

**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 (сmt Глеваха)

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

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

Члени редакційної колегії:

к.т.н. А. М. Борис (сmt Глеваха)

д.т.н. В. В. Братішко (сmt Глеваха)

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

к.т.н. М. О. Василенко (сmt Глеваха)

д.т.н. Ю. Г. Вожик (сmt Глеваха)

к.т.н. Ю. В. Герасимчук (сmt Глеваха)

д.т.н., проф. Г. А. Голуб (м. Київ)

к.т.н. В. І. Днесь (сmt Глеваха)

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

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

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

к.т.н. Р. Б. Кудринський (сmt Глеваха)

к.т.н. В. Ф. Кузьменко (сmt Глеваха)

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

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

к.т.н. В. А. Насонов (сmt Глеваха)

к.т.н. С. П. Погорілий (сmt Глеваха)

к.т.н. В. В. Ратушний (сmt Глеваха)

к.п.н. В. І. Рябець (м. Тараща)

к.т.н. І. Ф. Савченко (сmt Глеваха)

завідділу Н. В. Сергєєва (сmt Глеваха)

к.т.н. С. П. Степаненко (сmt Глеваха)

к.т.н. В. В. Ткач (сmt Глеваха)

к.т.н. В. М. Третьак (сmt Глеваха)

д.т.н., проф. А. І. Фененко (сmt 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 (сmt 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, сmt 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

Сайт: 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. Hotyborisky (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

Website: 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/10.37204/0131-2189-2019-10-13>
УДК 631.365

Методика експериментальних досліджень процесу сушіння пташиного посліду в барабанній сушарці

Григоренко С. М.,

асистент, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного;
ORCID iD 0000-0003-3818-2404

Мілько Д. О.,

д.т.н., професор, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, e-mail: milkodmitry@gmail.com;
ORCID iD 0000-0002-7887-4715

Анотація

Мета. Розробка програми та методики проведення експериментальних досліджень процесу сушіння пташиного посліду для визначення конструкційно-технологічних та енергетичних показників барабанної сушарки.

Методи. Використано методи математичної статистики, аналізу і синтезу, описання й моделювання.

Результати. Представлено застосування математичних методів, зокрема математичного планування, що дозволить оцінити впливовість діючих факторів, одержати математичну модель процесу сушіння та визначити оптимальні

параметри і режими роботи барабанної сушарки під час реалізації процесу.

Висновки. Розроблена методика експериментальних досліджень процесу сушіння курячого посліду з використанням барабанної сушарки дозволяє з мінімальними витратами створити модель процесу. Представлено необхідне обладнання та методику обробки отриманих експериментальних даних. Наведено математичний метод планування, визначено рівні та інтервали варіювання діючих факторів.

Ключові слова: сушарка, барабан, послід, методика дослідження, біодобриво.

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2019-10-13>
UDC 631.365

The methodology of experimental studies of the drying bird droppings process in a drum dryer

Grigorenko S.,

assistant, Dmitry Motorny Taurida State Agrotechnological University;
ORCID iD 0000-0003-3818-2404

Milko D.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Dmitry Motorny Taurida State Agrotechnological University, e-mail: milkodmitry@gmail.com;
ORCID iD 0000-0002-7887-4715

Annotation

Purpose. Development of the program and methods of carrying out experimental studies of the process of drying avian manure to determine the structural-technological and energy parameters of drum dryer.

Methods. Methods of mathematical statistics, synthesis and analysis, description and modeling were used.

Results. Presents the application of mathematical methods, in particular mathematical planning, which will allow to evaluate the role of influential factors; to obtain a mathematical model of

the drying process and to determine the optimal conditions for its parameters and modes of operation.

Conclusions. The technique of experimental studies of the process of drying chicken manure using a drum dryer allows to create a process model with minimal cost. The necessary equipment and methods for processing the obtained experimental data are presented. The mathematical method of planning is given, the levels and intervals of variation of the current factors are determined.

Keywords: dryer, drum, litter, research methodology, biofertilizer.

