

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ПРИСЯЖНЮК Дмитро Володимирович**

УДК 631.365:62 – 868 (043.3)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТА РОЗРОБКА  
ВІБРООЗОНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ  
СИРОВИНИ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Д.В. Присяжнюк

Науковий керівник: **Цуркан Олег Васильович**, кандидат технічних наук,  
доцент

Вінниця – 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА .....	16
1.1 Особливості технологічного процесу післязбиральної обробки зернових і олійних культур.....	16
1.2 Способи і засоби для виконання технологічного процесу зневоложення при післязбиральній обробці зернової сировини .....	20
1.3 Аналіз схем та конструкцій вітчизняних і закордонних зерносушарок	28
1.4 Аналіз методів і засобів зменшення енерговитрат та підвищення якості виконання технологічного процесу сушіння зерна .....	38
1.4.1 Сушіння зерна із використанням вібротехнологій .....	38
1.4.2 Сушіння зерна з використанням озоноповітряної суміші .....	39
1.5 Огляд сушарок з вібраційним впливом на сировину .....	46
1.6 Висновки за 1 розділом .....	50
Список використаних джерел до 1 розділу.....	51
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРООЗОНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ .....	57
2.1 Фактори, від яких залежать енергетична і технологічна ефективність процесу сушіння зерна в зерносушарках .....	57
2.2 Математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу .....	62
2.3 Основні параметри віброозонуючого комплексу .....	68
2.3.1 Кінематичні, силові та енергетичні параметри вібрації .....	68
2.3.2 Енергофізичні і термодинамічні процеси в електроозонаторі .....	75
2.4 Висновки за 2 розділом .....	81
Список використаних джерел до 2 розділу.....	81

РОЗДІЛ 3	ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА	ПРОВЕДЕННЯ	
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....			83
3.1	Обґрунтування та розробка конструктивно-технологічної схеми	віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини.....	83
3.2	Мета, завдання і програма експериментальних досліджень .....		85
3.3	Об'єкт експериментального дослідження.....		86
3.4	Експериментальне оснащення .....		90
3.5	Методика зволоження зернової сировини .....		98
3.6	Методика штучного зараження зернової сировини спорами грибків	головні та фузаріуму .....	99
3.7	Методика визначення дози обробки зерна озонотріттюю	сумішшю.....	101
3.8	Методика вимірювання концентрації озону .....		103
3.9	Методика визначення схожості зернової сировини .....		106
3.10	Обґрунтування раціональних параметрів дослідного віброозонуючого	комплексу .....	110
3.11	Висновки за 3 розділом .....		116
	Список використаних джерел до 3 розділу.....		116
РОЗДІЛ 4	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ	ОБґРУНТУВАННЯ	
ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОЗРОБЛЕНОГО	ВІБРООЗОНУЮЧОГО	КОМПЛЕКСУ .....	118
4.1	Характеристика амплітудно-частотних характеристик розробленого	віброозонуючого комплексу.....	118
4.2	Визначення енергетичних характеристик віброозонуючого	комплексу .....	121
4.3	Встановлення експлуатаційних параметрів досліджуваного процесу	сушіння зернової сировини .....	125
4.3.1	Оцінка отриманої зернової сировини при вібраційному	впливі.....	125

4.3.2 Оцінка отриманої зернової сировини при віброозонуючому впливі .....	127
4.4 Результати експериментальних досліджень .....	131
4.5 Перевірка адекватності математичної моделі.....	135
4.6 Висновки за 4 розділом .....	137
Список використаних джерел до 4 розділу.....	137
<b>РОЗДІЛ 5 ОЦІНЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО ВІБРООЗОНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ ТА ЙОГО ВИРОБНИЧА АПРОБАЦІЯ.....</b>	<b>138</b>
5.1 Економічне обґрунтування розробленого віброозонуючого комплексу .....	138
5.1.1 Визначення вартості розробленої машини.....	138
5.1.2 Визначення економічної ефективності розробленої машини .....	140
5.2 Місце віброозонуючого комплексу в технологічній схемі післязбиральної обробки зернової сировини.....	148
5.3 Виробнича апробація результатів досліджень.....	150
5.4 Висновки за 5 розділом .....	151
Список використаних джерел до 5 розділу.....	151
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>152</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>154</b>

## АНОТАЦІЯ

**Присяжнюк Д.В. Обґрунтування параметрів процесу та розробка віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». – Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, 2019.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної задачі інтенсифікації процесу сушіння зернової сировини та розробці нового віброозонуючого комплексу, що реалізує комплексний технологічний вплив на оброблюване середовище.

На основі аналізу закономірностей реалізації процесу сушіння, дії механічних коливань та озоноповітряної суміші на зернову сировину, обґрунтовано нові напрямки розвитку способу комплексної динамічної обробки сировини та його конструктивне впровадження у механічній коливній системі.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження моделі розподілу концентрації озону по глибині шару зерна за вібраційного впливу дозволили отримати аналітичні та емпіричні залежності для їх основних характеристик, та, як наслідок, обґрунтувати раціональні конструктивно-технологічні параметри його роботи.

Сформовано основні положення теорії сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу, який є перспективним для розвитку високопродуктивного зерносушильного обладнання, що розширює спектр високоефективної комплексної механічної обробки сільськогосподарської сировини.

Експериментально досліджено вплив режимних параметрів досліджуваного розробленого комплексу на показники продуктивності та

енергоємності процесу сушіння зернової сировини, а також на показники якості отриманої продукції.

Базуючись на отриманих даних встановлено, що питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю  $W_k=14\%$  при початковій вологості  $W_n=20\%$  становлять: за використання класичної технології з подачею сушильного агенту температурою  $50\text{ }^\circ\text{C}$  при тривалості обробки 240 хв. – 112,93 Вт·год./кг або 18,82 Вт·год./кг на 1% випаруваної води (406,54 КДж/кг або 67,75 КДж/кг на 1% випаруваної води); за використання комплексного теплофізичного впливу при тривалості обробки 160 хв. – 91,01 Вт·год./кг або 15,16 Вт·год./кг на 1% випаруваної води (327,63 КДж/кг або 54,6 КДж/кг на 1% випаруваної води).

Результати проведених досліджень дозволили отримати практичні щодо рекомендації з інтенсифікації процесу сушіння зернової сировини і здійснити практичну апробацію розробленої машини, яку було впроваджено на підприємствах ТОВ «ПК «Зоря Поділля», ФГ «Столипін» та СТОВ «Надія».

Результати техніко-економічного оцінювання розробленого віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що провадження такого комплексу у виробництво дає змогу отримати річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

**Ключові слова:** зернова сировина, післязбиральна обробка, сушіння, вібрація, озон, віброозонуючий комплекс, раціональні параметри, продуктивність, енерговитрати, показники якості.

## SUMMARY

**Prysyazhnyuk D.V. Justification of the process parameters and the development of a vibro-ozone complex for grain feedstock drying. – On the right of the manuscript.**

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty

05.05.11 «Machines and means of mechanization of agricultural production». – Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, 2019.

The dissertation is devoted to the solution of the actual practical problem of intensifying the drying process of grain raw materials and the development of a new vibrating plant complex, which implements a complex technological influence on the cultivated environment.

On the basis of the analysis of the laws of the drying process realization, the physical interaction of the ozone-air mixture on grain raw materials, new directions of the development of the method of integrated dynamic processing of raw materials and its constructive introduction in the mechanical vibrational system are substantiated.

The basic principles of the theory of drying of grain raw materials using the vibrating plant are formed, which is a promising for the development of high-performance grain drying equipment, which expands the spectrum of highly effective complex mechanical processing of agricultural products.

The influence of the regime parameters of the investigated complex on the parameters of productivity and energy intensity of the drying process of grain raw materials, as well as on the quality indices of the obtained products, was experimentally investigated.

Based on the obtained empirical data, it has been established that: that the specific energy consumption per unit of finished products with a humidity  $W_k = 14\%$  at the initial humidity are: for the use of classical technology with the supply of a heat agent temperature of  $50\text{ }^\circ\text{C}$  with a processing time of 240 min. – 112,93 W·h/kg or 18,82 W·h/kg/1% evaporated moisture (406,54 KJ/kg or 67,75 KJ/kg per 1% evaporation moisture); for the use of complex thermophysical influence with a processing time of 160 min. – 91,01 W·h/kg or 15,16 W·h/kg/1% evaporated moisture (327,63 KJ/kg or 54,6 KJ/kg per 1% evaporation of moisture).

The results of the conducted studies allowed to get practical recommendations on the intensification of the drying process of grain and raw materials, and to carry out practical testing of the developed machine, which was

introduced at the enterprises of LLC «ПК «Zorya Podillya», F «Stolypin» and LLC «Nadiya».

The results of the feasibility study of the developed vibrating plant for the implementation of drying of grain raw materials showed that its introduction into production in comparison with existing analog (grain dryer SBC-3M) gives an opportunity to get an annual economic effect of 66690 UAH/year for the average payback period of 2 years.

**Keywords:** grain raw materials, post-harvest processing, drying, vibration, ozone, vibro-ozone complex, rational parameters, productivity, energy consumption, quality indicators.

## СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Герасимов А.А. Особенности процесса и оборудования для сушки зернового сырья с использованием озона. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin-Rzeszov, 2016. Vol. 18. № 4. С. 37-45.

2. Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. та ін. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної обробки зерна. *Наукові праці НУХТ*. Київ, 2016. № 6. Т. 22. С. 151-156.

3. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Герасимов О.О. та ін. Перспективи використання озону у післязбиральній обробці зерна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2016. № 3 (95). С. 80-84.

4. Цуркан О.В., Полевода Ю.А., Присяжнюк Д.В. та ін. Вібромеханічна інтенсифікація тепломасообмінних процесів при зневоложенні зерна. *Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: Матеріали міжнар. наук-техн. конф.* (Київ, 8-10 лист. 2016). Київ, 2016. С. 112-114.

5. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Скрипник М.В. та ін. Віброозонуючий комплекс для післязбиральної обробки зернової сировини.



*Енерго- і ресурсозберігаючі технології та машини в аграрному виробництві: Матеріали всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (Полтава, 15-17 груд. 2016). Полтава, 2016. С. 87-89.*

6. Цуркан О.В., Величко Л.Д., Присяжнюк Д.В. Математична модель вібраційної сушарки з маятниковими механізмами вільного ходу. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2017. № 2 (85). С. 103-113.

7. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2017. № 2 (97). С. 99-103.

8. Присяжнюк Д.В., Яворський А.Я., Цуркан О.В. Збереження якості гарбузового насіння з використанням віброозонуючої технології обробки. *Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства: Праці VII міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 27-28 квіт. 2017). Київ, 2017. С. 319-320.*

9. Цуркан О.В., Янович В.П., Полевода Ю.А. та ін. Розробка конструктивно-технологічної схеми віброозонуючого комплексу для енергозберігаючого сушіння насіння гарбуза. *Сучасний стан та перспективи розвитку овочівництва: Тези міжнар. наук.-практ. конф. (Селекційне, 26 лип. 2017). Селекційне, 2017. С. 219-222.*

10. Цуркан О.В., Янович В.П., Присяжнюк Д.В. Дослідження кінетики сушіння насіння соняшника у вібраційній сушарці. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Кропивницький, 1-3 лист. 2017). Кропивницький, 2017. С. 301-303.*

11. Присяжнюк Д.В. Аналіз обладнання для сушіння зернової сировини при післязбиральній обробці. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2017. № 3 (86). С. 136-144.

12. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Озонування як перспективний спосіб обробки зернової сировини. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства*

України: зб. наук. праць УкрНДППВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2017. Вип. 21 (35). С. 307-312.

13. Янович В.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Використання механічних коливань у сільськогосподарському виробництві. *Молодіжний науковий форум*: Матеріали обл. наук.-практ. конф. (Ладизин, 12 бер. 2018). Ладизин, 2018. С. 3-5.

14. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Сушіння зерна з використанням віброозонуючого впливу. *Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування*: Матеріали всеукр. інтернет-конф. (Полтава, 29-30 бер. 2018). Полтава, 2018. С. 9-11.

15. Присяжнюк Д.В. Озон як рушійний фактор для видалення зв'язаної вологи із зернової сировини. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2018. № 2(89). С. 94-97.

16. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Планування багатофакторного експерименту у дослідженні процесу сушіння зерна пшениці. *Вібрації в техніці та технологіях*: Тези XVII міжнар. наук.-техн. конф. (Львів, 11-12 жов. 2018). Львів, 2018. С. 113-114.

17. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Граничні умови сушіння насіння гарбуза. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: Тези XIX міжнар. наук. конф. (Київ-Голосієво, 17-19 жов. 2018). Київ, 2018. С. 306-308.

18. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Математична модель розповсюдження озону в шарі зерна при його сушінні із використанням віброозонуючого комплексу. *Machinery&Energetics*. Київ, 2018. С. 55-58.

19. Пат. КМ 115030 Україна. Вібраційна сушарка. Опубл. 27.03.2017.

20. Пат. КМ 122236 Україна. Вібраційна сушарка. Опубл. 26.12.2017.

21. Пат. КМ 122237 Україна. Віброозонуюча сушарка. Опубл. 26.12.2017.

22. Пат. КМ 124005 Україна. Вібраційна сушарка. Опубл. 12.03.2018.

23. Пат. КМ 124870 Україна. Вібраційна сушарка. Опубл. 25.04.2018.

24. Пат. КМ 126546 Україна. Віброозонуюча сушарка. Опубл. 25.06.2018.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Одним із пріоритетних завдань розвитку аграрної галузі України є забезпечення її продовольчої безпеки, а також нарощування експортного потенціалу за рахунок збільшення виробництва продукції рослинництва.

Ефективний розвиток цієї ланки аграрного сектору економіки неможливий без отримання зернової сировини, яка відповідає вимогам як державних, так і світових стандартів.

Зростаючі обсяги виробництва зерна та підготовка необхідної кількості посівного матеріалу ставлять нові вимоги до техніки і технологій, що використовуються для післязбиральної обробки і, зокрема, сушіння сільськогосподарських культур.

Існуючі зерносушарки працюють неефективно, вони громіздкі, металота енергоємні, складні в обслуговуванні та ремонті і мають високу вартість.

Суттєво інтенсифікувати процес сушіння зернової сировини можна шляхом використання вібраційних технологій та обладнання у поєднанні із введенням до складу сушильного агенту озону.

Отже, розробка віброозонуючого комплексу, який забезпечить підвищення ефективності і швидкості процесу сушіння зернової сировини із одночасним зменшенням енерговитрат на його виконання, є актуальною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, що становлять основу дисертаційної роботи, виконувались у Вінницькому національному аграрному університеті за ініціативною науково-дослідною програмою на 2017-2020 рр. «Інтенсифікація процесів механічної обробки сільськогосподарської сировини за вібраційного впливу» (Державний реєстраційний номер 0117U004700), а також згідно договорів про творчу співпрацю Вінницького національного аграрного університету із ТОВ «ПК «Зоря Поділля», ФГ «Столипін» та СТОВ «Надія».

**Нова гіпотеза** дисертаційної роботи полягає в тому, що інтенсифікацію процесу сушіння зерна можна досягти шляхом застосування вібраційного впливу на сировину та технології озонування, які забезпечують комплексний технологічний вплив на оброблюваний матеріал.

**Мета і задачі досліджень.** Мета роботи – підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат при сушінні зернової сировини шляхом розробки та обґрунтування технологічних параметрів віброозонуючого комплексу.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначено такі завдання:

- провести аналіз основних закономірностей перебігу процесу сушіння зернової сировини та обґрунтувати основні напрямки його інтенсифікації за умови вібраційного впливу на оброблювану сировину та технології озонування;
- розробити математичну модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу;
- розробити перспективну схему та конструкцію віброозонуючого комплексу для обробки зернової сировини під час її сушіння;
- обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри розробленого віброозонуючого комплексу та встановити його раціональні режими роботи;
- здійснити перевірку адекватності отриманої математичної моделі;
- здійснити виробничу апробацію експериментально-промислової моделі віброозонуючого комплексу для реалізації процесу сушіння зернової сировини та оцінити економічну ефективність його використання.

**Об'єкт дослідження.** Процес сушіння зернової сировини в умовах віброзваженого стану з використанням технології озонування.

**Предмет дослідження.** Віброозонуючий комплекс для сушіння зернової сировини, закономірності зміни параметрів досліджуваного процесу.

**Методи досліджень.** Теоретичні дослідження базуються на методах теорії сушіння, теорії тепломасообміну, математичного моделювання технологічних процесів і проводилися з використанням основних положень

вищої математики, а експериментальні дослідження – згідно розроблених та існуючих методик і галузевих стандартів в лабораторних умовах на розробленій експериментальній установці з використанням планування багатофакторного експерименту і застосуванням методів статистичної обробки результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

– вперше отримано математичну модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу;

– визначено вплив факторів на ефективність технологічного процесу сушіння, які характеризують якісні і кількісні показники роботи віброозонуючого комплексу;

– вперше отримано теоретичні та експериментальні залежності концентрації озону в озоноповітряній суміші від віброприскорення сушильної камери за різних швидкостей руху сушильного агенту.

**Практичне значення отриманих результатів.** На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано раціональні параметри процесу та розробленого віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини. Розроблено конструкторську документацію і створено дослідний зразок, який успішно пройшов випробування на виробничих потужностях ТОВ «ПК «Зоря Поділля», ФГ «Столипін», СТОВ «Надія».

Встановлено, що застосування розробленого комплексу знижує питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю  $W_k=14\%$  при початковій вологості  $W_n=20\%$  за використання комплексного теплофізичного впливу при тривалості обробки 160 хв.

Результати техніко-економічного оцінювання розробленого віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що провадження такого комплексу у виробництво дає змогу отримати річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи здобувачем отримані самостійно. У наукових роботах, виконаних у співавторстві, особистий внесок полягає в такому: проведено літературний аналіз зерносушильного обладнання; сформовано основні технологічні аспекти, що стосуються реалізації процесів сушіння зернової сировини; розроблено принципову схему конструкції та обґрунтовано принцип її дії; конструктивно реалізовано дослідно-промислову модель віброозонуючого комплексу; проведено експериментальні дослідження та обґрунтовано режимні параметри процесу.

Загальна частка участі в опублікованих у співавторстві працях становить більше 50%, а в охоронно-правових документах – понад 70%.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати роботи були висвітлені на міжнародних, всеукраїнських та регіональних конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості» (НУХТ, м. Київ, 2016 р.), Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Енерго- і ресурсозберігаючі технології та машини в аграрному виробництві» (ПДАА, м. Полтава, 2016 р.), VII Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (НУБІП, м. Київ, 2017 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасний стан та перспективи розвитку овочівництва» (Інститут овочівництва та баштанництва НААНУ, с. Селекційне, 2017 р.), XI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (ЦНТУ, м. Кропивницький, 2017 р.), Обласній науково-практичній конференції «Молодіжний науковий форум» (Ладижинський коледж ВНАУ, м. Ладижин, 2018 р.), Всеукраїнській інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування» (ПДАА, м. Полтава, 2018 р.),

XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях» (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, 2018 р.), XIX Міжнародній науковій конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (НУБІП, м. Київ, 2018 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 24 наукових працях (6,4 у.д.а.), серед яких 8 статей у фахових виданнях України (3,1 у.д.а.), 1 стаття в закордонному виданні (0,5 у.д.а.), 6 патентів України на корисну модель (1,1 у.д.а.), 9 тез наукових конференцій (1,7 у.д.а.).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація викладена українською мовою, складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та додатків. Загальний обсяг роботи складає 250 сторінок, в тому числі 97 сторінок додатків, 56 рисунків і 21 таблиця.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕХНІКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

#### 1.1 Особливості технологічного процесу післязбиральної обробки зернових і олійних культур

Якість свіжозібраного зерна залежить в основному від стану стиглості, вмісту вологи в період збирання і подальшого зберігання. Партії зерна після збирання врожаю мають ряд особливостей. Свіжозібрана зернова маса неоднорідна за вологістю і ступенем стиглості окремих зерен, має високу фізіолого-біохімічну і мікробіологічну активність, незадовільні технологічні властивості, тому нестійка при зберіганні [1-10].

Процес дозрівання зерна в полі протікає неодноразово. Окремі колоски, а також зернівки мають неоднорідну ступінь стиглості, а, отже, неоднакову вологість. У масі зібраного зерна завжди є зернівки різних фаз стиглості і вологості. Різниця по вологості окремих зерен в партії пшениці з середньою вологістю 17,7% становить 10% (від 14,0 до 24,0%) [11].

