

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*VII Міжнародної науково-практичної  
конференції*

**«ІННОВАЦІЙНІ  
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

*9-13 вересня 2019 р.*



ОДЕСА  
2019

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор  
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо  
Ю.О. Левтринська  
Я.О. Масельська

## МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

<b>Єгоров</b> <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
<b>Бурдо</b> <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Атаманюк</b> <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
<b>Васильєв</b> <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
<b>Гавва</b> <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Гумницький</b> <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
<b>Долинський</b> <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
<b>Зав’ялов</b> <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Сукманов</b> <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
<b>Колтун</b> <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr
<b>Корнієнко</b> <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
<b>Малежик</b> <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
<b>Михайлов</b> <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
<b>Паламарчук</b> <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
<b>Снежкін</b> <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України
<b>Сорока</b> <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
<b>Сухий</b> <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., професор
<b>Тасімов</b> <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
<b>Товажнянський</b> <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
<b>Ткаченко</b> <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор
<b>Черевко</b> <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
<b>Шит</b> <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с

---

**СЕКЦІЯ 3.**

**ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ  
ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

---

УДК:664.723:633.854.78:631.365

## ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА СОНЯШНИКУ У ВІБРОСУШАРЦІ НА ОСНОВІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Бандура В.М. к.т.н., професор, Ярошенко Л.В. к.т.н., доцент  
Вінницький національний аграрний університет  
м. Вінниця

## RATIONALE OF PARAMETERS OF THE PROCESS OF DRYING SUNFLOWER GREEN IN THE VIBROUSUSCARBLE ON THE BASIS OF INFRARED RISK

Bandura V. PhD, professor, Yaroshenko L. PhD, docent  
Vinnytsia National Agrarian University of Ukraine,  
city Vinnytsia, Ukraine

**Анотація.** Одним із перспективних напрямів розвитку харчової промисловості є розширення асортименту і підвищення якості продуктів харчування. При цьому особливу увагу приділяють безпечності і якості сировини. Насіння соняшнику є повноцінною сировиною для отримання ряду харчових і кормових продуктів.

В роботі описані технологічні особливості сушіння зерна соняшнику за допомогою інфрачервоного підведення енергії, та обгрунтовано перспективність вібраційного моношарного сушіння насіння соняшнику в лотковій вібросушарці. Визначені питомі затрати енергії на процес інфрачервоного сушіння продукту.

**Abstract.** One of the promising areas for the development of the food industry is the expansion of the range and quality of food. In this case, special attention is paid to the safety and quality of raw materials. Sunflower seeds are a valuable raw material for a range of food and feed products.

The freshly harvested sunflower seeds are very resistant to storage, especially at high humidity, temperature and debris. Therefore, seeds should be dried immediately after harvesting and cleaning. Currently, widespread drying of food materials by infrared (IR) radiation. Despite the large amount of scientific literature on drying, including on IR-installations, practical issues of designing infrared dryers have not been worked out. Well-known studies are exclusively private.

The prospects of using infrared drying of freshly harvested sunflower seeds are due to the fact that this drying method is quite high intensity, economical and allows you to maintain the nutrient and seed quality of the seeds. In addition, there is no need to use air as a thermal agent, which significantly reduces the energy consumption of the drying process. Promising in this sense is a combination of infrared heat conduction and active contact of seeds with unheated air, which provides, for example, a vibro boiling layer. The use of infrared heat removal for the drying of sunflower seeds is also facilitated by the black husk color and the relatively small thickness of sunflower seeds, which, under certain regime parameters, can provide infrared rays penetration into the central layers of the nucleus.

The technological features of drying sunflower seeds by means of infrared energy supply are described, and the prospect of vibration monolayer drying of sunflower seed in a trap vibration dryer is substantiated. The specific energy costs are determined for the process of infra-red drying of the product.

**Ключові слова:** інфрачервоне сушіння, вібрототкова сушарка, насіння соняшнику, енергія.

**Key words:** infrared drying, vibroilot dryer, sunflower seeds, energy.

**Вступ.** Одним з перспективних способів сушіння олійного насіння є застосування інфрачервоного опромінення. Техніка зневоднення продуктів і матеріалів значно випереджає теоретичні положення сушіння. Не тільки класична література з проблем сушіння, але і спеціальна не дають конкретних рекомендацій з проектування установок з електромагнітним підведенням енергії. Разом з тим, саме такі установки активно прогресують і характеризуються серйозними проблемами в моделюванні. Тому поки єдиним надійним шляхом їх дослідження є експеримент.

**Аналіз проблематики та літературних джерел.** Насіння високоолійного соняшнику надійно зберігається, якщо вологість їх не перевищує 7 %, а температура знижена до 10 °С і нижче. При вологості вище критичної та температурі 20...25 °С, в насінні починається бурхливий розвиток мікроорганізмів, інтенсивно відбуваються гідролітичні і окисні процеси. Такі процеси призводять до швидкого погіршення якості насіння соняшнику як олійної сировини. Навіть кілька годин зберігання щойно зібраного насіння високоолійного соняшнику вологістю вище критичної приводить до масового самозігрівання і псування, що робить неможливим отримання олії високих сортів [1].

У системі технологічних операцій післязбиральної обробки соняшнику найважливіше місце належить сушінню. Якісне сушіння не тільки забезпечує зберігання зібраного урожаю, запобігає його втратам, але у деяких випадках і підвищує якість готового продукту.