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2019-10-13>
УДК 631.363.2

Методика експериментальних досліджень процесу сушки птичього помета в барабанной сушилке

Григоренко С. М.,

ассистент, Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного; ORCID iD 0000-0003-3818-2404

Милько Д. А.,

д.т.н., профессор, Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, e-mail: milkodmitry@gmail.com;
ORCID iD 0000-0002-7887-4715

Аннотация

Цель. Разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований процесса сушки птичьего помета для определения конструкционно-технологических и энергетических показателей барабанной сушилки.

Методы. Используются методы математической статистики, анализа и синтеза, описания и моделирования.

Результаты. Представлено применение математических методов, в частности математического планирования, что позволит оценить роль значимых факторов, получить математическую модель процесса сушки и определить оптимальные условия его параметров и режимов работы.

Выводы. Разработанная методика экспериментальных исследований процесса сушки куриного помета с использованием барабанной сушилки позволяет с минимальными затратами создать модель процесса. Представлены необходимое оборудование и методика обработки полученных экспериментальных данных. Приведен математический метод планирования, определены уровни и интервалы варьирования действующих факторов.

Ключевые слова: сушилка, барабан, помет, методика исследования, биоудобрение.

Постановка проблеми. Перед промисловими птахівниками завжди стояло питання утилізації посліду і, на жаль, кожен його вирішує по-своєму. У передпосівний період птахофабрики мають стабільний збут посліду як для власних посівних площ, так і через комерційну реалізацію третім особам. В інший же час курячий послід часто скидається на поля. З огляду на хімічний склад послід є агресивною субстанцією і в разі нетехнологічного, непідготовленого внесення в ґрунт завдає шкоди його родючості та мікрофлорі, а відповідно і екології загалом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування тих чи інших методів термічної обробки можливе за виконання певних умов: вологості, швидкості сушіння, об'ємів сушіння, призначення вихідної сировини і т.п. Питаннями сушіння займалися такі видатні вчені як М. Ю. Лур'є, А. В. Ликов, А. П. Ворошилов, С. Д. Птіцин, Б. І. Котов, В. А. Дідур. У результаті досліджень були розглянуті питання балансу вологи, витрати повітря та тепловий баланс.

За відповідної переробки курячий послід є чудовим органічним біодобривом, яке за якісними показниками в разі перевершує інші відходи тваринництва. Він містить у перерахунку на суху речовину 70% органіки, з якої 35–40% приходить на долю протеїну, 4–6% азоту, 5–6% кальцію, 1,7–2% калію, 2,4–2,6% фосфору і 1,2–1,4% магнію. Проте свіжий послід використовувати не можна, бо він містить токсичні продукти метаболізму, аміак, яйця численних гельмінтів, десятки видів мікроорганізмів [1–3].

Мета досліджень. Розробка програми та методики проведення експериментальних досліджень процесу сушіння пташиного посліду для визначення конструкційно-технологічних та енергетичних показників барабанної сушарки.

Методи досліджень. Використано методи математичної статистики, аналізу і синтезу, описання й моделювання.

Результати досліджень. Підвищення ефективності використання відходів життєдіяльності тварин і птиці на сучасному етапі можливо завдяки їх термічній переробці з раціональним використанням фізико-механічних властивостей матеріалу. Тому для досягнення мети слід приділити достатньо уваги оптимізації параметрів і режимів роботи

барабанної сушарки, що забезпечить енерго- і ресурсозбереження зі зниженням собівартості основної продукції птахівництва.

Лабораторний зразок барабанної сушарки (рис. 1) містить циліндричний барабан 1, який встановлений із нахилом 1–2° до горизонту і спирається за допомогою бортів (не вказано) на опорні ролики 2, а для попередження осьового зміщення встановлені упорні ролики 3; привід барабана здійснюється від електродвигуна, редуктора і пасової передачі 4. Вологий матеріал подається в барабан живильником 5, перемішується приймально-гвинтовою насадкою 6, а потім потрапляє до гвинтових лопатей 7, що встановлені по довжині барабана; тепловий агент спрямовується всередину барабана і завихрюється завдяки лопатям 7; на кінцях барабана встановлені лабіринтні вивантажувальні пристрої (не вказано); для підсмоктування теплового агента, що утворюється в нагрівальній камері 8, передбачено вентилятор 9, а відпрацьований теплоагент очищається від пилу в циклоні 10.