Погода в період збирання, техніка збиральних робіт і терміни їх проведення впливають на валові збори зерна, його якість, в результаті чого потрібно проводити заходи, що забезпечують збереження зернових мас. Так, в різних районах нашої держави [12] зерно прибирають при різній вологості (рис. 1.1).

Велика частина зерна після збирання проходить стадію попереднього зберігання і обробки на токах. Для окремих партій ця стадія може тривати від кількох годин і доби до місяця і більше [13-16]. У таких випадках можливе зараження зерна комахами і кліщами, а за несприятливої погоди – зволоження, яке нерідко супроводжується проростанням зерна, розвитком мікроорганізмів і самозігріванням. Ці процеси починаються в свіжозібраному



зерні дуже швидко. Зниження якості зерна може статися і при транспортуванні.



Рисунок 1.1 – Характерна середня вологість зерна при збиранні врожаю на Україні

Так, зерно, підмочене при збиранні або під час транспортування, навіть після його висушування має підвищену інтенсивність дихання в порівнянні з зернами з такою ж вологістю, що не піддавалися зволоженню [12].

Самозігрівання є результатом високої інтенсивності дихання зернової маси, розвитку в ній цвілі [9, 12, 17, 18]. При розвитку самозігрівання і підвищенні температури до 40-50 °C і вище зерно темніє аж до повного почорніння, іноді повністю покривається міцелієм цвілі. Запах стає цвілевих, а потім гнило-затхлим, змінюється відповідно і смак, знижується схожість зерна аж до повної її втрати. Вміст клейковини в пшениці різко знижується, а її якість погіршується.

Тому правильний обробіток щойно зібраного зерна з урахуванням властивостей зернової маси є найважливішим заходом.

Для отримання врожаю з мінімальними втратами, як в якості, так і кількості використовують цілу систему заходів (рис. 1.2).

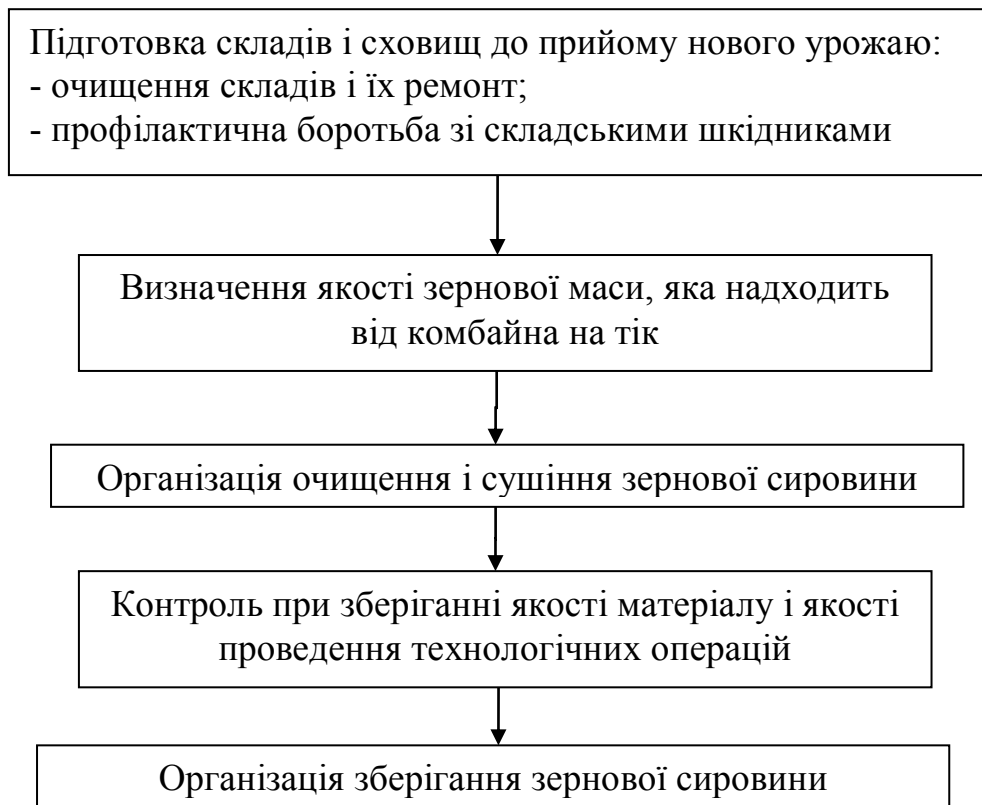


Рисунок 1.2 – Схема проведення післязбиральної обробки зернового матеріалу

Щойно зібране зерно (зерновий ворох), особливо насінневого призначення, піддають спеціальній обробці – його очищають (видаляють домішки), сушать і при необхідності сортують. Без післязбиральної обробки отриманий урожай зерна не можна ні зберегти без значних втрат, ні використовувати на харчові або насінневі цілі [6, 9, 12, 15, 19-22].

Післязбиральна обробка зерна вирішує два основні взаємопов'язані завдання:

- підвищення стійкості зерна при зберіганні без істотних втрат, для чого зернову масу просушують до сухого стану;

- доведення зернової маси до встановлених кондицій по чистоті, для чого його очищають від смітєвих та зернових домішок, сортують з виділенням малоцінних зерен основної культури (недорозвинених, битих, ушкоджених, пророслих і дрібних).

Таким чином, післязбиральна обробка зерна є комплексом

взаємопов'язаних і доповнюючих одна одну технологічних операцій, в результаті виконання яких забезпечується тривале збереження зерна і підвищується його якість до такого рівня, при якому воно може бути відразу або через деякий період часу використано на харчові, фуражні або насінневі цілі. Післязбиральна обробка зерна забезпечує високий технологічний ефект лише тоді, коли всі операції виконують правильно і своєчасно.

Серед операцій післязбиральної обробки зерна найбільш відповідальною і складною є сушіння, оскільки в основному вона визначає якість оброблюваного продукту. В даний час значну частину свіжозібраного зерна піддають високотемпературному сушінню підігрітим повітрям в сушильних відділеннях зернових очисно-сушильних комплексів. При цьому необхідний правильний вибір режимів сушіння для отримання зерна оптимальної кондиції по вологості при чітких обмеженнях по температурі його нагрівання. Вирішення цієї проблеми ускладнено тим, що сушильні відділення – це складні об'єкти управління, в яких, крім зерносушарки, функціонує значна кількість взаємодіючого між собою обладнання.

У щойно зібраному зерні з підвищеною вологістю переважають процесів гідролізу призводить не до зменшення фізіологічної активності, а до її подальшого зростання. Насіння може не тільки покращити свої посівні якості, але і знизити їх. Післязбиральне дозрівання в такому зерні не відбувається [12, 24].

Тому, в результаті своєчасного та правильно проведеного сушіння прискорюється процес післязбирального дозрівання зерна, який в умовах звичайного зберігання триває протягом декількох тижнів, а то і місяців, підвищується його стійкість при зберіганні, поліпшуються технологічні і насінні гідності [23].

Так, сушіння зерна пшениці може сприяти підвищенню якості клейковини. Слабка клейковина в процесі сушіння зміцнюється, що також сприяє поліпшенню її технологічних властивостей. При сушінні поліпшуються технологічні властивості зерна, пошкодженого клопом-

черепашкою, а також пророслого. При правильно організованому процесі сушіння до поверхні зерна (зокрема, до зародка, в області якого відбувається основний вологообмін між зернівкою і навколишнім середовищем) разом з вологою переміщуються водорозчинні речовини, які покращують його насіннєві якості [25-27].

Велике значення сушіння набувало і в зернопереробних галузях промисловості. Переробка просушеного зерна дозволяє знизити енергоємність вальцових верстатів, підвищити вихід борошна і круп, збільшити тривалість зберігання борошна і круп, знизити зношення устаткування.

Таким чином, важливість якісного сушіння зерна і складність його виконання, а також зростаючі обсяги оброблюваного матеріалу роблять актуальною проблему інтенсифікації процесу сушіння в комплексі заходів в період післязбиральної обробки зерна.

## **1.2 Способи і засоби для виконання технологічного процесу зневоложення при післязбиральній обробці зернової сировини**

Відома класифікація В.М. Соловійова способів і засобів для виконання технологічного процесу зневоложення зерна [28]. Автор поділяє існуючі способи на механічні та теплові. Дана класифікація охоплює лише ті способи сушіння, які знайшли широке поширення в сільському господарстві.

Нами пропонується більш повна класифікація існуючих способів сушіння, представлена на рис. 1.3. Згідно з цією класифікацією способи сушіння вологих матеріалів при післязбиральній обробці можна розділити на два основних: сушіння без зміни агрегатного стану матеріалу і сушіння зі зміною агрегатного стану матеріалу [1, 6, 11, 29-35].