На сучасному етапі, з виникненням фермерських та орендних підприємств, створилися нові вимоги до техніки, що використовується для післязбиральної обробки і, зокрема, сушіння зернових і олійних культур. Фермери прагнуть не тільки виростити хороший урожай, але і довести його до стану, придатного для реалізації або тривалого зберігання. Зерно повинно мати необхідну вологість, зберегти поживні властивості і насінневі якості. Вартість і терміни виконання послуг з сушіння на елеваторах не влаштовує фермерів. Особливі проблеми виникають при сушінні елітного насінневого зерна, яке випускається порівняно малими партіями і вимагає суворого ошадного режиму сушіння і не допускає перемішування з іншими сортами.

При посівах зернових в фермерському господарстві від 100 до 300 га наявність сушарки з інфрачервоним підведенням енергії, сприятиме підвищенню ефективності технологічного процесу післязбиральної обробки зерна. Зерносушарки пропонованого типу можуть також ефективно використовуватися на зернопереробних підприємствах.

Експериментально встановлено [2, 3], що інфрачервоні промені проникають в глиб матеріалу, причому глибина проникнення зменшується зі збільшенням довжини хвилі (при зниженні температури випромінювача). Для вологих матеріалів проникність інфрачервоних променів мала. Проходження променів на деяку глибину всередину тіла приводить до аномального розподілу температури всередині нього. При нагріванні або сушінні капілярно-пористих тіл, такими і є олійне насіння, температура максимальна не на поверхні, а на деякій глибині [4]. Починаючи від поверхні, температура спочатку підвищується, досягає максимального значення на невеликій глибині, а потім знижується.

Обґрунтування різних причин, що викликають аномальний розподіл температури по товщині матеріалу при ІЧ- опроміненні, викладено в роботах А.В Ликова [2], С.Г. Ільєсова [4], А.С. Гінзбурга [5], І.А. Рогова [6], та ін. Це явище пояснюється наступними комплексом причин: поглинання проникаючого ІЧ-випромінювання в матеріал на деяку глибину та переходом його там в теплоту; втратою енергії (випромінюванням, конвекцією, теплопровідністю) відкритою поверхнею в навколишнє середовище; явищем теплового ковзання – циркуляцією повітря в порах під дією температурного градієнта; явищем молекулярної течії – дифузії газу в мікрокапілярах у напрямку температурного градієнта; витратами тепла на пароутворення при випаровуванні вологи в поверхневому шарі.

Питання впровадження інноваційних рішень, що спрямовані на зменшення питомих витрат енергії обладнанням з ІЧ-енергопідведенням для підготовки зернових матеріалів до зберігання або до переробки, споживання чи до згодовування надзвичайно важливі. Але їх вирішення ускладнюється відсутністю уніфікованих підходів до синтезу математичної моделі тепломасообмінних процесів і мінливістю взаємопов'язаних кінетичних коефіцієнтів в розроблених аналітичних моделях, що залежать від фізичних і хімічних властивостей взаємодіючих речовин і енергій [7].

Енергоефективність інфрачервоних сушарок безпосередньо пов'язана з характеристиками поглинання матеріалу, що визначає економічну доцільність сушарки [8]. ІЧ-випромінювання проникає безпосередньо у внутрішній шар матеріалу без нагрівання навколишнього повітря. Враховуючи відстань між джерелом нагріву і матеріалом, швидкість повітряного потоку і температуру, а також швидкість матеріалу (якщо безперервна ІЧ-сушарка) може істотно впливати на енергетичну ефективність.

При передачі тепла з високою ефективністю поглинання інфрачервоного випромінювання має бути прямим і загальним. Ця концепція відбуватиметься лише тоді, коли між джерелом енергії та продуктом немає поглинаючого середовища.

Якщо підсумувати та проаналізувати експерименти інших дослідників, можна зробити висновок, що збільшення рівня потужності інфрачервоного випромінювання призводить до скорочення часу сушіння, тоді як збільшення швидкості повітря призводить до збільшення часу сушіння та споживання енергії. Підвищуючи швидкість повітря, поверхневий шар стає прохолодним і необхідний більш тривалий час сушіння. Таким чином, швидкість повітря повинна регулюватися для забезпечення кращих результатів. Рівень потужності інфрачервоного випромінювання також слід регулювати, оскільки збільшення потужності може призвести до втрати якості. Крім того, існують інші фактори, які не були розглянуті дослідниками такі як вплив вібрації на процес сушіння в ІЧ сушарках.

Дослідниками інституту холоду та біотехнологій Санкт-Петербургу [9] проведено дослідження процесу сушіння насіння соняшнику насінневого фонду інфрачервоним випромінюванням виділеної довжини хвилі при досягненні заданого вмісту вологи і температури, що не перевищує 44- 46 °С на поверхні шару оброблюваного матеріалу залежно від висоти шару продукту, густини теплового потоку, відстані від інфрачервоного випромінювача до продукту. З аналізу експериментальних кривих видно, що вологість насіння соняшнику протягом усього процесу сушіння зменшується з плином часу за лінійним законом, при цьому температура в центрі шару продукту не перевищує 44- 46 °С. Проте дослідники [9] не застосовували вібраційний вплив переміщення зерна вздовж лоткової сушарки.

В роботі [10] теоретично обґрунтовано процеси радіаційно-конвективного тепломасообміну між усіма визначальними об'єктами всередині вібраційної сушарки з ІЧ-енергопідведенням. На основі теплового і

матеріального балансів визначено рівняння, які описують основні динамічні характеристики режиму сушіння олієвмісного зернового матеріалу в безперервно діючій ІЧ-сушарці. У зв'язку з тим, що точного аналітичного розв'язку представленої математичної моделі у вигляді системи диференціальних рівнянь у частинних похідних не існує. Запропоноване наближене рішення дозволяє ідентифікувати залежності розподілу температури і вологовмісту зернового та олієвмісного матеріалу за довжиною сушарки для будь-якого моменту часу.

