



## ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ

Зозуляк Ігор Анатолійович, к.т.н., ст. викладач  
Вінницький національний аграрний університет,

I. Zozulyak, PhD  
Vinnytsia National Agrarian University,

*Пошук ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій і технічних рішень при виробництві харчової продукції повинен відбуватися через розробку і розвиток нових аналітичних методів та конструктивних заходів, що призведе до прогресу у даній галузі не тільки у нашій державі, але й за її межами. Ефективне використання потужностей переробного виробництва завжди характеризувалося його високим рівнем механізації.*

*Сушіння є однією з найбільш поширених технологічних операцій в різних галузях переробних і харчових виробництв, зокрема при консервуванні сировини. Перспективи розвитку сушильних технологій передбачають зниження енергетичних витрат на процес вилучення вологи; підвищення якості сушеної продукції; розробку високоефективної універсальної техніки; забезпечення екологічної безпеки сушильних підприємств.*

*При вивченні різних фізичних явищ в процесі вібраційного сушіння використовують два методи досліджень, які дозволяють одержати кількісні закономірності. В першому методі використовується експериментальне дослідження конкретних властивостей одиничного явища, в другому - виходять з теоретичного дослідження даної проблеми. Перевагою експериментального методу дослідження є достовірність одержаних результатів.*

*В роботі проведено аналіз літературних джерел та обґрунтовано необхідність та можливість створення нових конструкцій сушарок з використанням інфрачервоного впливу на продукт та вібраційних коливань робочого контейнера для інтенсифікації процесу сушіння. Запропоноване конструктивне рішення експериментальної лабораторної сушильної установки для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі дозволяє виявити закономірності зміни параметрів процесу сушіння, отримати данні для оптимізації процесу та для розробки методики інженерного розрахунку апаратів для інфрачервоного сушіння в псевдозрідженому шарі.*

**Ключові слова:** зерно, сушіння, конвективне сушіння, вібросушарка, вібрація, віброкип'ячий шар.

**Рис. 6. Літ. 8.**

---

### 1. Постановка проблеми

Зернова маса, як об'єкт зберігання і переробки, відрізняється неоднорідністю і мінливістю в часі, що викликаються різними процесами, які відбуваються в складових її частинах.

Найбільш важливим параметром, що визначає фізико-хімічні властивості зернової маси, є вологість. Від неї багато в чому залежать температура, свіжість зерна, а також його якість.

Саме тому таке значення набула сушка зерна, як технологічний процес, що забезпечує не тільки збереження зерна, а й поліпшення його якості. Процес зерносушіння спрямований як на досягнення кінцевих результатів (кількість і якість висушеного зерна, вирішення екологічних завдань), так і на економію всіх видів ресурсів (матеріальних і енергетичних) [1].

Численними дослідженнями доведено, що застосування вібрації дозволяє істотно інтенсифікувати процес сушіння. Тому виникає необхідність у подальшому поглибленні наукових досліджень, спрямованих на розробку, обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи вібраційних сушильних установок. Тому пошук шляхів інтенсифікації процесу сушіння при збереженні якості продукції є актуальним напрямком досліджень [2].

## 2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Процес зерносушіння переслідує дві мети: знищення вологості зернової маси нижче критичної для забезпечення якісного збереження та поліпшення якісних показників [3]. Проведені в цьому напрямі численні дослідження, а також досвід кращих виробників технологічного обладнання довели доцільність застосування вібраційного впливу на зернову масу під час сушки та показали наступні переваги застосування вібрацій при сушінні: інтенсивне перемішування частинок матеріалу забезпечує рівномірність вирівнювання температури матеріалу в об'ємі сушильного апарату; інтенсивне знімання вологи внаслідок постійного оновлення поверхні вологообміну; поліпшення якості сушіння; зниження швидкості подачі теплоагента; зменшення енергетичних витрат; можливість суміщення різних технологічних операцій при безперервному веденні процесу (транспортування та сушіння, гранулювання і сушіння, формування оболонки і сушіння, поділ на фракції та сушіння та ін); створення нових високоефективних вібраційних сушарок з регульованими параметрами процесу сушки та вібрації [2, 3, 5, 8].