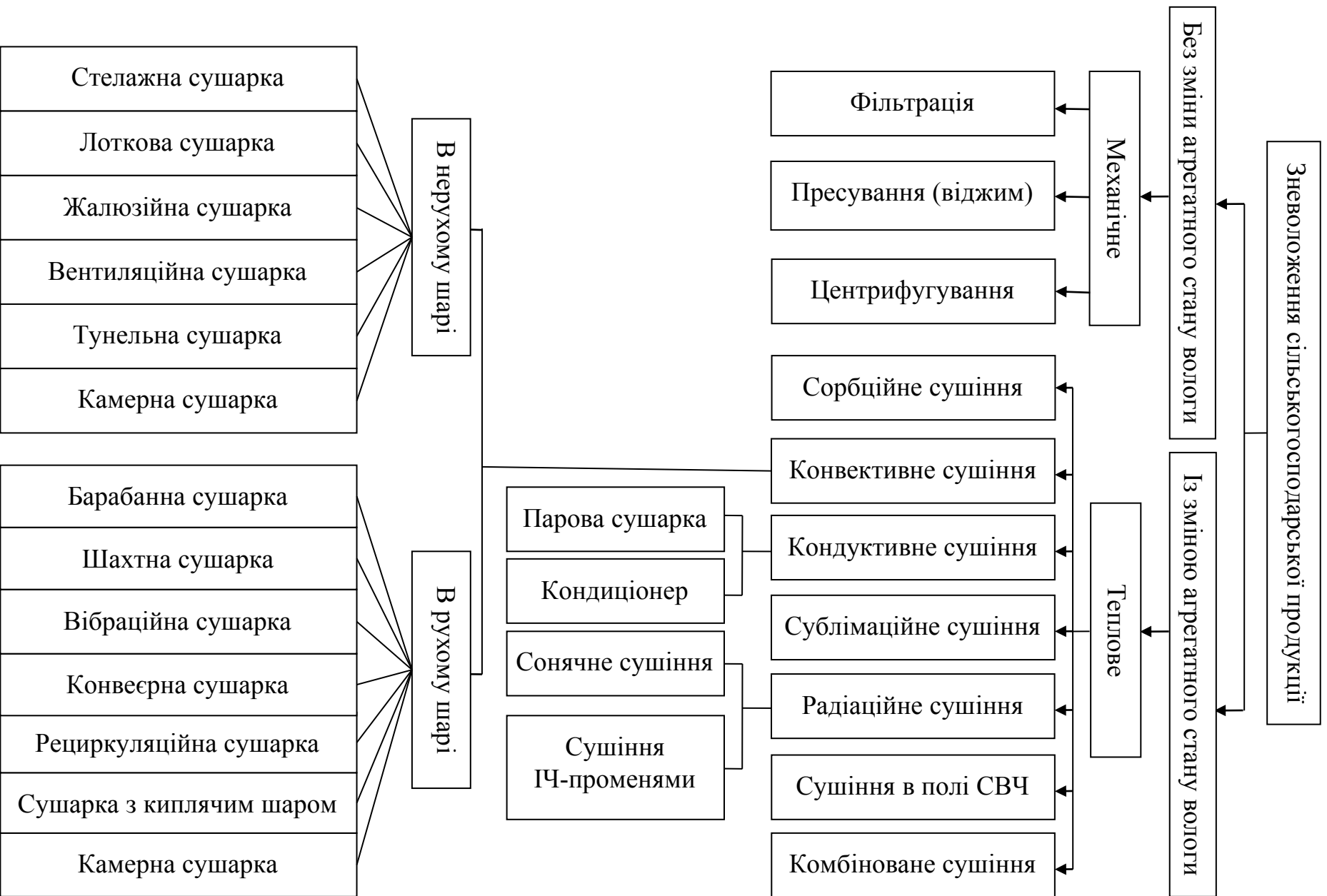


Рисунок 1.3 – Класифікація способів зневоложення і типів сушарок

Перший принцип зневоднення отримав втілення в механічному (фільтрація, пресування, центрифугування) і сорбційному (змішування з вологопоглинаючими речовинами) способах сушіння [29].

Механічний спосіб застосовують в тому випадку, коли в речовині є вільна волога. Його доцільно застосовувати лише при видаленні вільної вологи із зерна (наприклад, намоченого дощем, після вологого знезараження або сортування за питомою вагою в рідині).

Сорбційний спосіб застосовують головним чином при сушінні тих матеріалів, які втрачають свою якість при традиційному сушінні при нагріванні (особливо бобові культури). Плоди таких культур починають тріскатися вже при нагріванні до 27 °С. При сорбційному сушінні вологий матеріал змішують з вологопоглиначем (силікагелем, хлористим кальцієм, осиковими плашками, тирсою та ін.) і витримують протягом певного часу, при цьому вологість всієї зернової маси вирівнюється. Цей же принцип лежить в основі сушіння вологого зерна змішуванням з більш сухим тієї ж або іншої культури.

При цьому способі непотрібні витрати теплоти на нагрів зерна і зберігаються його якісні показники, що особливо важливо для насінневого матеріалу. Однак процес сушіння змішуванням протікає дуже повільно (1-2 тижні) і громіздкий, оскільки при ньому необхідні додаткові складські приміщення, виділення і регенерація (висушування) вологопоглинача [29].

Другий принцип зневоднення – теплове сушіння. Воно пов'язане з підведенням потоку теплоти до матеріалу для випаровування вологи. Інтенсивність тепло- і вологообміну обумовлена в основному перепадом парціальних тисків водяної пари, що визначаються перепадом температур зерна і сушильного середовища. Тому в основу класифікації методів сушіння покладено способи передачі теплоти до зерна, що просушується.

Залежно від способу передачі теплоти розрізняють: конвективний, кондуктивний (контактний), молекулярний (сублімацією), радіаційний, електричний (струмами високої частоти) та комбінований способи теплового

сушіння [6, 11, 27, 29].

При конвективному способі сушіння теплота, необхідна для нагрівання матеріалу і випаровування з нього вологи, передається йому конвекцією від рухомого газоподібного теплоносія (нагрітого повітря або його суміші з пічними газами), який називається агентом сушіння. Агент сушіння не тільки передає теплоту матеріалу, але також поглинає і забирає випаровану з нього вологу.

При кондуктивному способі вологий матеріал (об'єкт сушіння) знаходиться в безпосередньому контакті з нагрітою поверхнею і отримує теплоту від неї шляхом кондукції (теплопровідності). В якості нагрітої поверхні використовують труби, що обігріваються паром, гарячою водою або газом. Даний спосіб може використовуватися як при нормальному атмосферному тиску повітря, так і в вакуумі. Такий спосіб сушіння малоефективний, оскільки пов'язаний з великою витратою енергії, має низьку швидкість і не забезпечує необхідної якості сушіння через нерівномірне нагрівання шарів зернової маси, розташованих на різних рівнях від нагрітої поверхні. Застосування вакууму дозволяє вести кондуктивне сушіння при більш низьких температурах і дає можливість збільшити його швидкість. Однак складність обладнання та значні витрати електроенергії обмежують поширення цього способу.

До кондуктивного способу відносять і сушіння в рідких середовищах, при якому теплота береться від гарячої рідини, що змочує матеріал. В якості рідкого середовища використовують хімічну оліфу, вазелін, розплавлену сірку. При цьому способі, внаслідок заміни дифузійного переносу вологи молярним рухом пари, обумовленим градієнтом тиску, швидкість сушіння зростає в 5-10 разів у порівнянні з конвективним, а потік теплоти на 1 кг випарованої вологи потрібно більше. Однак цей спосіб використовується головним чином для сушіння деревини [29].

Радіаційний спосіб сушіння характеризується тим, що потік теплоти до вологого матеріалу підводиться у вигляді променевої енергії. Радіаційне

сушіння можна поділити на природне (сонячними променями) і штучне (інфрачервоними променями). Сприятливі умови для природного сушіння – ясна сонячна погода і вітер. Сушіння організують поблизу від складських приміщень на ущільнених або зі штучним покриттям майданчиках. Зерно розсипають шаром 10-15 см, на поверхні шару роблять борозенки в напрямку вітру.

Для сушіння зерна використовуються сонячні сушарки [36-41], в яких для нагрівання повітря використовуються пластинчасті повітряні колектори (сонячні колектори), які встановлюються на дахах. У них за допомогою сонячної енергії нагрівається повітря і природною конвекцією або вентиляторами подається в сушильні камери. Сушіння здійснюється зазвичай в 80-95 - денний період з вересня по грудень. Ця технологія придатна тільки для південних кліматичних зон. Оскільки коливання оточуючих температур залежать від активності сонця, то робота таких теплогенераторів може проходити тільки в комбінації з накопичувачем. В цілому, такий вид сушіння характерний низьким ККД, тому часто є потреба у додатковому калорифері.

Сушіння ІЧ променями, які генеруються генераторами інфрачервоного випромінювання, характеризується високою напругою теплового потоку, що виникає на поверхні матеріалу, що опромінюється. Терморадіаційне підведення тепла інфрачервоними променями (мікронізація) [29, 43-45] викликає інтенсивне нагрівання зерна, тому волога, що міститься в ньому, випаровується. З огляду на швидкоплинність цього процесу тиск водяної пари підвищується, а, як відомо, підвищення температури і тиску значно прискорює хід хімічних реакцій, і в певних межах біохімічних. У зв'язку з цим відбувається значне руйнування токсичних речовин, часткова денатурація білків, відбувається руйнування структури сирого крохмалю. Після такої обробки зерно придатне тільки для кормових цілей, для згодовування тваринам. До переваг цього способу можна віднести короткочасність і високу ефективність процесу. Тому його застосування обмежується властивостями матеріалів, які є об'єктом сушіння. Поряд з цим,



сушарки, які працюють за таким принципом, мають високу пожежонебезпечність і температуру процесу, негативно позначаються на збереження поживних речовин і значні витрати електроенергії [29, 45].

Сублімація (молекулярне сушіння) проводиться в умовах глибокого вакууму. Процес протікає так, що на початку теплота, необхідна для випаровування вологи, відбирається від матеріалу, що висушується, внаслідок чого його температура значно знижується, а волога, яка в ньому залишилася, заморожується і виходить на поверхню у вигляді кристаликів льоду; в подальшому, при підведенні теплоти ззовні, відбувається випаровування льоду – безпосереднє випаровування його в водяну пару, минаючи рідку фазу. Молекулярна структура матеріалу при цьому зберігається.

Сушіння сублімацією застосовують в тих випадках, коли потрібно зберегти початкові властивості продукту (колір, смак, запах). Різде зниження гігроскопічності забезпечує можливість тривалого зберігання, а висока пористість висушеного матеріалу обумовлює відновлення його початкових властивостей при обводнюванні. Цей спосіб знаходить застосування при сушінні фруктів, овочів, м'яса, різних біологічних препаратів. Продуктивність сублімаційних сушарок низька, складність обладнання і висока вартість сушіння стримує поширення цього способу [29].

Електричний спосіб сушіння, або сушіння струмами високої частоти (СВЧ), полягає в наступному. Матеріал-діелектрик поміщають в поле СВЧ між двома пластинами (обкладинками конденсатора); його молекули поляризуються і приводяться в коливальний рух, що супроводжується тертям частинок і нагріванням матеріалу; волога, що виділилася в результаті нагрівання і випаровування, видаляється разом з повітрям, яке її поглинуло. Незважаючи на ряд переваг (швидкий і рівномірний нагрів матеріалу, висока інтенсивність сушки), сушіння в полі СВЧ не знаходить широкого застосування при сушінні сільськогосподарських матеріалів внаслідок великої витрати електроенергії [29].