Авторами в роботі [11] запропоновано технології адресної доставки енергії для інтенсифікації тепломасопереносу при переробці харчової сировини. У основі запропонованих гіпотез – хвильові технології комбінованої електромагнітної і вібраційної дії. Обґрунтовано механізми, ефекти і математичні моделі бародифузії і дії вібраційних полів. Запропоновано числа хвильової подібності, на основі яких узагальнені бази експериментальних даних по сушінню.

Були проведені численні дослідження по тонкошаровому сушінню харчових продуктів, використовуючи різні способи обробки і способи сушіння: соя [12], подрібнений рис [13], гібридне рисове насіння [14], але дуже мало інформації для вібраційного інфрачервоного сушіння зерна соняшнику.

Нами проводились дослідження на розробленій вібротерморадіаційній моношарній сушарці «осцилюючого» нагрівання, застосовуючи яке, як показали лабораторні дослідження, можна досягнути менших питомих енерговитрат порівняно із традиційними сушарками приблизно у 1,5-2 рази, у якій для зменшення вологості продукції на 6-8 %, при одноразовому її нагріванні, у камері над термічним лотком потрібно створювати досить високі температури (до 200-250 °С) при цьому, частинки продукції прогріваються до температури 140-180 °С, що недопустимо для багатьох видів зернової продукції, особливо для насінневого зерна. Тому при подальших дослідженнях, для зменшення температури прогрівання частинок продукції, при не меншій величині зменшення її вологості, було запропоновано [15, 16] використовувати «осцилююче» нагрівання інфрачервоним промінням, при якому періоди нагрівання чергуються із періодами обдування холодним повітрям, а для збудження коливань використано електромеханічний дебалансний вібропривод.

**Мета роботи** – дослідження кінетики технологічного процесу сушіння зерна соняшнику шляхом підведення інфрачервоного опромінення у вібрлотковій моносушарці.

**Матеріали і методи дослідження.** В експериментальних дослідженнях використовували контрольно-вимірну апаратуру, сучасні методики та прилади, серед яких і розробки авторів. Для аналітичного дослідження використовувалися програмні пакети: MathCAD, Excel. Методики дослідження зразків проводилися в лабораторіях і відповідали стандартам.

Дослідно-промисловий зразок вібраційної машини (рис. 1) для сушіння насіння соняшнику, спроектований і виготовлений у лабораторії автоматизації технологічних процесів Вінницького національного аграрного університету дозволяє у широких межах регулювати температуру сушіння (від 20 до 180 °С), швидкість повітря змінюється в межах 0,5...2,5 м/с, амплітуду коливань вібрлотка (від 0,5 до 6 мм).

Технічна характеристика лабораторної вібраційної сушарки

Продуктивність, кг/год.	110;
Потужність електронаривача, кВт	5,0;
Потужність віброприводу лотка, кВт	0,5;
Амплітуда коливань вібрлотка, мм	0-6;
Частота обертів приводного електродвигуна, об/хв.	910;
Температура у термокамері, °С	20-180;
Маса, кг	230;
Габаритні розміри, мм	1400x600x3000;

Принципова схема такої сушильної машини приведена на рис. 1. Машина складається із закритого кожухом корпусу 1, на площадках 2 якого за допомогою пружних елементів 3 встановлено термічний 4 і колосниковий 5 лотки. Робоча доріжка термічного лотка 4 виготовлена із жаростійкої листової сталі. Робоча доріжка колосникового лотка утворюються повздовжніми вертикальними смужками 7, що приварені до кронштейнів 8, таким чином, щоб між ними був повздовжній зазор  $\delta = 1,5...2$  мм. По середині кожного лотка змонтовано віброприводи, що містять по два відцентрових вібробуджувачі, встановлені із боків лотка.

Кожний відцентровий вібробуджувач містить вал із дебалансними вантажами 9, який за допомогою еластичної муфти 10 з'єднаний з приводним асинхронним електродвигуном 11. Причому у кожному віброприводі електродвигуни 11 з'єднані таким чином, щоб при підключенні до мережі їх ротори обертались назустріч один одному. Вали з дебалансними вантажами 9 встановлені на підшипниках паралельно один до одного під кутом  $\beta$  до площин робочих доріжок лотків. Над поверхнями термічних лотків 4 закріплені термогенератори 12 (ІЧ-випромінювачі). Зверху і з боків термічний лоток 4 закритий термоізоляцією 13. Над початком термічного лотка 4 закріплена завантажувальна горловина 14, а в кінці крильчатка 15, під початком колосникового лотка 5 розміщено нагнітальний патрубок вентилятора 16, а вище поверхні колосникового лотка 6 – вивідний патрубок 17 з регульовальним шибером 18. В кінці колосникового лотка 5 встановлено приймальний бункер 19.

Машина працює таким чином. При включенні приводних електродвигунів 11, їх ротори починають обертатись назустріч один одному у кожному віброприводі, що призводить до динамічної синхронізації їх

обертання, внаслідок чого генеруються поступальні коливання лотків 4 і 5 під кутом  $\beta$  до площин їх робочих доріжок. Сипуча продукція подається через завантажувальну горловину на поверхню лотків, де під дією коливань розподіляється моно шаром. Під дією коливань лотків між їх поверхнею і частинками сипучої продукції виникає асиметрія сил тертя, що призводить до виникнення направлено руху частинок сипучої продукції (вібротранспортування) вздовж поверхні лотків. При цьому точки поверхні лотків коливаються відносно деякого центру без направлено руху в цілому за період одного коливання. За допомогою зміни статичних моментів дебалансних вантажів 9 відносно осі обертання, встановлюється режим вібротранспортування із неперервним підкиданням частинок сипучої продукції під час їх переміщення вздовж лотків. Неперервне підкидання частинок продукції призводить до їх хаотичного провертання при переміщенні вздовж термічних лотків 4, над якими знаходяться термогенератори 12 і сприяє їх рівномірному опроміненню з усіх боків інфрачервоним промінням, що призводить до інтенсивного, швидкого і рівномірного прогрівання насіння соняшнику.

