандартним евольвентним, зміщення профілю рейки не передбачалося. На пресі застосовувалися рівновеликі зубчасті колеса.

Певний інтерес для аналізу роботи пресів представляє і робота Е. А. Ладигіна [12], присвячена так само шестеренним грануляторам. У ній розглядається виробництво кормових гранул із суміші лікарських препаратів і подрібненого зерна. Уперше Е. А. Ладигін визначив стадії пресування: лінійного стиснення зубами і стиснення корму в міжзубовому просторі матриць. Автором було відзначено явище розширення втиснутої порції матеріалу в каналі пресування на виході її з каналу пресування.

Ним отримана математична модель пресування досліджуваної кормової суміші зубчастими колесами при варіюванні модуля зубів у межах 8–16 мм, вологості 13–21% і числі обертів зубчастих коліс 20–40 хв<sup>-1</sup>. За

нею оптимальними співвідношеннями параметрів є: частота обертання пресуючих коліс 29,05–31,45 хв<sup>-1</sup>, модуль 16 мм, а подача матеріалу 0,0969–0,1053 кг/с. Необхідно відзначити, що відомі дослідження шестеренних прес-грануляторів переважно присвячені зубчастим колесам із традиційним евольвентним зачепленням.

Робота С. А. Белоконова [11] присвячена також вивченню процесу гранулювання кормів шестеренним пресом, приготування гранул із кормових сумішей зернових культур. Ним отримана регресійна математична модель стиснення кормів у вигляді рівнянь для визначення роботи стиснення (питомої) та розкришуваності гранул.

Отримані залежності дозволяють визначити ступінь зволоження вихідної сировини для зменшення роботи його стиснення. За його даними використання криволінійних камер пресування прискорює релаксацію напружень у стислому матеріалі й дозволяє підвищити пропускну здатність шестеренного преса на 32–36%. Одержувані ним за температури 70 °С, вологості вихідної сировини 19–21%, довжини частинок кормів 0,5–0,7 см і масової, максимально можливої за рецептурою, частки, комбікорми, гранули відповідали встановленим стандартами показникам якості.

Відомі сотні можливих конструкцій і теоретичних схем різного виду пресів і грануляторів. Запатентовано велику кількість технічних рішень пристроїв для обробки кормів тиском, але досі немає оптимального рішення щодо найбільш ефективної конструкції

тивно-технологічної схеми прес-гранулятора, що забезпечувала б високу продуктивність, низьку енергоємність і високу якість гранул.

Розробка конструктивно-технологічної схеми прес-гранулятора повинна бути спрямована на наступне: забезпечення простоти доступу до його вузлів та деталей; можливість швидкої заміни основних деталей або вузлів прес-гранулятора, проста конструкція, яка б забезпечувала простоту серійного виготовлення, монтажу та складання, здебільшого модульна; забезпечення оптимальної експлуатації з можливістю регулювання продуктивності, дублювання важливих деталей і вузлів прес-гранулятора з одночасною можливістю ремонту деталей за умови обмеженої аварійної експлуатації, покращення силового потоку між матрицею і приводом.

Основними напрямками технологічного удосконалення прес-гранулятора є підвищення його продуктивності та зниження енергоємності процесу. Пропускна здатність шестеренного прес-гранулятора  $Q_c$  обчислюється за формулою:

$$Q_c = 2zV_{\text{од}}\rho_0n, \quad (5)$$

де  $z$  – кількість міжзубових западин на кожному колесі;

$V_{\text{од}}$  – обсяг одиничної порції корму, відокремленої під час утворення замкненого простору вхідним зубом сполученого колеса,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_0$  – щільність корму в момент утворення замкненого простору,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$n$  – частота обертання коліс,  $\text{с}^{-1}$ .

Враховуючи прямо пропорційну залежність пропускної здатності прес-гранулятора від наведених вище параметрів, можна зробити висновок, що підвищити пропускну здатність прес-гранулятора можна завдяки збільшенню об'єму міжзубових западин і збільшенню щільності корму в западині до моменту утворення замкнутого обсягу. Виходячи з того, що об'єм міжзубової западини залежить від конструктивних параметрів зубчастого колеса, а щільність корму в міжзубовій западині – від співвідношення об'єму корму, що подається до коліс, і об'єму западин у момент утворення замкнутого простору, можна стверджувати, що підвищення продуктивності шестеренного прес-гранулятора є можливим завдяки оптимізації параметрів зубчастих робочих органів та їхнім конструктивним особливостям.