Останнім часом починає широко використовуватися надчастотне (діелектричне) нагрівання з використанням енергії змінного електромагнітного поля НВЧ діапазону [42, 45-47]. Діелектричне нагрівання засноване на зсуві зарядів, диполів і пов'язаних з ним молекул при впливі на матеріал змінного електромагнітного поля. На переміщення заряджених частинок (поляризацію) витрачається робота, яка через наявність внутрішнього "міжмолекулярного тертя" перетворюється в теплову енергію. Сушіння характеризується високою швидкістю підведення тепла, а, отже, і інтенсивністю пароутворення в продукті. При цьому швидкість пароутворення перевищує швидкість його перенесення, що призводить до виникнення градієнта тиску. Таким чином, перенесення вологи здійснюється не тільки за рахунок градієнта вологості і температури, але і за рахунок градієнта тиску. Як показали дослідження [48], при впливі на зерно СВЧ-енергією в результаті утворення усередині зерна надлишкового тиску волога з внутрішніх шарів інтенсивно переміщується до поверхні, де виділяється в капілярно-рідкому стані, або ж випаровується в зовнішнє середовище. При цьому спостерігається дуже висока швидкість сушіння. Однак, якісні показники зерна в результаті майже ударного температурного впливу, в порівнянні з конвективним сушінням, виявляються значно гіршими і питомі енерговитрати майже в 1,5 рази більші. Як показали дослідження А.Г. Чижикова [49], при порівнянні питомих енерговитрат при сушінні – конвективні зерносушарки в порівнянні з мікрохвильовими (з використанням СВЧ-енергії) практичніші.

Застосування комбінованих способів дозволяє значно збільшити швидкість сушіння, скоротити витрату енергії, домогтися більш гнучкого управління процесом і в результаті цього не тільки скоротити всі цінні якості матеріалу, що висушується, але і часто поліпшити їх. До комбінованих способів можна віднести: радіаційно-конвективний, кондуктивно-конвективний та ін. Так, наприклад, швидке нагрівання в полі СВЧ з випаровуванням вологи потоком нагрітого повітря дозволяє більш ніж в

2 рази скоротити витрату електроенергії (в порівнянні з високочастотним), в 1,5-2 рази підвищити швидкість сушіння (у порівнянні з конвективним).

Найбільшого поширення в сушарках отримав конвективний спосіб теплопередачі [9, 28, 30, 35, 50, 51]. При цьому головною технологічною характеристикою є стан шару матеріалу в процесі сушіння. При конвективному сушінні зерно може перебувати в стані щільного нерухомого, рухомого, псевдорозрідженого, віброкиплячого, падаючого або зваженого шару. Напрямок руху сушильного агента в конвективних сушарках щодо матеріалу може бути прямоточним, протитечійним і перехресним.

Характерною особливістю сушіння зерна в псевдорозрідженому шарі є те, що теплообмін між агентом сушіння і зерном протікає дуже інтенсивно в порівняно тонкому "придонному" шарі, в так званій «активній зоні». Температура агента сушіння знижується на стільки швидко, що вже на висоті 50-80 мм від повітророзподільної решітки вона стає рівною температурі зерна. Теплота, що передається зерну, переноситься потім з активної зони теплообміну на всю товщину псевдорозрідженого шару.

Зерновий шар може бути приведений в псевдорозріджений стан шляхом впливу на нього вібраційних коливань або спільним впливом повітряного потоку і вібрації. Такий стан шару називають віброкиплячим [23]. Сушіння у віброкиплячому шарі [53-56] є одним з прогресивних способів сушіння. Цей спосіб ідентичний сушінню в псевдокиплячому шарі і може застосовуватися в комбінації з аеродинамічним впливом. Закономірності сушіння шару аналогічні закономірностям сушіння одиничних зерен: швидкість випаровування вологи постійна, а температура зерна різко зростає на всьому протязі процесу. Подальше сушіння призводить до перегріву зерна і погіршення його якості [52].

Елементарний шар (шар товщиною в одну зернину) характеризується сталістю швидкості сушіння. Це обумовлено тим, що за короткий проміжок часу випаровується лише слабо зв'язана волога, що міститься в оболонках зерна і в поверхневих шарах ендосперму. При порівняно низьких

температурах агента сушіння (30-70 °С), що застосовуються для насінневого зерна, а також для сушіння в нерухомому шарі, процес протікає значно повільніше. Слідом за прогрівом зерна настає період спадаючої швидкості сушіння [52].

Сушіння зерна в падаючому шарі здійснюється під час гравітаційного, штучно уповільненого за допомогою спеціальних гальмівних елементів руху зерна в протivotоці агента сушіння, температура якого може знаходитися в межах 200-370 °С, а швидкість становитиме близько 0,5-0,6 від швидкості витання. В процесі тепло- і вологообміну з агентом сушіння бере участь вся поверхня зерен, тому забезпечується рівномірний нагрів і сушіння окремих зерен. Такий спосіб застосовується в спеціальних пристроях для швидкого нагріву зерна перед наступним сушінням його в щільному малорухливому шарі або щільному рухомому шарі. Тривалість перебування зерна в робочій зоні цих пристроїв 2-3 с, при цьому вологість зерна може знизитися на 0,5-1,0%, а його температура - підвищитися на 15-20 °С.

### **1.3 Аналіз схем та конструкцій вітчизняних і закордонних зерносушарок**

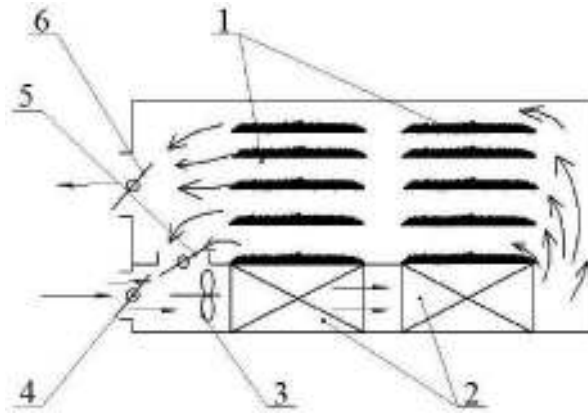
За режимом роботи зерносушарки поділяються на три групи [57-59]: безперервної дії, періодичної дії, напівперіодичної дії.

Конструктивні схеми більшості основних типів сушарок наведені в [60].

Камерні сушарки (рис. 1.4) є герметичними камерами, всередині яких матеріал, що висушується, в залежності від його виду розташовується на сітках, деках, затискачах і інших пристроях.

Свіже повітря за допомогою вентилятора 3 через калорифер 2 подають в простір камери, всередині якої знаходяться полиці 1 з матеріалом, що висушується.

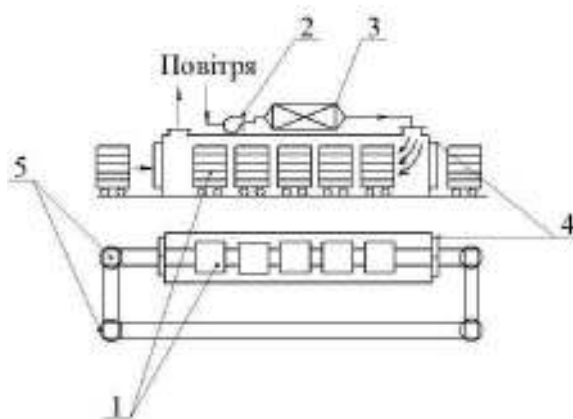
Перевагами камерних сушарок можна вважати простоту будови та роботи. Недоліками: відносно мала продуктивність, спричинена періодичністю дії; отримання зернової сировини з нерівномірною вологістю по всьому об'єму [60].



1 – полиці для завантаження матеріалу, що висушується; 2 – калорифер;  
3 – вентилятор; 4, 5, 6 – заслінки для регулювання втрат свіжого,  
рециркулюючого і відпрацьованого повітря

Рисунок 1.4 – Камерна сушарка

Тунельні сушарки, як правило, є апаратами безперервної дії, які представляють собою довгі камери, в яких розміщуються вагонетки з матеріалом, що висушується (рис. 1.5) [60].

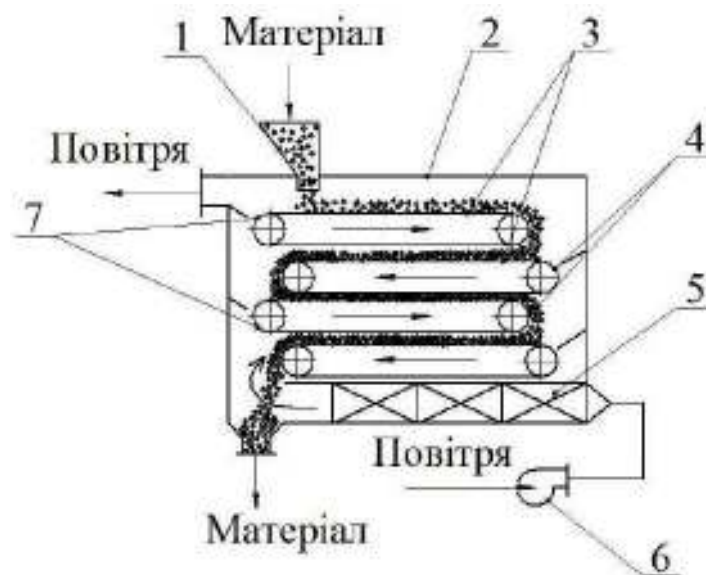


1 – вагонетки з матеріалом, що висушується; 2 – вентилятор;  
3 – калорифер; 4 – герметичні двері; 5 – поворотні кола

Рисунок 1.5 – Тунельна сушарка

Усередині тунелю по рейках повільно переміщується ряд вагонеток 1, завантажених матеріалом, що висушується. Потік нагрітого повітря подається вентилятором 2 через калорифер 3, проходить уздовж тунелю, продуваючи поверхню матеріалу, що висушується (в даному випадку противотоком), і випаровуючи вологу. Торці тунелю закриваються щільно прилеглими дверима-шлюзами 4, які періодично відкриваються для видалення з донного кінця вагонетки з висушеним матеріалом і завантаження з іншого кінця вагонетки з вологим матеріалом. Перевага – безперервність дії. Недолік – нерівномірність сушіння через погане перемішування матеріалу [60].

Стрічкові сушарки (рис. 1.6) призначені для сушіння сипких (зернистих, гранульованих, грубодисперсних) і волокнистих матеріалів, а також готових виробів і напівфабрикатів.