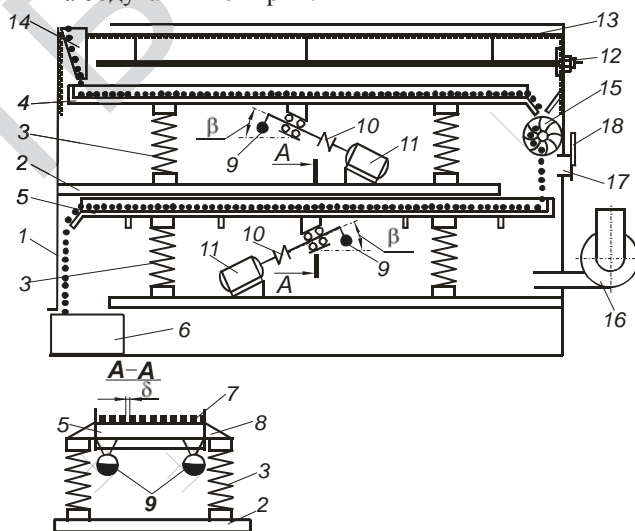
Після проходження термічного лотка, прогріта продукція (насіння соняшнику) подається через барабанну крильчатку 15 на колосниковий лоток 5, де обдувається атмосферним повітрям від вентилятора 16. При цьому, неперервне хаотичне підкидання і провертання частинок продукції, також покращує рівномірність їх обдування повітрям, що призводить до порушення рівноважного стану вологи у частинках продукції, коли тиск парів води в них стає більшим за парціальний тиск парів води у повітрі, внаслідок чого волога починає інтенсивно випаровуватись [15, 16].

Оброблена продукція після проходження колосникового лотка 5 подається у приймальний бункер 19. Барабанна крильчатка 15 запобігає доступу потоку холодного повітря від вентилятора 16 у камеру високої температури над термічним лотком 4 і водночас дозволяє просипання продукції з термічного лотка 4 на колосниковий 5.

Інтенсивність повітряних потоків регулюється шибером 18. Швидкість вібротранспортування сипучої продукції, а отже час її знаходження на поверхні лотків регулюється шляхом зміни статичних моментів дебалансних вантажів 9 відносно осі їх обертання, або кута  $\beta$ . Оскільки інфрачервоне випромінювання термогенератора 12 дозволяє створити дуже інтенсивний тепловий потік, що сприяє швидкому прогріванню частинок продукції, а процес випаровування із них вологи вимагає більшого проміжку часу, то швидкість вібротранспортування на колосниковому лотку 5 встановлюється більшою, а сам він виготовляється із ширшими робочими доріжками.

Інфрачервоний нагрівальний пристрій складався з 24 інфрачервоних лампи на 250 Вт (OSRAM, Словаччина), що розташовані у сушарці в шаховому порядку. Відстань між лампами, при якій досягається найбільша рівномірність енергетичної опроміненості поверхні висушуваного матеріалу була 0,12 м. Лампи працюють від джерела живлення 220 В. ІЧ лампи можна розташовувати на відстані 5...15 см від поверхні лотка.

Вологість насіння соняшнику визначається висушуванням проб до постійної маси. Проби відбирались до і після проходження ІЧ- опромінення та обдування повітрям.



**Рисунок 1.** Схема лабораторної інфрачервоної моношарної вібросушарки:

- 1 - корпус; 2 - площадка; 3 - пружні елементи; 4 - термічний лоток; 5 - колосниковий лоток; 6 - приймальний бункер; 7 - повздовжні вертикальні смужки; 8 - кронштейн; 9 - дебалансний вантаж; 10 - еластична муфта; 11 - електродвигун; 12 - термогенератори; 13 - термоізоляція; 14 - завантажувальна горловина; 15 - крильчатка; 16 - вентилятор; 17 - вивідні патрубки; 18 - регулювальний шибер.



**Рисунок 2.** Фото експериментальної вібролоткової інфрачервоної сушарки (крильчатка, вивідні патрубки, регульовальний шибєр на фото не показані)

Бункер завантаження продукції забезпечений шлюзом, який регулює товщину моношару продукту на лотку в межах 7...22 мм залежно від розмірів зерна та швидкості його руху по лотку.

Інтенсивність інфрачервоного випромінювання змінювалася шляхом зміни відстані між лампами і поверхнею прийому. Також для досягнення необхідних рівномірних рівнів інтенсивності інфрачервоного випромінювання згадану відстань регулювали вручну, змінюючи висоту підвісу корпусу лампи. Для забезпечення однорідності інфрачервоного випромінювання над соняшником попередні вимірювання проводили перед основними випробуваннями.

Маса зерна визначалась електронними вагами ТВЕ-0,21-0,01. Температура продукту вимірювались дистанційно пірометром Laserliner. Зміна маси зерен до проведення дослідження і після визначала масу вилученої вологи.

В дослідях фіксувалось тривалість процесу, температура і маса соняшника на початку та в кінці обробки. Питома маса матеріалу (g) показує масу (m) продукту на одиницю поверхні обробки (F), а питома потужність - ІЧ- енергію, яка витрачається на 1 м<sup>2</sup> оброблюваної поверхні.