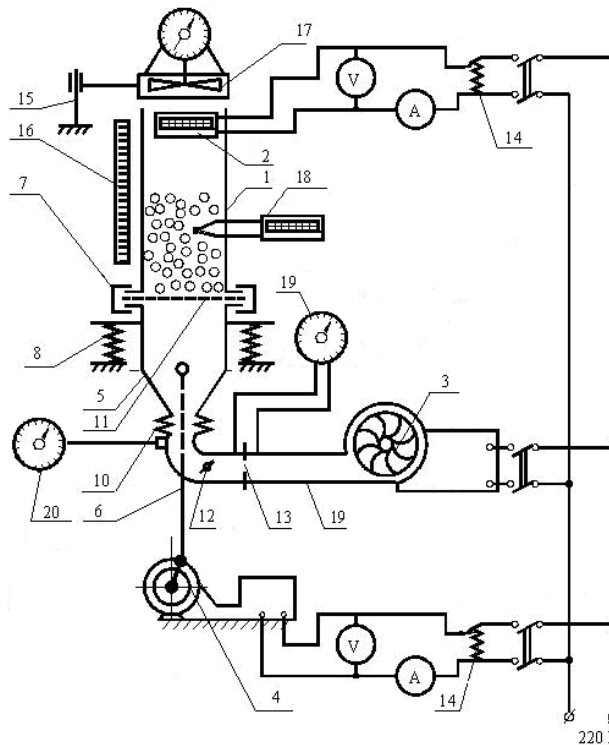
## 3. Мета дослідження

**Мета роботи** – підвищення ефективності процесу сушіння, шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вібраційного сушильного апарату.

## 4. Виклад основного матеріалу

Одним з перспективних способів сушіння сипучих матеріалів є спосіб сушіння в віброкиплячому шарі, який може бути досягнутий на вібраційних сушарках різного типу. Однак, враховуючи відносно велику тривалість сушіння деяких матеріалів, кращими є сушильні установки, створені на основі вібраційних конвеєрів, які дозволяють порівняно з іншими сушарками значно збільшити час перебування матеріалу в одному агрегаті.

Незважаючи на значні переваги вібраційних інфрачервоних сушарок, вибір виду псевдозрідження вимагає експериментального обґрунтування. З цієї метою було проведено порівняльні експерименти на лабораторній установці періодичної дії, принципова схема якої приведена на Рис.1.



**Рис. 1. Принципова схема експериментальної лабораторної сушильної установки:**

1 – камера сушильна; 2 – інфрачервоний випромінювач; 3 – вентилятор; 4 – вібропривід; 5 – патрубок циліндричний; 6 – тяга вібропривода; 7 – хомут; 8 – віброопори; 9 – повітропровід; 10 – рукав з'єднувальний; 11 – решітка газорозподільна; 12 – заслінка регулююча; 13 – діафрагма; 14 – ЛАТР; 15 – тримач анеометра; 16 – лінійка; 17 – анеометр; 18 – термонара; 19 – мікроманометр; 20 – мікроманометр диференційний



Установка складається з наступних основних вузлів: сушильної камери 1 з перфорованим піддоном (газорозподільними решітками) 11, інфрачервоний випромінювачів 2, вентилятора 3, вібропривода 4 і контрольно-вимірювальної апаратури. Сушильна камера 1 приєднана до циліндричного патрубку 5, що приводиться в коливальний рух у вертикальній площині від вібропривода 4 через тяги 6 з можливістю зміни амплітуди коливань від 0 до 10 мм. Частота коливань вібропривода регулювалася за допомогою тиристорного регулятора напруги і ЛАТРа 14 в інтервалі 0 ... 50 Гц (0 ... 3000 об/хв).

Циліндрична сушильна камера 1 діаметром 100 мм має оглядове вікно з термостійкого скла, в камеру засипається досліджуваний матеріал, закріплюється на циліндричному патрубку 5 за допомогою хомута 7. Патрубок 5 кріпиться до рами за допомогою віброопор 8, та з'єднується з повітрепроводом 9, по якому через м'який з'єднувальний рукав 10 надходить повітря від вентилятора 3.

За допомогою вібропривода 4 та потоку повітря який створюється вентилятором 3 продукт в сушильній камері псевдозріджується, що значно інтенсифікує процес сушки та забезпечує рівномірність прогріву по всьому об'ємі. Для нагріву продукція піддавалась впливу опромінення інфрачервоними випромінювачами 2 певної потужності 100, 200, 300 Вт.

Температура всередині продукту вимірювалася хромель-копелевими термопарами 18 з діаметром дроту 0,2 мм.

Для вимірювання падіння тиску в камері і шарі матеріалу служили мікроманометри 20. Швидкість потоку сушильного агента контролювалася за допомогою анемометра 17 типу АСО-3, укріпленого на стійці 15.