- 1 – живильник; 2 – сушильна камера; 3 – стрічкові транспортери;  
4 – ведучі барабани; 5 – калорифер; 6 – вентилятор; 7 – ведені барабани

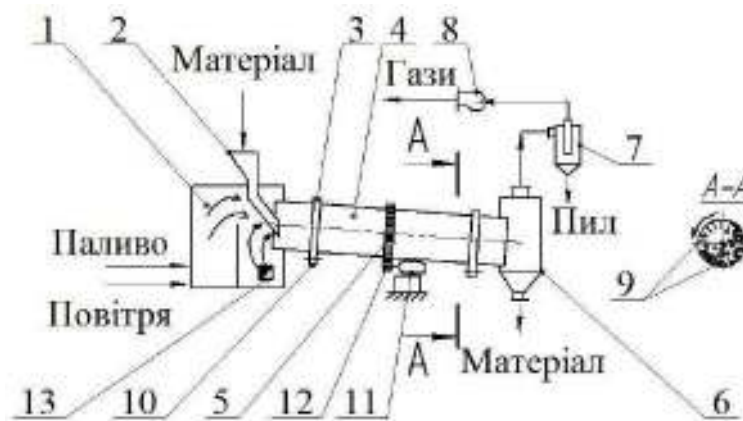
Рисунок 1.6 – Стрічкова багатоярусна сушарка

У даних сушарках сушіння здійснюється безперервно при атмосферному тиску. У сушильній камері 2 висушуваний шар рухається на нескінченних стрічках (транспортерах), натягнутих між ведучими 4 і

веденими 7 барабанами. При пересипанні матеріалу зі стрічки на стрічку збільшується поверхня його контакту з сушильним агентом, що підвищує швидкість сушіння. Стрічкові сушарки бувають прямоточні і протитечійні.

Перевагою стрічкових сушарок є безперервність дії. Основними недоліками є велика металоємність і складність обслуговування.

Барабанні сушарки (рис. 1.7) призначені для безперервного сушіння кускових, зернистих і сипких матеріалів: зерна, насіння соняшнику тощо.



- 1 – камера згорання; 2 – живильник; 3 – бандажі; 4 – барабан; 5 – зубчастий вінець; 6 – розвантажувальна камера; 7 – циклон; 8 – вентилятор;  
9 – підйомно-лопатева насадка; 10 – опорні ролики; 11 – електропривод;  
12 – зубчаста передача; 13 – вікно для подачі вторинного повітря

Рисунок 1.7 – Барабанна сушарка

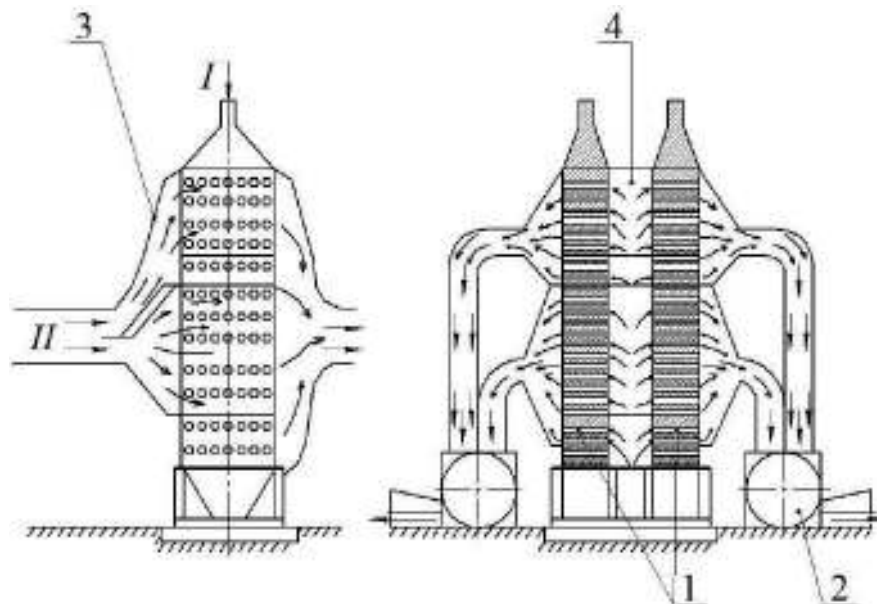
Барабанна сушарка складається з циліндричного зварного барабана 4, встановленого з невеликим нахилом до горизонту (2-7°) і спирається за допомогою бандажів 3 на ролики 10. Барабан приводиться в обертання електроприводом 11 через зубчасту передачу за допомогою вінця 5.

Частота обертання барабана зазвичай не перевищує 5-8 об/хв. Матеріал подається в барабан живильником 2 і надходить на внутрішню насадку 9, розташовану уздовж майже всієї довжини барабана. Насадка, тип якої визначається властивостями матеріалу, що висушується, забезпечує рівномірний розподіл і перемішування матеріалу по перерізі барабана, а

також його контакт з сушильним агентом при пересипанні.

До переваг барабанних сушарок слід віднести: велику продуктивність, високу економічність у витратах тепла й електроенергії, надійність у роботі, простоту конструкції і зручність експлуатації. Недоліки сушарок обумовлюються їх громіздкістю, високими капітальними витратами, тривалому контакті матеріалу з тепловим агентом (до 40 хв), забрудненням продуктів золюю з топки (0,2-0,7 %), а також пожежонебезпекою та викидами в атмосферу [60].

Шахтні сушарки (рис. 1.8) є установками безперервної дії.



1 – шахти; 2 – вентилятор; 3 – дифузор; 4 – напірна камера агента сушіння;

I – зерно; II – агент сушіння

Рисунок 1.8 – Технологічна схема шахтної зерносушарки

При сталому режимі роботи зерно безперервно надходить у верхню частину шахти. Зерно рухається вниз за рахунок сили тяжіння і сипучості. Агент сушіння рухається впоперек потоку зерна.

Завдяки тому, що шар зерна в шахті розрихлений і зерно при русі обертається в різних напрямках, поліпшується його взаємодія з агентом сушіння і прискорюється вологообмін. Швидкість руху зерна і час знаходження його в шахті регулюють за допомогою випускного пристрою.



Тривалість перебування зерна в шахті приблизно 40 хвилин, і за один прохід його вологість знижується на 4-6%.

Перевага шахтних сушарок полягає в тому, що в них можна в широких межах регулювати тривалість перебування зерна в сушильній камері і досить надійно забезпечувати підтримку заданого температурного режиму сушіння зернової маси.

Шахтні сушарки мають серйозні технологічні недоліки. Головний з них полягає в обмеженому рівні зняття вологи за один прохід зерна через шахту, рівному 4-6%. Тому для повного висушування зерна іноді доводиться проводити обробку в кілька прийомів. Перезатримка частково просушеного зерна в очікуванні повторних проходів через сушарку є причиною зниження його якості [60].

Відома модульна сушарка «Сапфір» (рис. 1.9) виробництва української компанії МЗЕО (Маловисківський завод сушильного та елеваторного обладнання, Кіровоградська область), яка працює за технологією сушіння зерна “cross-flow” (термін “cross-flow” означає, що в процесі сушіння нагріте повітря проходить перпендикулярно зерну, яке рухається в сушарці) [61].

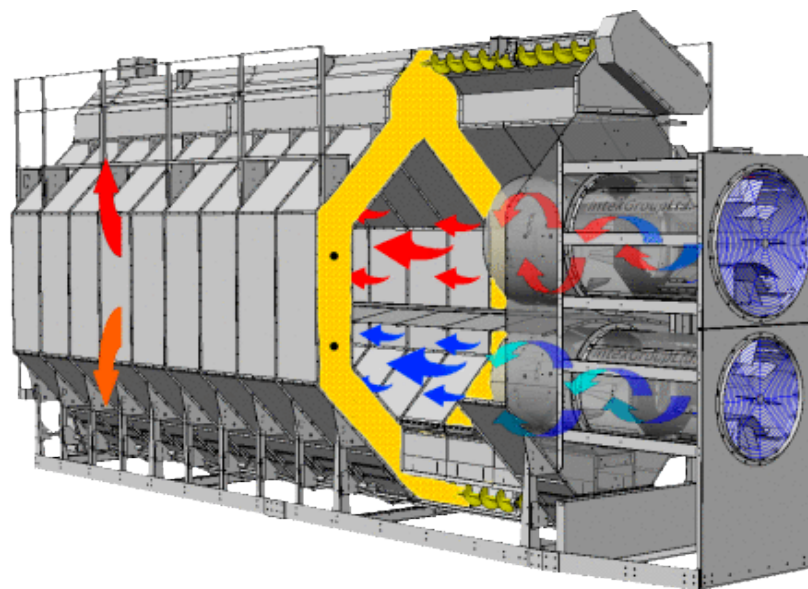


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд модульної зерносушарки «Сапфір»

Принцип роботи модульних (колонкових) зерносушарок «Сапфір»:

зерно допоміжним обладнанням транспортується в верхню частину зерносушарки, де шнек завантажує колони по черзі та рівномірно розподіляє його по всій довжині сушарки; вентилятор нагнітає з навколишнього середовища повітря, яке нагрівається пальником, змішується з вже нагрітим повітрям та потрапляє в камеру сушіння [61].

Перевагою модульної сушарки «Сапфір» є висока продуктивність. Недоліками є високі енергозатрати на висушування зернової сировини, велика металоємність та неможливість використання у дрібних сільськогосподарських господарствах [61].

Баштова зерносушарка «Сапфір» (рис. 1.10) виробництва МЗЕО являє собою сушильну установку, вологе зерно в якій за допомогою верхнього допоміжного обладнання (норія, транспортер) через завантажувальний отвір подається до верхньої частини та рівномірно наповнює зернові колони, розміщені по колу зерносушарки [61].

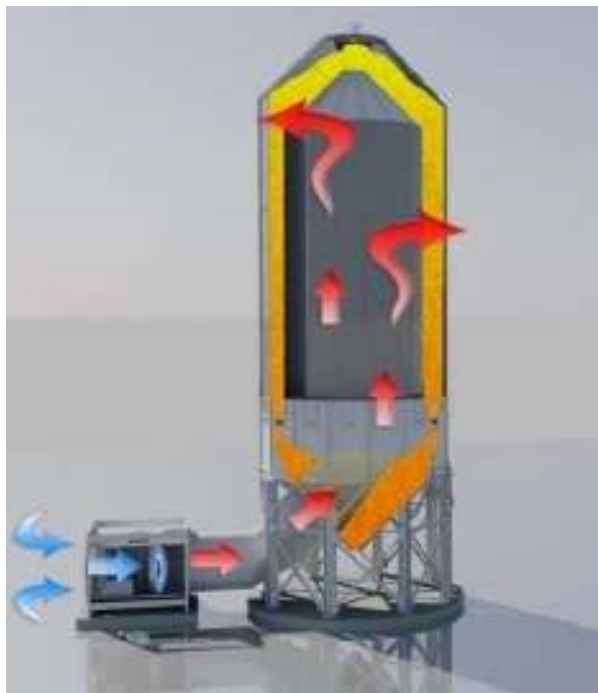


Рисунок 1.10 – Загальний вигляд баштової зерносушарки «Сапфір»

Після наповнення зерном зерносушарки включається вентилятор з пальником, які нагнітають гаряче повітря в камеру нагріву. В свою чергу

гаряче повітря, проходячи через перфоровані стінки зернових колон, між якими знаходиться вологе зерно, нагріває його та виводить з нього вологу зовні в атмосферу.