Досліди проводилися при температурі повітря у приміщенні 20° С, відносній вологості повітря у приміщенні 65 %. Вивчався вплив потужності підведеної енергії на середню швидкість процесу сушіння. Досліди проводилися при швидкості руху зерна по лотку 0,025 м/с, і питомому завантаженні 4,11 кг/м<sup>2</sup>. Кількість питомої вологи визначали по початковій і кінцевій вологості соняшника. Швидкість сушіння розраховувалась по кількості питомої вологи і часу, протягом якого на соняшник впливало ІЧ-випромінювання.

Таблиця 1.

**Діапазон дослідження процесу ІЧ - сушіння**

Сировина	Питома потужність ІЧ, кВт/м <sup>2</sup>	Температура, Т, °С	Завантаження, g, кг/м <sup>2</sup>	Тривалість процесу τ, хв
Насіння соняшнику	3,0...6,0	34...44	4,11...8,22	30...60

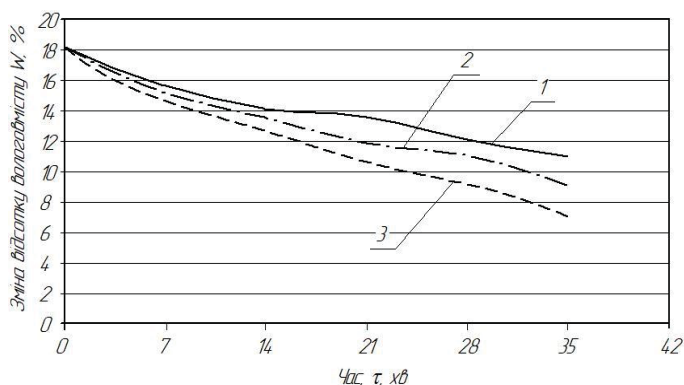
Під час сушіння, температура поверхні зерен контролювалася пірометром Laserliner і була меншою за 60 °С.

Масова витрата вхідного повітря забезпечувалась вентилятором і контролювалася за допомогою електричного інвертора (N50-007SF, Корея). Швидкість повітря для всіх дослідів вимірювали за допомогою TESTO Анемометр 425 (Німеччина) з точністю ± 0,03 м/с. Швидкість повітря змінюється в межах 0,5...2,5м/с шляхом регулювання оборотів двигуна вентилятора.

Початкова вологість зерна соняшника була рівна 17 ± 0,5% . Всього було проведено 34 експерименти з комбінацій трьох рівнів інфрачервоного випромінювання (3000, 4000, 6000 Вт/м<sup>2</sup>) і вібрації (24 ГЦ)).

Щоб виміряти зміну вологості в процесі сушіння, вібролоткову сушарку через проміжок часу в 7 хв зупиняли і відбирали проби.

**Експериментальні дослідження. Обговорення результатів.** Зниження витрат на сушіння насіння соняшнику як найенергоємніший процес при його виробництві, поряд з підвищенням інтенсивності вологовіддачі розглядається як найважливіше завдання при розробці нових технологій сушіння і конструкцій сушарок, а також при вдосконаленні тих, що існують. Будь-яка модернізація сушарки може бути визнана досить ефективною, якщо досягнуте скорочення питомих енерговитрат (при обов'язковому збереженні якості продукту).



**Рисунок 3.** Вплив питомої потужності на кінетику сушіння:  
де, 1 –  $N=3000 \text{ Вт/м}^2$ ; 2 –  $N=4000 \text{ Вт/м}^2$ ; 3 –  $N=6000 \text{ Вт/м}^2$ .

Параметрами ІЧ-сушіння зерна соняшнику, що рекомендуються, лампами "OSRAM" на підставі проведених експериментальних досліджень слід вважати: висоту підвішування ІЧ-випромінювача при сушінні зерна  $h = 0,1 \text{ м}$ ;  $t_{\min} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{\max} = 43 \text{ }^\circ\text{C}$ .

При збільшенні питомої потужності у 2 рази (рис.3) час процесу сушіння зменшується пропорційно. Час процесу сушіння до відносної вологості продукту у 6-7% займає 35...60 хвилин.

На основі проведених досліджень запропонована принципова схема вібротоквої моношарної сушарки переміжного інфрачервоного нагрівання [17, 18]. Сушильна установка дозволяє зменшити питомі енерговитрати приблизно у 1,5-2 рази порівняно з конвективними сушарками, зберігає усі переваги лабораторної інфрачервоної моношарної вібросушарки, що описана вище. При цьому максимальна температура прогрівання частинок продукції у 1,5 – 2 рази менша при більших межах зменшення їх вологості. Це дозволяє здійснювати більш якісний обробіток продукції при менших теплових витратах.

Однак, оскільки вихідна вологість сипучої продукції може коливатись у дуже широких межах, то для регулювання швидкості вібротранспортування сипучої продукції вздовж вібротоків, а отже часу їх обробки на кожному лотку, авторами [19] запропоновано регулювати параметри коливань лотка шляхом зміни величини і частоти коливань вимушуючої сили для забезпечення енергоощадного резонансного режиму роботи вібросушарки.

#### Висновки.

1. Виконано комплексні експериментальні дослідження впливу режимних параметрів (питомого навантаження і потужності) на кінетику ІЧ-сушіння зерна соняшнику у вібраційній лабораторній інфрачервоній моношарній вібросушарці.

2. При збільшенні питомої потужності у 2 рази час процесу сушіння зменшується пропорційно. Не спостерігалось розтріскування шолухи.