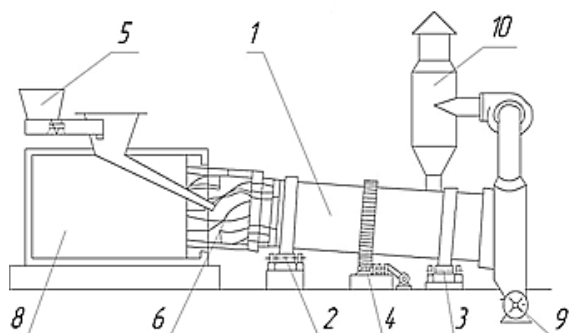


Рис.1. Кострукційно-технологічна схема барабанної сушарки:

- 1 – циліндричний барабан; 2 – опорні ролики;
3 – упорні ролики; 4 – редуктор із пасовою передачею;
5 – живильник; 6 – приймально-гвинтова насадка;
7 – гвинтові лопаті; 8 – нагрівальна камера;
9 – вентилятор; 10 – циклон

Fig. 1. Structural-technological scheme of the drum dryer:

- 1 – cylindrical drum; 2 – supporting rollers; 3 – thrust rollers; 4 – belt drive gearbox; 5 – feeder;
6 – receiving-screw nozzle; 7 – screw blades; 8 – heating chamber; 9 – fan; 10 – cyclone

Барабанна сушарка (рис. 1) працює так: циліндричний барабан 1 приводиться в обертний рух за допомогою електродвигуна, редуктора і пасової передачі 4. Спирається барабан бортами (не вказано) на опорні

ролики 2 та упорні ролики 3. Теплоагент, що утворюється в нагрівальній камері 8, надходить усередину барабана 1 та завдяки гвинтовим лопатям 7 завихрюється. Вологий матеріал живильником 5 подається на приймально-гвинтову насадку 6, що подає його всередину циліндричного барабана 1. Гвинтові лопаті 7, окрім завихрення тепло агента, виконують і функцію перемішування вологого матеріалу. Унаслідок нахилу циліндричного барабана до горизонту відбувається рух матеріалу по його довжині. Для забезпечення оптимальної швидкості руху теплоагента з мінімальним виносом пилу та небезпечних газоподібних речовин встановлено вентилятор 9 і циклон 10. Висушений матеріал за допомогою лабіринтних вивантажувальних пристроїв (не вказано) видаляється з циліндричного барабана.

Застосування математичних методів, зокрема математичного планування, у декілька разів зменшує число дослідів, дає змогу оцінити роль факторів, що впливають, одержати математичну модель процесу та визначити оптимальні умови його параметрів і режимів і т.ін. Поєднання цього із застосуванням ЕОМ, що одержали зараз широке розповсюдження, дозволяє швидко обробляти результати і вносити корективи в дослідження прямо в процесі їх виконання.

Для опису досліджуваного процесу в області оптимуму використовуються плани другого порядку, що дають можливість одержати функцію відгуку – математичну модель у вигляді полінома другого порядку.

$$y = b_0 + b_1x_i + b_{ij}x_i x_j + b_{ii}x_i^2, \quad (1)$$

де b_0, b_1, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії.

Одержати уяву про поверхню, що описується моделлю з мінімальними витратами, можливо завдяки варіюванню факторів на трьох рівнях.

Кодування факторів виконується за формулою

$$x_i = (X_i - X_{oi})/\varepsilon, \quad (2)$$

де x_i – кодоване значення фактора (безрозмірна величина), для верхнього, центру та нижніх рівнів експерименту вона позначена +1, 0 і -1, відповідно;
 X_i – натуральне значення фактора;
 X_{oi} – натуральне значення факторів на нульовому рівні;

ε – натуральне значення інтервалу варіювання фактора.