В безперервному режимі роботи, залежно від вологості зерна, час його проходу в зернових колонах та швидкість відвантаження регулюються дозуючими вальцями, які знаходяться в нижній частині кожної зернової колони. Після проходження через вальці вже сухого зерна воно подається на нижнє допоміжне обладнання та транспортується на додаткове охолодження, очистку або склад [61].

Перевагою баштової сушарки «Сапфір» є висока продуктивність. Недоліками є велика металоємність та неможливість використання у дрібних сільськогосподарських господарствах [62].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики зерносушарок «Сапфір»

Модель	1081М	1111М	1131М
Діаметр	3100 мм	3100 мм	3100 мм
Висота	9000 мм	10500мм	12000 мм
Об'єм	14,2 м <sup>3</sup>	17,6 м <sup>3</sup>	22,0 м <sup>3</sup>
Ширина секції	350 мм	350 мм	350 мм
Кількість зернових колон	16	16	16
Діаметр вхідного отвору в камеру нагріву	1080 мм	1080 мм	1080 мм
Загальна електрична потужність	17 кВт	22 кВт	25 кВт
Витрати палива на зниження 1 % вологості зерна з 100 кг зерна			
Природний газ (метан), м. <sup>3</sup>	1,5		
Зріджений газ (пропан-бутан), л	2,0		
Дизельне паливо, л	1,2		
Дрова, щіпки, кг	5,0		
Солома, кг	7,0		

Із таблиці видно, що даний вид зерносушарок може використовувати в якості палива не лише природні невідновлювальні енергоресурси (метан,

пропан-бутан, дизель), а й відновлювальні – дрова, щіпки, солому.

Зерносушарки Perry (Англія) (рис. 1.11) належать до типу сушарок для сушіння зерна зі змішаним потоком і в першу чергу призначені для сушіння пшениці, ячменю і кукурудзи.

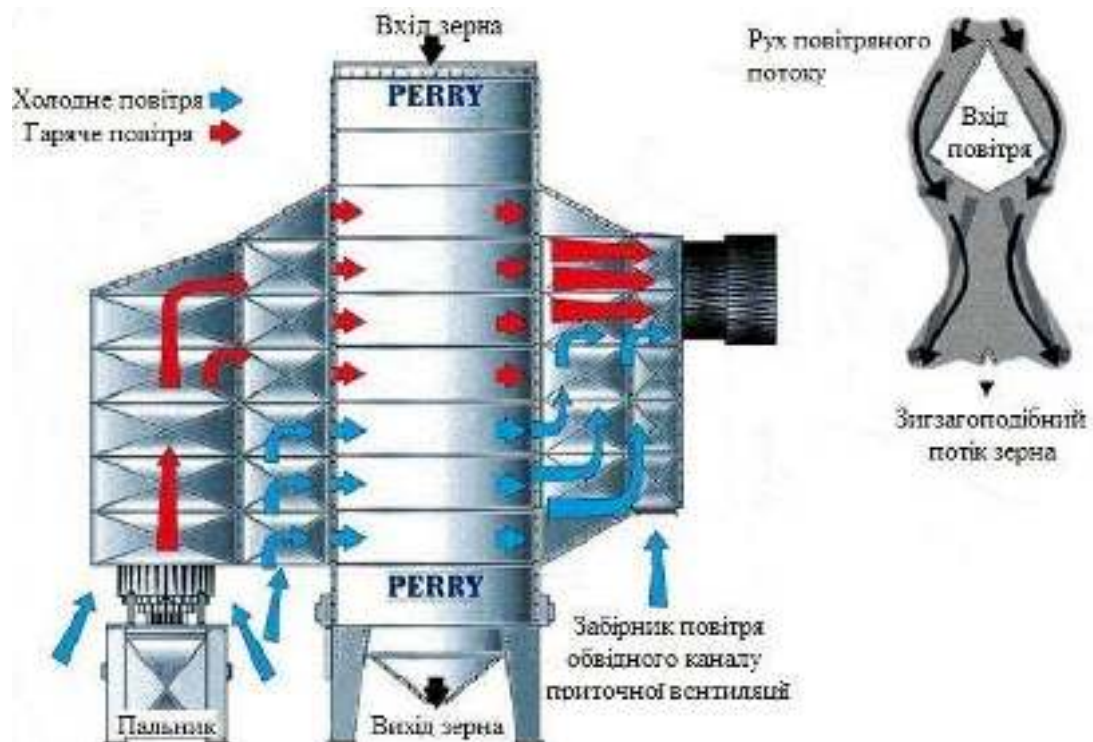


Рисунок 1.11 – Схема зерносушарки Perry

Продукція надходить зверху зерносушарки через вхідний отвір на даху, повністю заповнюючи шахту зерносушарки. Для більшої частини продукції, що знаходиться в сушарці, гаряче повітря з печі подається через неї вентиляторами по системі підвідних і відвідних коробів, розташованих усередині шахти. Щоб охолодити продукцію перед вивантаженням, коли вона досягає нижньої частини шахти зерносушарки, повітря з температурою навколишнього середовища засмоктується через неї з підвідної камери охолодження по тій же системі підвідних і відвідних коробів.

Перевагами зерносушарок PERRY є висока продуктивність та якість отриманої зернової сировини. Недоліками є висока металоємність, складність конструкції та обслуговування.

Модельний ряд стаціонарних зерносушарок PERRY представлений моделями з продуктивністю сушіння від 8 до 100 тонн на годину. Технічні характеристики деяких з цих моделей представлені у табл. 1.2 [62].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики зерносушарок Perry залежно від основного модельного ряду

Модельний ряд	M2	M3	M4	M5	M6	M8
Продуктивність, т/год:						
- пшениця (з 20% до 15%)	10-24,5	31-34	46-50	57	70-77	100
- кукурудза (з 25% до 15%)	6-14,7	18,6-20,4	27,6-30	34,2	42-46,2	60
Місткість сушарки, т	13,74-25,35	34,15-36,09	48,12-55,86	60,15	72,18-79,92	111,72
Габаритні розміри, м:						
- висота	7,46-12,41	11,31-11,86	11,86-13,51	11,86	11,86-12,96	13,51
- довжина	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31
- ширина	2,18	3,18	4,18	5,18	6,18	9,38
Витрати палива:						
- природній газ на 1т/%, м <sup>3</sup>	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
- дизельне паливо на 1т/%, л	1	1	1	1	1	1
Потужність, кВт	15,8-31,9	42,9-51,9	51,5-76,1	64,5	77,2-103	151,4

Аналіз таблиці показує, що зерносушарки Perry є високопродуктивними машинами з великими габаритними розмірами та витратою палива.

## **1.4 Аналіз методів і засобів зменшення енерговитрат та підвищення якості виконання технологічного процесу сушіння зерна**

### **1.4.1 Сушіння зерна із використанням вібротехнологій**

Одним із перспективних методом підвищення швидкості сушіння є впровадження вібротехнологій. Вплив вібраційних коливань на шар матеріалу дає можливість його активного перемішування [63]. Траєкторія, частота і амплітуда коливного руху визначають інтенсивність руху частинок матеріалу. Коливання сушильної камери забезпечує розрихлення шару матеріалу і створює умови, при яких більша частина його поверхні бере участь в тепломасообміні з теплоносієм [64].

Вібраційні коливання збільшують і оновлюють поверхню теплообміну незалежно від способу підведення сушильного агенту, відбувається інтенсивне зняття вологи, збільшується швидкість сушіння. Процес сушіння відбувається рівномірно по всьому шару, не викликаючи місцевий перегрів матеріалу. Вібраційне сушіння є потужним засобом температурного регулювання процесу, що особливо важливо для термочутливих матеріалів.

Аналіз процесу вібраційного сушіння, технічних характеристик і конструктивних особливостей різних типів вібраційних сушарок свідчить про те, що намітилися дві основні тенденції їх розвитку. По-перше, за рахунок вдалих конструктивних рішень (організації збуджуючих коливань, способу нагрівання продукції, поєднання технологічних функцій перемішування, сушіння, поділу на фракції, транспортування) поліпшуються загальні техніко-економічні показники процесу. По-друге, інтенсифікація тепломасообмінних процесів дозволяє докорінно змінити підходи до організації процесу сушіння взагалі, а також створює можливості сушіння продукції, до якої висуваються надзвичайно високі, часто взаємовиключні (суперечливі) вимоги для потреб різних галузей виробництва [63].

Потреби в якісній сировині, а також економічно продиктована

необхідність підвищення основних показників виробництва ставлять вимоги до створення нових технологій сушіння, які враховували б фізико-хімічні, біологічні, харчові, смакові якості продукції, а також забезпечували б її подальше збереження.

Процес сушіння повинен повністю виключити такі негативні чинники, як клейстеризацію крохмалю і денатурізацію білків, утворення конгломератів і погіршення смакових якостей, а також розмноження хвороб і шкідників [63].

#### **1.4.2 Сушіння зерна з використанням озоноповітряної суміші**

У роботах Т.П. Троцької [65] закладено основи енергозберігаючого сушіння зерна озоноповітряною сумішшю (електроактивованим сушильним агентом). Автором висунутий ряд гіпотез механізму впливу повітря з вмістом озону на процес сушіння і здійснена спроба теоретичного обґрунтування тепло- і масообмінних процесів в присутності озону, а також впровадження озоноповітряного сушіння в сільське господарство.

Сушіння зернової сировини з допомогою озоноповітряної суміші має ряд особливостей. В перший період сушіння частина озону вступає в окислювальні реакції на поверхні зерна з органічними і неорганічними речовинами, очищаючи поверхню матеріалу [66]. Опір потоку вологи зменшується. З іншого боку частина поверхневої вологи витрачається на реакцію з утвореними озонідами.