Методика проведення експериментальних досліджень по сушінню була наступною. Перед дослідом установку налаштовували на певний режим роботи (прогрівали інфрачервоний випромінювач, встановлювали робочу швидкість подачі повітря і т.д.). Досягнення робочого стану визначали по сталості режимних параметрів. У зразки досліджуваного продукту поміщали "гарячі" спаї термопар з різними відносними координатами.

Досліди по сушінню проводили в такій послідовності. Підготовлений матеріал зважували, поміщали в камеру і визначали висоту нерухомого шару. В процесі дослідів вимірювали швидкість подачі повітря, висоту киплячого шару матеріалу, тиск під і над шаром продукту, температуру повітря до і після шару, температуру окремих частинок продукту в центрі та поблизу поверхні, параметри вібрації, витрати повітря.

Час обробки фіксували секундоміром і контролювали по діаграмній стрічці швидкодіючого потенціометра КСП-4. Робочу швидкість повітря в камері вибирали з умови рівномірного псевдозрідження вологого продукту по всьому об'єму шару. Після закінчення певного інтервалу часу установка вимикалася, і вся навіска матеріалу вивантажувалася з камери в буюкси (маса буюкса визначалася заздалегідь) для визначення вологості. Потім дослід повторювався з іншою тривалістю обробки при сталості всіх інших параметрів процесу. Для отримання надійних експериментальних даних всі дослідження повторювалися не менше 3 ... 5 разів, після чого дані усереднювалися. Ряд дослідів проводився без зупинки процесу, а з відбором проб матеріалу для аналізів через певні інтервали часу.

Експериментальні дані результатів досліджень систематизувалися і зводилися в таблиці. На підставі табличних даних будувалися графіки і проводилася їх математична обробка з метою виявлення закономірностей, взаємозв'язків досліджуваних величин, а також визначалася відносна і абсолютна похибка проведених досліджень.

Основними завданнями експериментальних досліджень на лабораторній сушильній установці були:

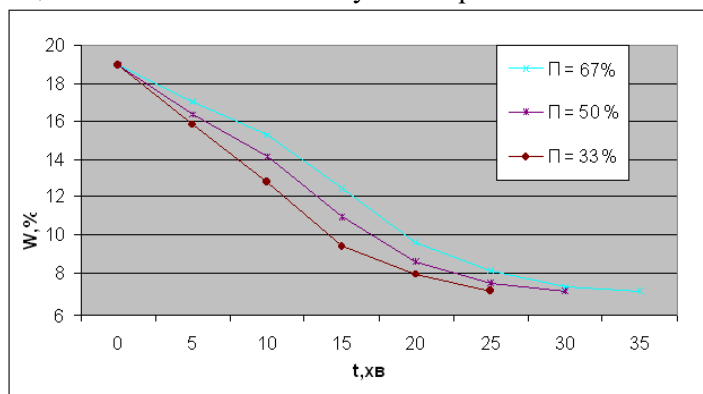
- виявлення гідродинамічних характеристик матеріалу;
- виявлення закономірностей процесу сушіння матеріалів;
- отримання даних, необхідних для оптимізації процесу;
- отримання даних, необхідних для розробки методики інженерного розрахунку апаратів для інфрачервоного сушіння в псевдозрідженому шарі.

Для визначення оптимальних параметрів роботи вібраційної сушарки було проведено дослідження впливу ступеня завантаження контейнера на кінетику сушіння зерна соняшнику. Дослідження проводилися при завантаженні контейнера  $\Pi=67, 50$  та  $33\%$ , при швидкості руху повітря  $1,2$  м/с, з початковою вологістю сировини  $W=19\%$ . та при відстані від ІЧ-випромінювача до шару

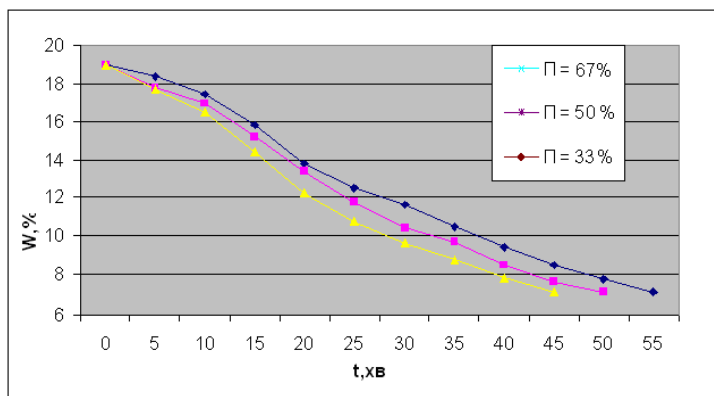


продукту 40 мм. і щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5 та 3,64 кВт/м.