Рівні та інтервали варіювання факторів у проведених лабораторних і експериментальних дослідженнях наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Рівні та інтервали варіювання факторів у дослідженнях
Table 1. Levels and intervals of variation of factors in studies

Рівні та інтервали варіювання	Кодоване значення	Фактори та їхні позначення			
		Довжина барабана L, мм	Кількість обертів барабана n, об/хв	Кількість обертів вентилятора γ , об/хв	Кут нахилу барабана α , град.
		X_1	X_2	X_3	X_4
Верхній рівень	+1	1,0	60	1500	30
Основний рівень	0	2,0	40	1000	20
Нижній рівень	-1	3,0	20	500	10
Інтервал варіювання	ε	1,0	20	500	10

Для трифакторного експерименту використана тривірнева матриця (B_3) оптимального плану Бокса (табл. 2), для чотирифакторного – матриця (B_4) для 4-х факторів (табл. 3).

Таблиця 2. Тривірнева матриця оптимального плану Бокса другого порядку для трьох факторів (B_3)

Table 2. Three-tier matrix of the optimal second-order Boxing plan for three factors (B_3)

№ досліджу	Фактор			№ досліджу	Фактор		
	x_1	x_2	x_3		x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1	8	-1	0	0
2	1	-1	-1	9	1	0	0
3	-1	1	-1	10	0	-1	0
4	1	1	-1	11	0	1	0
5	-1	-1	1	12	0	0	-1
6	1	-1	1	13	0	0	1
7	1	1	1	14	0	0	0

Таблиця 3. Тривірнева матриця оптимального плану Бокса другого порядку для чотирьох факторів (B_4)

Table 3. Three-level matrix of the optimal second-order Boxing plan for four factors (B_4)

№ досліджу	Фактор				№ досліджу	Фактор			
	x_1	x_2	x_3	x_4		x_1	x_2	x_3	x_4
1	-1	-1	-1	-1	13	-1	-1	1	1
2	1	-1	-1	-1	14	1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	15	-1	1	1	1
4	1	1	-1	-1	16	1	1	1	1
5	-1	-1	1	1	17	-1	0	0	0
6	1	-1	1	1	18	-1	0	0	0
7	-1	1	1	1	19	1	0	0	0
8	1	1	1	1	20	0	-1	0	0
9	-1	-1	-1	-1	21	0	1	0	0
10	1	-1	-1	-1	22	0	0	-1	0
11	-1	1	-1	-1	23	0	0	1	-1
12	1	1	-1	-1	24	0	0	0	1

Дослідження проводилися також із метою визначення оптимальних параметрів та режимів роботи барабанної сушарки пташиного посліду, зокрема перевірки правильності одержаної розрахункової формули, що визначає якісні показники роботи барабанної сушарки з частками пташиного посліду. На сушці посліду витрати енергії на нагрівання робочого агента, на його транспортування з обертанням залежать від конструкційних параметрів робочого органа (L , α) та режимів роботи (γ , n).

Під час проведення експерименту спочатку визначаються характеристики сировини. На барабанну сушарку встановлюють внутрішні лопаті з потрібним кроком гвинтової лінії. Потім завантажується бункер барабанної сушарки пташиного посліду, вмикається електричний мотор приводу вентилятора та нагрівальний елемент, після цього вмикається електричний мотор приводу барабана і виконується робочий прохід. Водночас реєструються енергетичні параметри та продуктивність.

Отримані величини характеризують усі етапи процесів завантаження та сушіння.

Рівні та інтервали варіювання факторів (кількість обертів n , довжина L , кут нахилу барабана α , кількість обертів вентилятора γ), що використані в дослідженні і впливають на продуктивність Q та енергоємність E процесу сушіння пташиного посліду, наведені в таблиці 1.

У процесі цих досліджень також визначаються якісні показники роботи, тобто додаткове подрібнення часток у процесі транспортування залежно від швидкості обертання n барабана та його середньої довжини L .

Під час виконання лабораторних і експериментальних досліджень для реєстрації вимірюваних величин використовувалися прилади, розташовані на спеціальному стенді, встановленому біля лабораторної установки та біля сушарки пташиного посліду, з'єднані з ними за допомогою електричних кабелів та шлейфів.

Для вимірювання та реєстрації потужності, споживаної на сушку, застосовували Danfoss VLT Micro Drive FC51, що з'єднаний із персональним комп'ютером.