3. Параметрами ІЧ-сушіння зерна соняшнику, що рекомендуються, лампами "OSRAM" на підставі проведених експериментальних досліджень слід вважати: висоту підвішування ІЧ-випромінювача при сушінні зерна  $h = 0,1 \text{ м}$ ;  $t_{\min} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $t_{\max} = 44 \text{ }^\circ\text{C}$ .

4. Вібраційна моношарна сушарка переміжного інфрачервоного нагрівання дозволяє зменшити питомі енерговитрати приблизно у 1,5-2 рази, порівняно з конвекційною сушаркою, зберігає усі переваги лабораторної інфрачервоної моношарної вібросушарки.

#### Список літератури.

1. Станкевич, Г. М. Современная сушка семян подсолнечника – залог их качества и сохранности [Текст] / Г. М. Станкевич // Олійно-жировий комплекс. – 2003.– №2.– С. 25-28.
2. Лыков, А. В. Теория сушки [Текст]/ А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 470 с.
3. Бурдо, О.Г. Эволюция сушильных установок [Текст]/ О.Г.Бурдо. – Одесса: 2007.–368с.
4. Ильясов, С.Г. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов [Текст] / С.Г. Ильясов, В.В. Красников. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 359 с.
5. Гинзбург, А. С. Комбинированная сушка семян подсолнечника в кипящем слое и инфракрасными лучами [Текст] / А. С. Гинзбург, А. С. Васильева // Хранение и переработка зерна ; ЦИТИ Госкомитета заготовок СССР. – М., 1965. – № 4. – С. 11–16.
6. Рогов, И.А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов [Текст]/ И.А. Рогов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 272 с.
7. Котов, Б.І. Математичне моделювання та ідентифікація тепломасопереносу в рослинному дисперсному матеріалі при сушінні і нагріванні електромагнітним полем [Текст] /Б.І. Котов, В.М.Бандура, Р.А.Калініченко // Енергетика і автоматика. – 2018.– №6 – С.35–50.
8. Pawar, S.B. Infrared drying of alumina-silicate mineral cake [Text]/ S.B. Pawar, B.N. Thorat, //Drying Technology.– 2011.– V. 29(7). – P. 819–824.

9. Демидов, А.С. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением [Текст]/ А.С. Демидов, Б.А. Вороненко, С.Ф. Демидов // Новые технологии. – 2011. – №3. – С.25-30.
10. Bandura, V. Theoretical rationale and identification of heat and mass transfer processes in vibration dryers with IR-energy supply [Text] / V. Bandura, R. Kalinichenko, B. Kotov, A. Spirin//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. – V.4/8(94). – P.50-58.
11. Oleg Burdo Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes [Text] / Oleg Burdo, Valentyna Bandura, Aleksandr Zykov, Igor Zozulyak, Julia Levtrinskaya, Elena Marenchenko// Eastern-European Journal of Enterprise Tehnologies.– 2017. – V. 4/11(88)/–P.34-42.
12. Ranjbaran, M. A new approach for modeling of hot air-microwave thin layer drying of soybean [Text] / M. Ranjbaran, D. Zare// Electron. J. Pol. Agric. Univ. – 2012.– V.15 (3) – P.1-11.
13. Tanaka, F. High temperature drying characteristics of crushed rice for animal feed / F. Tanaka, K. Yamashita, A. Tanaka, F. Tanaka, D. Hamanaka, T. Uchino// Eng. Agr. Environ. Food. – 2014. – V.7 (3). – P. 133-138.
14. Hasan, A.M. Thin layer drying of hybrid rice seed [Text]/ A.M. Hasan, B.K. Bala, M.K. Rowshon// Eng. Agr. Environ. Food.– 2014. – V.7 (4). – P.169- 175.
15. Пат. № 45431 Україна, МПК F26B5/00. Спосіб вібромоношарного сушіння/ Л. В. Ярошенко; заявник та патентовласник Вінницький державний сільськогосподарський інститут. № 98073470; заявл. 02.07. 1998; опубл. 15.04. 2002, Бюл. № 4, 3 с.
16. Гончаревич, И. Ф. Динамика вибрационного транспортирования [Текст]/ И. Ф. Гончаревич – М.: Наука, 1972. – 212с.
17. Ярошенко, Л.В. Вібраційна шахтна сушарка [Текст] / Л.В. Ярошенко // Вібрації в техніці та технологіях. – 2011. – №1 (17.) – С.-44 - 46.
18. Пат. № 105075 С2 Україна, МПК B65G 27/24. Спосіб стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах./ Л. В. Ярошенко, Р.В. Чубик; заявник та патентовласник Вінницький національний аграрний університет. № 201206929; заявл. 06.06. 2012; опубл. 10.04. 2014, Бюл. № 23, 5 с.
19. Пат. № 116418 С2 Україна, МПК B06B 1/16. Керований вібропривод напрямленої дії зі спареними дебалансами./ Л. В. Ярошенко, Р.В. Чубик, В.М. Бандура, В.В. Томчук, Н.М. Зрайло; заявник та патентовласник Вінницький національний аграрний університет. № 201609034; заявл. 25.08. 2016; опубл. 12.03. 2018, Бюл. № 4, 5 с.