З досліджень видно, що зі збільшенням ступеня завантаження контейнера триваліше проходить процес сушіння, прогрівання зернової маси сповільнюється. Також великий вплив на швидкість сушіння має щільність теплового потоку ІЧ-випромінювача.

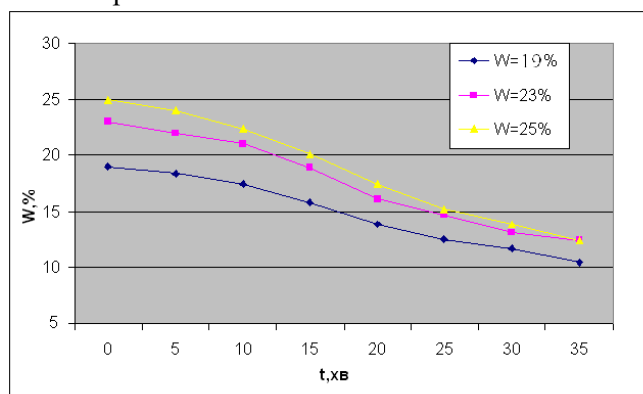


**Рис. 2.** Кінетика процесу сушіння насіння соняшника при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 40 мм. та щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5 кВт/м



**Рис. 3.** Кінетика процесу сушіння насіння соняшника при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 40 мм. та щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 3,64 кВт/м

Початкова вологість зерна соняшника суттєво впливає на тривалість процесу сушіння. Експериментальні дослідження, проведені на вібраційній сушарці при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 40 мм., щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5 кВт/м., завантаженості контейнера на 67, 50 та 33%, початковій вологості  $W=19\%$ ,  $23\%$  та  $25\%$  та при швидкості руху повітря 1,2 м/с, (рис. 4, 5, 6). З даних графіків видно, що чим менша початкова вологість продукту, тим більша швидкість сушіння зерна соняшника



**Рис. 4.** Кінетика процесу сушіння насіння соняшника при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 40 мм., щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5 кВт/м., та завантаженості контейнера на 67%

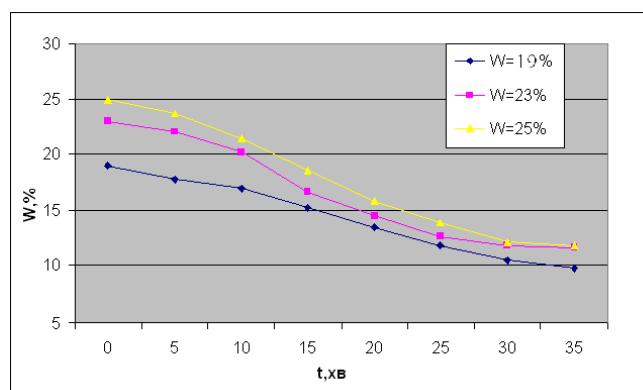
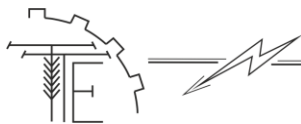


Рис. 5. Кінетика процесу сушіння насіння соняшника при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 40 мм., щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5 кВт/м., та завантаженості контейнера на 50%

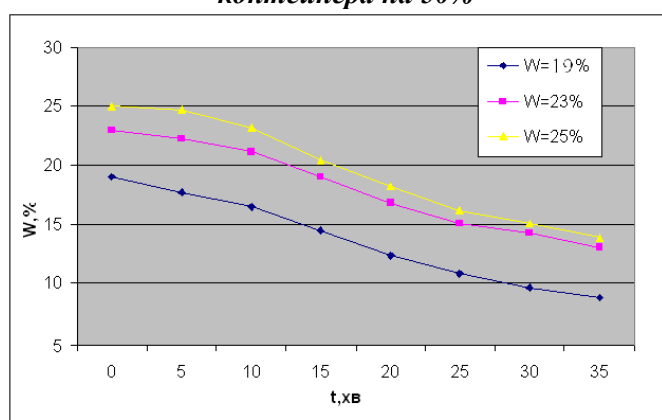


Рис. 6. Кінетика процесу сушіння насіння соняшника при відстані від ІЧ-випромінювача до шару продукту 40 мм., щільності теплового потоку ІЧ-випромінювача 5 кВт/м., та завантаженості контейнера на 33%