Передбачається, що досягти зниження енергоємності процесу гранулювання можна внаслідок зміни конфігурації зуба і западин, що забезпечують збільшення питомого об'єму корму, спрямованого в канал пресування. Тож у подальших дослідженнях необхідно визначити залежність енергоємності від частоти обертання матриці, конфігурації зуба і западин та величини подачі матеріалу.

**Висновки.** Розробка конструктивно-технологічної схеми шестеренного прес-гранулятора повинна бути спрямована на наступне: простота конструкції; забезпечення швидкого доступу до його основних вузлів і деталей із метою зручності їх заміни; забезпечення оптимальної експлуатації з можливістю керування продуктивністю; підвищення його продуктивності та зниження енергоємності процесу гранулювання.

#### Бібліографія

1. Болтянська Н. І. Забезпечення високо-ефективного функціонування технологічного процесу приготування і роздавання кормів у тваринництві. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2014. Вип. 4. Т. 1. С. 16–22.
2. Братішко В. В. Узгодження конструкційних параметрів матриць гвинтових грануляторів кормів за тиском та пропускну здатністю. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2014. Вип. 27. С. 187–191.
3. Болтянский О. В. Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18. No. 1. Pp. 49–54.
4. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.
5. Болтянська Н. І. Показники оцінки ефективності застосування ресурсозберігаючих технологій в тваринництві. *Вісник Сумського НАУ. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2016. Вип. 10/3 (31). С. 118–121.
6. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посібник. Мелітополь: Колор Принт, 2012. 720 с.
7. Шаршунов В. А., Червяков А. В., Бортник С. А. Машины и оборудование для производства комбикормов: справочное пособие. *Экоперспектива*, 2005. 487 с.
8. Гвоздев О. В., Скляр О. Г., Болтянский Б. В. Підвищення ефективності використання

технічних засобів комбікормового виробництва методом системного підходу. *Праці ТДАТУ*. 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 92–98.

9. Комар А. С., Болтянська Н. І. Переробка пташиного посліду на добриво шляхом його гранулювання. *Тези V Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва»*. Умань, 2019. С. 18–20.

10. Симакин Ю. А. Исследование процесса брикетирования кормов зубчатым рабочим органом: дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 1977. 201 с.

11. Шацкий В. В., Скляр О. Г., Скляр Р. В. Екологічні проблеми ресурсовикористання у тваринництві. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2011. Вип. 1. Т. 3. С. 3–12.

12. Ладыгин Е. А. Технология и пресс для гранулирования кормолекарственных смесей: дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 1992. 159 с.

13. Болтянська Н. І., Комар А. С. Розробка конструкції преса-гранулятора для переробки пташиного посліду. *Зб. наукових-праць Міжн. наук.-практ. конф. «Актуальні питання розвитку аграрної науки в Україні»*. Ніжин, 2019. С. 84–91.

14. Комар А. С. Аналіз конструкції пресів для приготування кормових гранул та паливних брикетів. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2018. Вип. 8. Т. 2. С. 44–56.

### Bibliografia

1. Boltyans'ka, N. I. (2014). Zabezpechennya vy`sokoefekty`vnoho funkcionuvannya tehnologichnogo procesu pry`gotuvannya i rozdavannya kormiv u tvary`nny`cz'tvi. *Naukovy`j visny`k TDAU*, 4, 1, 16 – 22.

2. Bratishko, V. V. (2014). Uzgodzhennya konstrukciyni`x parametriv matry`cz` gvy`ntovy`x granulyatoriv kormiv za ty`skom ta propusknoyu zdatsnistyu. *Texnika v sil`s`kogospodars`komu vy`robny`cz'tvi, galuzeve mashy`nobuduvannya, avtomaty`zaciya*, 27, 187 – 191.

3. Boltjanskij, O. V. (2016). Analiz osnovnyh napravlenij resursoberezhennija v zhivotnovodstve *Motrol: Motoryzacija i Energetyka Rolnictwa*, 18, 1, 49 – 54.

4. Sklyar, O. G., Boltyans'ka, N. I. (2018). Osnovy` proektuvannya tvary`nny`cz`ky`x pidpry`yemstv. K.: Vy`davny`chy`j dim Kondor.

5. Boltyans'ka, N. I. (2016). Pokazny`ky` ocinky` efekty`vnosti zastosuvannya resursozberigayuchy`x tehnologij v tvary`nny`cz'tvi. *Visny`k Sums`kogo NAU Seriya: Mexanizaciya ta avtomaty`zaciya vy`robny`chy`x procesiv*, 10/3 (31), 118 – 121.