Під час проведення лабораторних і експериментальних досліджень використовувалися матеріали і зразки, отримані природно, а саме відходи від життєдіяльності перепелів

породи «Фараон», приймалися параметри і режими роботи, які відповідають тим, що мають прийматися для барабанної сушарки, коефіцієнти геометричної, кінематичної та динамічної подібностей дорівнювалися одиниці, тому отримувані результати не вимагали перерахунків.

Результати запису діаграм, їх розшифровка й обробка виконувались із допомогою програмного комплексу МСТ-10, одержуваний цифровий матеріал оброблявся на IBM PC із використанням програмного комплексу Statistica.

У дослідженнях прийнята трикратна повторюваність дослідів. Дані, що отримані внаслідок паралельних замірів згідно із центральною граничною теоремою, розподіляються за нормальним законом. Вони замінюються середнім арифметичним значенням, тобто найбільш імовірним значенням величини, що вимірюється. У разі неодноразового вимірювання якихось із величин отримані результати можуть викликати сумнів у їхній достовірності, тому здійснюється перевірка гіпотез про грубі помилки та про випадковість вибірки за допомогою гіпотези виключення грубих помилок із використанням критерію Стьюдента і метода різниць.

За умови, що гіпотеза про випадковість вибірки відкидається, тобто вибірка не випадкова, це забезпечує з імовірністю 95% помилку менше трьох стандартів.

Відтворюваність дослідів перевіряється за критерієм Кохрена.

Коефіцієнти математичної моделі другого порядку розраховуються за допомогою ЕОМ. Перевірка їхньої значимості виконується за критерієм Стьюдента, а придатність отриманої математичної моделі, тобто її адекватність, перевіряється за допомогою критерію Фишера.

Аналіз математичної моделі факторів.

1. Аналіз і дослідження рівняння (1), яке представляє математичну модель, що описує досліджуваний процес чи параметри або режими роботи, у вигляді полінома другого порядку, дозволяє визначити центр поверхні відгуку та її тип і оптимум досліджуваних параметрів.

2. Розв'язання цих задач здійснюється за допомогою методів аналітичної геометрії та лінійної алгебри. Визначення й аналіз типу поверхні відгуку рівняння виконується приведенням рівняння (1) до канонічної

форми вигляду з використанням для полінома оптимальної точки критерію оптимізації [8].

3. Аналіз поверхні відгуку досліджуваних пар факторів, яка описується рівнянням регресії, здійснюється за допомогою двовимірних перетинів за нульових, або інших фіксованих рівнів інших факторів.

4. Після підстановки різних значень показників факторів одержуються рівняння відповідних контурних кривих, що представляють лінії рівного значення досліджуваного фактора.

5. Рівняння другого степеня може визначити еліпс (при $J > 0$), гіперболу (при $J < 0$), або параболу (при $J = 0$). При $J = 0$ ці лінії будуть дійсними, а при $J \neq 0$ вони вироджуються в точку. Окрім того, еліпс може бути ще удаваним, тобто його осі не матимуть позитивних значень [10].

Висновки. Розроблена методика експериментальних досліджень процесу сушіння курячого посліду з використанням барабанної сушарки дозволяє з мінімальними витратами створити модель процесу. Представлено необхідне обладнання та методику обробки отриманих експериментальних даних. Наведено математичний метод планування, визначено рівні та інтервали варіювання діючих факторів.

Бібліографія

1. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование экспериментов в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград : Колос, 1972. 200 с.
2. Митков А. Я., Кардашевский С. В. Статистические методы в сельхозмашиностроении. Москва : Машиностроение, 1978. 390 с.
3. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных. Москва : Колос, 1973. 199 с.
4. Ушкаренко И. А., Скрипников А. Я. Планирование эксперимента и дисперсный анализ данных полевого опыта. Киев, Одесса : Выща шк. Головное изд-во, 1988. 120 с.
5. Статистична обробка результатів вимірювань та експериментальних даних в текстильній промисловості: навчальний посібник / упор.: О. Б. Демківський, С. М. Краснитський, Ю. М. Пилипенко, А. М. Слізков. Київ : КНУТД, 2012. 106 с.
6. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов измерений. Москва : Наука, 1970. 104 с.