#### 4. Висновки

Запропонована лабораторна сушильна установка для сушіння гранульованих і зернистих матеріалів у віброкип'ячому шарі дозволила в ході експериментальних досліджень виявити закономірності зміни параметрів процесу сушіння насіння соняшника, отримати данні для оптимізації процесу та розробки методики інженерного розрахунку апаратів для інфрачервоного сушіння в псевдозрідженому шарі.

#### Список використаних джерел

1. Берник П. С., Паламарчук И. П., Зозуляк И. А. Анализ конструкций вибрационных сушилок для сыпучей сельскохозяйственной продукции. *Вибрации в технике и технологиях*. Вінниця, 1998. № 2 (6). С. 14–21.
2. Берник П. С., Денісов П. Д., Зозуляк И. А. Вібраційні лоткові сушарки. *Вибрации в технике и технологиях*. Вінниця, 2000. № 1(13). С. 32–33.
3. Burdo O., Bandura V., Zykov A., Zozulyak I., Levtrinskaya J., Marenchenko E. Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transfer. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2017. Issue 4. P. 18–24. doi: 10.21303/2461-4262.2017.00399
4. Паламарчук І. П., Берник П. С., Стецько З. А., Яськов В. В., Зозуляк І. А. Механічні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва. Том 1. Навчальний посібник. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2004. 336 с.
5. Бурдо О. Г., Терзиев С. Г., Бандура В. Н. Принципы направленного энергетического действия в пищевых нанотехнологиях. *Проблемы региональной энергетики*. 2015. Т. 1, № 27. С. 79–85
6. Paziuk V. M., Liubin M. V., Yaropud V. M., Tokarchuk O. A., Tokarchuk D. M. Research on the rational regimes of wheat seeds drying. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 2018. 56(3), P. 39–48





7. Paziuk V. M., Petrova Z.O., Tokarchuk O.A., Yaropud V.M. Research of rational modes of drying rape seed. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 2019. 58(2), P. 303–310.
8. Burdo O. G., Bandura V. N., Levtrinskaya Yu. O. Electrotechnologies of targeted energy delivery in the processing of food raw materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2018/3/1. Vol. 54, № 2. P. 210–218.

### References

- [1] Bernik, P. S., Palamarchuk, I. P., Zozulyak, I. A. (1998). Analiz konstrukcij vibracionnykh sushilok dlya sypuchej selskokhozyajstvennoj produkcii [Analysis of the design of vibratory dryers for bulk agricultural products]. *Vibraczi v tekhnike i tekhnologiyakh*. Vinniczya, 2(6), 14–21. [in Russian].
- [2] Bernik, P. S., Deni`sov, P. D., Zozulyak, I. A. (2000). Vibracijni lotkovi susharki [Vibrating tray dryers]. *Vibraczi v tekhnike i tekhnologiyakh*. Vinniczya, 1(13), 32–33. [in Ukrainian]
- [3] Burdo, O. Bandura, V., Zikov, A., Zozulyak, I., Levtrinskaya, J., Marenchenko, E. (2017). Using of the wave technologies in intensification processes of heat and mass transfer. *EUREKA: Physics and Engineering*. Issue 4. P. 18–24. doi: 10.21303/2461-4262.2017.00399. [in English]
- [4] Palamarchuk, I. P., Bernik, P. S., Steczko, Z. A., Yaskov, V. V., Zozulyak, I. A. (2004). *Mekhanichni procеси ta obladnannya pererobnogo ta kharchovogo virobnicztva [Mechanical processes and equipment of processing and food production]*. Tom 1. Navchalnij posibnik. Lviv: Vidavnicztvo NU «Lvivska politehnika». [in Ukrainian]
- [5] Burdo, O. G., Terziev, S. G., Bandura, V. N. (2015). Principy napravlenogo energeticheskogo dejstviya v pishhevykh nanotekhnologiyakh. *Problemy regionalnoj energetiki*, 1(27), 79–85. [in Russian].
- [6] Paziuk, V. M., Liubin, M. V., Yaropud, V. M., Tokarchuk, O. A., Tokarchuk, D. M. Research on the rational regimes of wheat seeds drying. *INMATEH-Agricultural Engineering*, 2018. 56(3), 39–48. [in English]
- [7] Paziuk, V. M., Petrova, Z.O., Tokarchuk, O.A., Yaropud, V.M. Research of rational modes of drying rape seed *INMATEH-Agricultural Engineering*, 2019. 58(2), c. 303-310. [in English].
- [8] Burdo, O.G., Bandura, V.N., Levtrinskaya, Yu. O. (2018). Electrotechnologies of targeted energy delivery in the processing of food raw materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. Vol. 54, 2, 210–218 [in USA].

### ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНФРАКРАСНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ СУШИЛКИ

Поиск ресурсосберегающих и экологически чистых технологий и технических решений при производстве пищевой продукции должен происходить через разработку и развитие новых аналитических методов и конструктивных мер, что и приведет к прогрессу в данной области не только в нашей стране, но и за ее пределами. Эффективное использование мощностей перерабатывающего производства всегда характеризовалось его высоким уровнем механизации.

Сушка является одной из наиболее распространенных технологических операций в различных отраслях перерабатывающих и пищевых производств, в частности при консервировании сырья. Перспективы развития сушильных технологий предусматривают снижение энергетических затрат на процесс извлечения влаги; повышение качества сушеной продукции; разработку высокоэффективной универсальной техники; обеспечение экологической безопасности сушильных предприятий.

При изучении различных физических явлений в процессе вибрационной сушки используют два метода исследований, которые позволяют получить количественные закономерности. В первом методе используется экспериментальное исследование конкретных свойств единичного явления, во втором - выходят из теоретического исследования данной проблемы. Преимуществом экспериментального метода исследования является достоверность полученных результатов.

В работе проведен анализ литературных источников и обоснована необходимость и возможность создания новых конструкций сушилок с использованием инфракрасного воздействия на продукт и вибрационных колебаний рабочего контейнера для интенсификации процесса сушки. Предложенное конструктивное решение экспериментальной лабораторной сушильной установки для сушки гранулированных и зернистых материалов в виброкипячому слое позволяет выявить закономерности изменения параметров процесса сушки, получить данные для оптимизации процесса



и для разработки методики инженерного расчета аппаратов для инфракрасной сушки в псевдооживленном слое.

**Ключевые слова:** зерно, сушка, конвективна сушка, вибросушарка, вибрация, виброкипящий слой.

**Рис. 6. Лут. 8.**

### JUSTIFICATION OF CONSTRUCTION-TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF INFRARED VIBRATION DRYER

*The search for resource-saving and environmentally friendly technologies and technical solutions in the production of food products should occur through the development and development of new analytical methods and constructive measures, which will lead to progress in this field not only in our country but also abroad. The efficient use of processing facilities has always been characterized by its high level of mechanization.*

*Drying is one of the most widespread technological operations in various industries of processing and food production, in particular in the preservation of raw materials. Prospects for the development of drying technologies include reducing energy costs for moisture extraction; improving the quality of dried products; development of highly efficient universal equipment; ensuring the environmental safety of drying plants.*

*When studying different physical phenomena in the process of vibration drying, two methods of research are used, which allow to obtain quantitative regularities. In the first method is used experimental study of specific properties of a single phenomenon, in the second - based on a theoretical study of this problem. The advantage of the experimental research method is the reliability of the obtained results.*

*The analysis of literature sources is carried out and the necessity and possibility of creation of new designs of dryers using infrared influence on the product and vibrational vibrations of the working container for intensification of the drying process is substantiated. The proposed design of an experimental laboratory drying unit for drying granular and granular materials in a vibrating boiling layer allows to identify patterns of changes in the parameters of the drying process, to obtain data to optimize the process and to develop a method of engineering calculation of devices for infrared drying.*

**Key words:** grain, drying, convective drying, vibrating dryer, vibration, boiling layer.

**Fig. 6. Ref. 8**

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Зозуляк Ігор Анатолійович** – кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри «Технологічних процесів та обладнання переробних та харчових виробництв» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: zozulak@vsau.vin.ua)

**Зозуляк Игорь Анатолієвич** – кандидат технічних наук, ст. преподаватель кафедри «Технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: zozulak@vsau.vin.ua)

**Zozulyak Igor Anatolievich**, – PhD, of the Department of "Technological Processes and Equipment of Processing and Food Productions "of the Vinnytsia National Agrarian University (3 Solnechnaya St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: zozulak@vsau.vin.ua).