## References

1. Stankevich, G. M. (2003) Sovremennaya sushka semyan podsolnechnika – zalog ikh kachestva i sokhrannosti .Ol'yno-zhiroviy kompleks, 2, 25-28.
2. Lykov, A. V. (1968) Teoriya sushki. M.: Energiya, 470.
3. Burdo, O.G. (2007) Evolyutsiya sushil'nykh ustanovok . Odessa, 368.
4. Il'yasov, S.G. Krasnikov, V.V. (1978) Fizicheskiye osnovy infrakrasnogo oblucheniya pishchevykh produktov. M.: Pishchevaya promyshlennost', 359.
5. Ginzburg, A. S. Vasil'yeva, A. S. (1965) Kombinirovannaya sushka semyan podsolnechnika v kipyashchem sloye i infrakrasnymi luchami. Khraneniye i pererabotka zerna; TSINTI Goskomiteta zagotovok SSSR, 4, 11–16.
6. Rogov, I.A. (1988) Elektrofizicheskiye metody obrabotki pishchevykh produktov. M.: Agropromizdat, 272.
7. Kotov, B.I. Bandura, V.M. Kalinichenko R.A. (2018) Matematychno modelyuvannya ta identyfikatsiya teplomasoperenosu v roslynnomu dyspersnomu materialі pry sushinni i nahrivanni elektromahnitnym polem. Enerhetyka i avtomatyka, 6, 35–50.
8. Pawar, S.B. Thorat, B.N. (2011) Infrared drying of alumina-silicate mineral cake. Drying Technology, 29(7), 819–824.
9. Demidov, A.S. Voronenko, B.A. Demidov, S.F. (2011) Sushka semyan podsolnechnika infrakrasnym izluchenyem. Novyye tekhnologii, 3, 25-30.
10. Bandura, V. Kalinichenko, R. Kotov, B. Spirin A. (2018) Theoretical rationale and identification of heat and mass transfer processes in vibration dryers with IR-energy supply. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/8(94), 50-58.
11. Oleg Burdo, Valentyna Bandura, Aleksandr Zykov, Igor Zozulyak, Julia Levtrinskaya, Elena Marenchenko (2017) Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes. Eastern-European Journal of Enterprise Tehnologies, 4/11(88), 34-42.
12. Ranjbaran, M. Zare, D. (2012) A new approach for modeling of hot air-microwave thin layer drying of soybean. Electron. J. Pol. Agric. Univ, 15 (3), 1-11.
13. Tanaka, F. Yamashita, K. Tanaka, A. Tanaka, F. Hamanaka, D. Uchino, T. (2014) High temperature drying characteristics of crushed rice for animal feed. Eng. Agr. Environ. Food, 7 (3), 133-138.
14. Hasan, A.M. Bala, B.K. Rowshon, M.K. (2014) Thin layer drying of hybrid rice seed. Eng. Agr. Environ. Food, 7 (4), 169- 175.

15. Пат. № 45431 Україна, МПК F26B5/00. Спосіб вібромоношарного сушіння/ Л. В. Ярошенко; заявник та патентовласник Вінницький державний сільськогосподарський інститут. № 98073470; заявл. 02.07. 1998; опубл. 15.04. 2002, Бюл. № 4, 3 с.
16. Goncharevich, I. F. (1972) *Dinamika vibratsionnogo transportirovaniya*. M.: Nauka, 212.
17. Yaroshenko, L.V. (2011) *Vibratsiyna shakhtna susharka. Vibratsii v tekhnike i tekhnologiyakh*, 1 (17), 44 - 46.
18. Пат. № 105075 С2 Україна, МПК B65G 27/24. Спосіб стабілізації швидкості горизонтального вібротранспортування в адаптивних вібраційних технологічних машинах./ Л. В. Ярошенко, Р.В. Чубик; заявник та патентовласник Вінницький національний аграрний університет. № 201206929; заявл. 06.06. 2012; опубл. 10.04. 2014, Бюл. № 23, 5 с.
19. Пат. № 116418 С2 Україна, МПК B06B 1/16. Керований вібропривод напрямленої дії зі спареними дебалансами./ Л. В. Ярошенко, Р.В. Чубик, В.М. Бандура, В.В. Томчук, Н.М. Зрайло; заявник та патентовласник Вінницький національний аграрний університет. № 201609034; заявл. 25.08. 2016; опубл. 12.03. 2018, Бюл. № 4, 5 с.

УДК 62229.316.0002.51/.52:665.3.

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ ГІДРАТАЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЇ

Осадчук П. І., к.т.н., доцент  
Одеський державний аграрний університет, м. Одеса

## USING THE ELECTROMAGNETIC FIELD AT HYDRATING VEGETABLE OILS

Osadchuk P.I., PhD, associate professor  
Odessa state agricultural university

**Анотація.** Розглядається можливість та перспективи використання фізичних полів на процес очищення соняшникової олії. Проведено аналіз існуючих досліджень використання обробки електромагнітним полем рідинних харчових продуктів. У розрізі впливу протікання процесу розділення між двома або кількома неоднорідними середовищами в системах рідина - рідина та рідина - тверде тіло. Розроблено математичну модель яка описує процес впливу даного фізичного поля на рослинні олії при їх очищенні після отримання. За допомогою представленого математичного опису можна характеризувати вплив напруженості електромагнітного поля на рослинні олії, які протікають у експериментальній установці в залежності від її геометричних розмірів. На підставі чого розроблено експериментальну установку гідратації рослинних олій з обробкою місцели електромагнітним полем. Представлено експериментальні дослідження даного процесу. Які були проведені з метою інтенсифікації та збільшення виділення кількості фосфоровмісних речовин, жирних кислот, восків та інших супутніх речовин. В процесі дослідів змінювались напруженість електромагнітного поля, температура місцели та час гідратації рослинних олій. Отримані результати експериментальних досліджень підтвердили позитивні очікування. Наведено графічний матеріал, який описує фізичний експеримент. Результатом чого є отримання рекомендованих параметрів використання електромагнітного поля при якому досягається максимальний ефект по видаленню супутніх речовин і відповідно відбувається інтенсифікація процесу гідратації. При цих умовах отримана олія високої якості. За рахунок інтенсифікації процесу отримується скорочення енерговитрат. В порівнянні проведення класичного технологічного процесу гідратації олій з запропонованим, видалення фосфоровмісних речовин збільшилось на 15 %