7. Ашмарин И. П., Васильев Н. Н., Амбросов В. А. Быстрые методы статистической обработки и планирования экспериментов. Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 76 с.

8. Ефимов Н. В. Квадратичные формы и матрицы. Москва : Наука, 1967. 160 с.

9. Киселев А. В. Изучение поверхности отклика с помощью двумерных сечений. *Научно-технический бюллетень ЦНИПТИМЭЖ*. Вып. 24. Запорожье : ЦНИПТИМЭЖ, 1985. С. 89–91.

10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных сотрудников и инженеров. Москва : Наука, 1970. 720 с.

Bibliografia

1. Mel'nikov, S. V., Aleshkin, V. R., Roshchin, P. M. (1972). Planirovanie eksperimentov v issledovaniyah sel'skohozyajstvennyh processov. Leningrad: Kolos.

2. Mitkov, A. Ya., Kardashevskij, S. V. (1978). Statisticheskie metody v sel'hozmashinostroenii. Moskva: Mashinostroenie.

3. Vedenyapin, G. V. (1973). Obshchaya metodika eksperimental'nyh issledovanij i obrabotki opytnyh dannyh. Moskva: Kolos.

4. Ushkarenko, I. A., Skripnikov, A. Ya. (1988). Planirovanie eksperimenta i dispersnyj analiz dannyh polevogo opyta. Kiev, Odessa: Vyshcha shk. Golovnoe izd-vo.

5. Demkivs'kyj, O. B., Krasny'ts'kyj, S. M., Py'ly'penko, Yu. MSlizkov, A. M. (Eds.). (2012). Staty'sty'chna obrobka rezul'tativ vy'miryuvan` ta ekspery'mental'ny`x dany`x v teksty'l'nij promy'slovosti Ky'yiv: KNUITD.

6. Kassandrova, O. N., Lebedev, V. V. (1970). Obrabotka rezul'tatov izmerenij. Moskva: Nauka.

7. Ashmarin, I. P., Vasil'ev, N. N., Ambrosov, V. A. (1974). Bystrye metody statisticheskoy obrabotki i planirovaniya eksperimentov. Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta.

8. Efimov, N. V. (1967). Kvadratichnye formy i matricy. Moskva: Nauka.

9. Kiselev, A. V. (1985). Izuchenie poverhnosti otklika s pomoshch'yu dvumernyh sechenij. *Nauchno-tekhnicheskij byulleten' CNIPTIMEZH*, 24, 89–91.

10. Korn, G., Korn, T. (1970). Spravochnik po matematike dlya nauchnyh sotrudnikov i inzhenerov. Moskva: Nauka.

References

1. Melnikov, S. V., Aleshkin, V. R., Roshchin, P. M. (1972). Planning of experiments in studies of agricultural processes. Leningrad : Kolos.

2. Mitkov, A. Ya., Kardashevsky, S. V. (1978). Statistical methods in agricultural engineering. Moscow : Mechanical Engineering.

3. Vedenyapin, G V. (1973). General methodology of experimental research and processing of experimental data. Moscow : Kolos.
4. Ushkarenko, I. A., Skripnikov, A. Ya. (1988). Experiment planning and dispersed analysis of field experiment data. Kiev, Odessa : High School. Head Publishing House.
5. Demkivsky, A. B., Krasnitsky, S. M., Pilipenko, Yu. M. , Slyzkov, A. M. (2012). Statistical processing of measurement results and experimental data in the textile industry: a textbook. Kyiv : KNUTD.
6. Kassandrova, O. N., Lebedev, V. V. (1970). Processing of measurement results. Moscow : Nauka.
7. Ashmarin, I. P., Vasiliev, N. N., Ambrosov, V. A. (1974). Fast methods of statistical processing and planning of experiments. Leningrad : Publishing House Leningrad. University.
8. Efimov, N. V. (1967). Quadratic forms and matrices. Moscow : Nauka.
9. Kiselev, A. V. (1985). Study of the response surface using two-dimensional sections. *Scientific and Technical Bulletin TSNIPTIMEZH*, 24, 89–91.
10. Korn, G., Korn, T. (1970). Handbook of mathematics for researchers and engineers. Moscow : Nauka.