6. Sklyar, O. G., Boltyans'ka, N. I. (2012). Mexanizaciya tehnologichny`x procesiv u tvary`nny`cz'tvi. Melitopol` : Kolor Pry`nt.

7. Sharshunov, V. A., Chervjakov, A. V., Bortnik, S. A. (2005). Mashiny i oborudovanie dlja proizvodstva kombikormov.

8. Gvozdyev, O. V., Sklyar, O. G., Boltyans'ky`j, B. V. (2016). Pidvy`shhennya efekty`vnosti vy`kory`stannya texnichny`x zasobiv kombikormovogo vy`robny`cz'tva metodom sy`stemnogo pidxodu. *Praci TDAU*, 16, 2, 92 – 98.

9. Komar, A. S., Boltyans'ka, N. I. (2019). Pererobka ptashy`nogo poslidu na dobry`vo shlyaxom jogo granulyuvannya. *Innovacijni` tehnologiyi vy`roshhuvannya, zberigannya i pererobky` produkciyi sadivny`cz'tva ta rosly`nny`cz'tva, V Mizhnarodna naukovoprakty`chna konferenciya (pp. 18 – 20.) Uman`*.

10. Simakin, Ju. A. (1977). Issledovanie processa briketirovaniya kormov zubchatym rabochim organom. (Master's thesis). Zernograd.

11. Shaczky`j, V. V., Sklyar, O. G., Sklyar, R. V. (2011). Ekologichni problemy` resursovy`kory`stannya u tvary`nny`cz'tvi. *Naukovy`j visny`k TDAU*, 1, 3, 3 – 12.

12. Ladygin, E. A. (1992). Tehnologija i press dlja granulirovaniya kormolekarstvennyh smesej. (Master's thesis). Zernograd.

13. Boltyans'ka, N. I., Komar, A. S. (2019). Rozrobka konstrukciyi presa-granulyatora dlya pererobky` ptashy`nogo poslidu. *Aktual`ni py`tannya rozvy`tku agrarnoyi nauky` v Ukraini, Mizhn. nauk.-prakt. konf. (pp. 84 – 91)*. Nizhy`n.

14. Komar, A. S. (2018). Analiz konstrukcij presiv dlya pry`gotuvannya kormovy`x granul ta paly`vny`x bry`ketiv. *Naukovy`j visny`k TDAU*, 8, 2, 44 – 56.

### References

1. Boltyanska, N. I. (2014). Ensuring the highly efficient functioning of the process of preparation and distribution of feed in livestock. *TDAU Scientific Bulletin*, 4, 1, 16–22.

2. Bratishko, V. V. (2014). Coordination of design parameters of screw feed granulator matrices by pressure and throughput. *Engineering in agricultural production, industry engineering, automation*, 27, 187–191

3. Boltyansky, O. V. (2016). An analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry *Motrol: Motoryzacija i Energetyka Rolnictwa*, 18, 1, 49–54.

4. Sklar, O. G., Boltyanska, N. I. (2018). Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. Kyiv : Condor Publishing House.

5. Boltyanska, N. I. (2016). Indicators for assessing the effectiveness of the use of resource-saving technologies in animal husbandry. *Bulletin of Sumy NAU. Series : Mechanization and automation of production processes*, 10/3 (31), 118–121.

6. Sklar, O. G., Boltyanska, N. I. (2012). Mechanization of technological processes in animal husbandry: textbook. manual. Melitopol : Color Print.

7. Sharshunov, V. A., Chervyakov, A. V., Bortnik, S. A. (2005). Combined feed production machinery and equipment: reference. Ecoprospective.
8. Gvozdev, O. V., Sklyar, O. G., Boltyansky, B. V., (2016). Improving the efficiency of the use of technical means of compound feed production by the system approach method. *Against TDAT*, 16, 2, 92–98.
9. Komar, A. S., Boltyanska, N. I. (2019). Fertilization of poultry manure by granulation. *Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference*.
10. Simakin, Yu. A. (1977). Investigation of the process of briquetting feeds by the toothed working body. (Master's thesis). Zernograd.
11. Shatsky, V. V., Sklyar, O. G., Sklar, R. V. (2011). Environmental problems of resource use in animal husbandry. *TDATU Scientific Bulletin*, 1, 3, 3–12.
12. Ladygin, E. A. (1992). Technology and press for granulation of fodder mixes. (Master's thesis). Zernograd.
13. Boltyanska N. I., Komar A. S. (2019). Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine , Coll. scientific-works of Intern. Research Practice Conf. (pp. 84–91)*. Nizhin.
14. Komar, A. S. (2018). Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. *TDATU Scientific Bulletin*, 8, 2, 44–56.