**Abstract.** The possibility and prospects of using physical fields for the process of sunflower oil cleaning are considered. An analysis of existing studies on the use of liquid food processing by the electromagnetic field has been carried out. In the context of the influence of the process of separation between two or more inhomogeneous media in systems, liquid-liquid and liquid-solids. The mathematical model describing the process of the influence of this physical field on vegetable oils during their purification after obtaining is developed. With the help of the presented mathematical description one can characterize the effect of the intensity of the electromagnetic field on vegetable oils, which proceed in the experimental installation, depending on its geometric dimensions. On the basis of this, an experimental plant for hydration of vegetable oils was developed with the micaceous treatment of the electromagnetic field. Experimental studies of this process are presented. Which were conducted with the aim of intensifying and increasing the release of phosphorus-containing substances, fatty acids, waxes and other concomitant substances. With varying tensile strength of the electromagnetic field, the temperature of the micelles and the time of hydration of vegetable oils. The results of experimental studies confirmed positive expectations. The graphic material that describes the physical experiment is given. The result is the receipt of the recommended parameters of the use of the electromagnetic field at which the maximum effect on the removal of concomitant substances is achieved and, accordingly, the intensification of the hydration process takes place. Under these conditions, high quality oil is obtained.

BIOTECHNOLOGY	
<b>Nisha Kesari</b> .....	100
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВИПАРОВУВАННЯ І СУШІННЯ ОДИНИЧНИХ КРАПЕЛЬ БАКТЕРІАЛЬНОГО ПРЕПАРАТУ «ФГ-5»	
<b>Переяславцева О.О.</b> .....	102

## ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

ПЕКТИНОВМІСНИЙ ПРОДУКТ У ВИГЛЯДІ ЧИПСІВ	
<b>Шапар Р.О., Гусарова О.В.</b> .....	108
ДОСВІД СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКТІВ З ГІДРОЛІЗОВАНИМ БІЛКОМ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ	
<b>Авдєєва Л.Ю., Декуша Г.В., Жукотський Е.К.</b> .....	113
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА СОНЯШНИКУ У ВІБРОСУШАРЦІ НА ОСНОВІ ІНФРАЧЕРВОНОГО ОПРОМІНЕННЯ	
<b>Бандура В.М., Ярошенко Л.В.</b> .....	116
ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ ГІДРАТАЦІЇ РОСЛИННИХ ОЛІЇ	
<b>Осадчук П. І.</b> .....	123
РОЗРОБКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПОРОШКІВ З ФІТОЕСТРОГЕННОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	
<b>Петрова Ж.О., Слободянюк К.С.</b> .....	129
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ХЛАДОНОВЫХ ЭКСТРАКТОВ ЛАВРОВОГО ЛИСТА	
<b>Потапов В.А., Евлаш В.В., Белый Д.В.</b> .....	136
РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ОЛІЙНО-ЖИРОВОЇ ГАЛУЗІ	
<b>Скляр В. Ю., Крусір Г. В., Коваленко І. В., Кузнєцова І. О.</b> .....	139
ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ МОНОГРАНУЛІРОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИМИТИРОВАННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	
<b>Басок Б.И., Давыденко Б.В., Тимошенко А.В.</b> .....	145
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРУКТУРУЮЧОЇ ДОБАВКИ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ ГРИБНОЇ СУСПЕНЗІЇ	
<b>Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Костянець Л.О.</b> .....	149
ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЦУКАТІВ З ГАРБУЗА	
<b>Атаманюк В.М., Гузьова І.О.</b> .....	152
ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВНУТРІШНЬОДИFUЗИЙНОГО МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ ТА НАСИЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО АГЕНТУ ВОЛОГОЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ	
<b>Кіндзера Д.П., Госовський Р.Р., Атаманюк В.М.</b> .....	153
ВЫПЕЧКА РЖАНО-ПШЕНИЧНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ПАРОКОНВЕКЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ	
<b>Кирик И.М., Кирик А.В., Гуринова Т.А.</b> .....	160
ІННОВАЦІЙНІ ТА ЕФЕКТИВНІ СОНЯЧНІ СУШАРКИ ДЛЯ ЦІЛДОБОВОЇ СУШКИ	
<b>Мусій Р.Й., Заборовський А.Б., Желєзко О.П.</b> .....	161
ІННОВАЦІЙНІ СОНЯЧНІ СУШАРКИ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОВИХ ПОВІТРЯНИХ КОЛЕКТОРІВ	
<b>Мусій Р.Й., Заборовський А.Б., Желєзко О.П.</b> .....	162

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССУ ОЦЕНКИ ВОДНЫХ РИШЕНЬ У ВАКУУМНОМУ ТА МІКРОВОГО ОБЛАСТІ	
<b>Бурдо О.Г., Гарвилов О.В., Мординський В.П., Сиротюк І.В., Серєда О.О.</b> .....	167
РОЗРОБКА КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	
<b>Соколова В. І., Крусір Г. В., Шпирко Т. В., Кузнєцова І. О., Коваленко І. В.</b> .....	172
КРИТЕРІЇ ВИБОРУ АДСОРБЕНТІВ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ	
<b>Беляновська О.А., Литовченко Р.Д., Сухий К.М., Прокопенко О.М., Еремін О.О., Суха І.В.</b> .....	179