При проходженні через зернову масу озон розкладається на  $O_2$  і  $O$ , виділяючи теплоту, рівну 142 кДж/моль. Атомарний кисень зв'язує вологу навколо себе у вигляді крапель, які виносяться потоком повітря. Після видалення поверхневої вологи озон може впливати на проникність клітинних мембран, а присутність атомарного кисню сприяє руху вологи з клітин назовні.

Наступний етап сушіння – відведення сорбційно-зв'язаної вологи. На

цьому етапі велику роль відіграють теплота, що виділяється при розпаді озону, присутність атомарного кисню та іонів різної полярності. Електричні сили можуть сприяти ослабленню дипольних зв'язків молекул води з клітинами зернової ірровини. Все це істотно впливає на швидкість сушіння зерна в цей період [65].

В зерні та харчових продуктах волога перебуває у зв'язаному стані, тобто приймає участь в процесах життєдіяльності. Форми зв'язку у них різноманітні і для їх руйнування потрібна велика кількість енергії.

При направленні озону на поверхню рослинного матеріалу, виникають вільнорадикальні процеси, які швидко поширюються у внутрішніх тканинах. По суті це зводиться до передачі енергії, яка вивільняється на молекулярних мішенях верхнього шару зернівки або харчового продукту, у внутрішні тканини і, звичайно, змінюється сумарний енергетичний потенціал. Причому частина надлишкової енергії витрачається на фізико-хімічні перетворення, внаслідок яких змінюється структура клітинних мембран, окислювально-відновлювальний потенціал, іонна проникність та інші властивості клітини. Частина енергії перетворюється в тепло, що прискорює розвиток наступних процесів.

Якщо процес сушіння харчових продуктів в озono-повітряному середовищі спостерігати в мікроскоп, то можна чітко побачити, як накопичується міжклітинна вода і зменшуються контури клітин. Але ці пошкодження нестійкі і через декілька годин вони відновлюються.

Взаємодія озону з рослинним матеріалом спричиняє в ньому зменшення енергетичного рівня зв'язків вологи, а також вносить свою частку в інтенсифікацію тепломасообміну. Встановлено, що масообмінні процеси прискорюються за рахунок того, що підвищується вологовіддача матеріалу на основі біохімічних, фізико-хімічних процесів і збільшується вологоутримуюча здатність сушильного агента [65].

Озоно-повітряне сушіння також попереджує розвиток мікрофлори. Результативність дії озону на фітопатогенну мікрофлору, біохімічні процеси,



агротехнічні показники матеріалу та інші властивості залежить від обраного режиму обробки, а також від виду матеріалу. Концентрація озону  $10 \text{ мг/м}^3$  і вище дозволяє зменшити інтенсивність дихання зерна із самого початку процесу сушіння, чим перешкоджає розвитку процесу самозигрівання з послідовними позитивними ефектами: підвищенням збереження сухої речовини, наступанням більш глибокого стану спокою при зберіганні.

Озоно-повітряна суміш, яка використовується в якості сушильного агента впливає на поверхневу мікрофлору не тільки завдяки зниженню вологості, але і завдяки знезаражуючій дії озону, яка обумовлена його концентрацією і температурним режимом сушіння. Використовуючи озонований сушильний агент концентрацією  $8-10 \text{ мг/м}^3$  можна досягти зберігання і навіть покращення якісних показників. При цьому кількісний показник фітопатогенної мікрофлори зменшується, в порівнянні з тепловою у 2,2 рази. Також зменшується кількість пліснявих грибків і бактерій в залежності від концентрації озону та початкової зараженості. Плісняві гриби при концентрації  $10 \text{ мг/м}^3$  зникають на початку сушіння продуктів [66].

Слід зазначити, що при озоно-повітряному сушінні продуктів некротичні зміни в рослинному матеріалі практично відсутні. Після закінчення сушіння вже через 3-18 год відновлюються клітинні мембрани і пошкоджений покривний шар. Продукція, яка оброблена при концентраціях до  $40 \text{ мг/м}^3$ , не позбавляється своєї біологічної цінності. Вживання цієї продукції людиною не викликає в її організмі гістологічних і морфологічних змін.

Також використання озону позитивно впливає на процеси в самому насінні зерна. Умовно структура насіння представлена в роботі [67]. Ця структурна схема представляє із себе взаємозв'язок внутрішньої енергії насіння і енергії процесів, що відбуваються в ньому в періоди зберігання, сходів та росту.

Механізм збільшення енергопродуктивності за рахунок поглинання рослинами озоноповітряної суміші в даний час знаходиться в стадії вивчення.

У теоретичних дослідженнях ми виходимо з того, що насіння рослин володіє резервом енергії, яка акумулюється в поживних тканинах насіння, від її кількості залежить енерговміст врожаю. На ранніх етапах вона є живильним субстратом для насіння. У зерні пшениці, резервною енергією є ендосперм. Енергія для росту проростків звільняється при гідролізі вуглеводних запасів.

Вивільнення енергії з органічних сполук відбувається під впливом температури і вологості. Помістивши насіння в озоноповітряне середовище, ми створюємо сприятливі умови для вивільнення резервної енергії, тобто для гідролізу вуглеводного субстрату. Озон впливає на енергетичний запас, який акумулюється в поживних тканинах насіння. При нагріванні зволоженого насіння ми запускаємо механізм вивільнення енергії, тобто гідролізу вуглеводу. Енергія запасу витрачається на ріст і обмін речовин в біологічному організмі.

Після появи проростків, до повного розвитку рослини, її ріст і розвиток обумовлені потоком енергії з насіння. Енергія росту витрачається на формування та накопичення сухої речовини рослини, а також на перенесення продуктів, утворених в результаті фотосинтезу рослин. Енергія активного блоку розподіляється наступним чином: частина її йде на запас енергії (акумулюється в вуглеводи), частина утилізується. У процесі формування сухої речовини рослин частина енергії втрачається на процеси, пов'язані з диханням.

З динамічної моделі збільшення енергопродуктивності видно, що енергетичний потенціал рослини формується в процесі обробки насіння озоном, фотосинтезу, росту і розвитку рослини. Ріст є своєрідним біологічним двигуном і регулятором, що підсилює або послаблює процеси формування, обміну і пересування речовин в організмі. В життєвому циклі рослин виділяють два періоди: формування вегетативної сфери рослин (коренів, стебел, листя) і формування генеративної сфери (суцвіть, квіток і органів розмноження - плодів і насіння) [40].

Ріст рослин тісно пов'язаний з фізіологічними процесами: живленням,

фотосинтезом, водообміном тощо. На їх інтенсивність певним чином впливає озонування насіння перед проростанням. В літературі відсутні дані, що характеризують оптимальний режим впливу озону на зростання і врожай рослин.

При передпосівному впливі озону на насіння пшениці рослини відрізняються швидким ростом і до VIII-IX етапів органогенезу помітно перевищують рослини контрольного варіанту [68].

При передпосівному впливі озону формується не тільки велика листова площа, але і підвищуються темпи розвитку асиміляційної поверхні у порівнянні з рослинами контрольного варіанту. Отже, озон можна використовувати в якості фактора, що підвищує господарську повноцінність фотосинтезу. Підтвердженням цього служить більше накопичення сухих речовин при передпосівному впливі.

На ранніх етапах розвитку рослин різниця по накопиченню сухих речовин між дослідними і контрольними варіантами більше, ніж на пізніх. Так, різниця за цим показником може становити від 14 до 33% [68].

Ріст і розвиток рослин пов'язані один з одним, визначаються особливостями організму і знаходяться в тісній залежності від факторів середовища. За даними В.Н. Лисова [69], рослини кожної еколого-географічної групи (екогрупи) характеризуються певними кількісними ознаками, схильними до коливань, один з яких – висота головного стебла.

Чим вище адаптація у рослин, тим менше межі коливань показників росту по роках у сортів і зразків. Інтенсивність ростових процесів в значній мірі обумовлена кліматичними факторами, проте сорти і зразки різного географічного походження характеризуються власними темпами зростання і своєрідною реакцією. Інтенсивний приріст спостерігається починаючи з III-IV етапів органогенезу і триває до VII-VIII етапів, потім ростові процеси сповільнюються [68].

Знаючи, що вплив озону позитивно впливає на органогенез рослини і прискорює її розвиток можна припустити, що оброблене насіння буде більш

стійким до зміни навколишнього середовища, а отже адаптивна стійкість збільшиться.

Схожість насіння є одним з найважливіших показників продуктивності насіння і його якості. За схожості насіння можна прогнозувати майбутню врожайність. Тому важливою задачею є визначення впливу озоноповітряної суміші на схожість насінневого матеріалу. Можна припустити, що внутрішня енергія насіння є функцією від енергетичного балансу насіння:

$$Y = f(W), \quad (1.1)$$

де  $Y$  – схожість насіння досліджуваного виду;

$W$  – енергетичний баланс насіння.

У свою чергу енергетичний баланс рослини можна представити в наступному вигляді:

$$W = W_S + W_R + W_A - W_J - W_O, \quad (1.2)$$

де  $W_S$  – енергія, що переходить в запас поживних речовин, ккал/кг;

$W_R$  – енергія росту рослин, МДж/кг;

$W_A$  – енергія, спрямована на накопичення продуктів асиміляції, МДж/кг;

$W_J$  – енергія, що витрачається на формування сухої речовини, МДж/кг;

$W_O$  – енергія, пов'язана з диханням і обміном речовин, МДж/кг.

Енергетичний баланс насіння при впливі озоноповітряної суміші :

$$W' = W_{O_3} + W_S + W_R + W_A - W_J - W_O, \quad (1.3)$$

де  $W_{O_3}$  – енергія, що надходить в насіння за рахунок впливу озону, МДж/кг.

Розглянувши рівняння енергетичних балансів насіння, ми бачимо, що

вони відрізняються на величину  $W_{O_3}$ , отже, приріст схожості буде залежати від величини відношення цих складових:

$$Y' = f \left( \frac{W_{O_3} + W_S + W_R + W_A - W_J - W_O}{W_S + W_R + W_A - W_J - W_O} \right). \quad (1.4)$$

Даний приріст енергії можна пояснити наступним – насінню рослин, як і всьому живому, для підтримки життєвих функцій необхідно отримувати енергію. Даний приріст енергії можна розглянути як енергію, отриману в процесі утворення озону. У відомій праці С.В. Вербицької «Передпосівна обробка насіння квасолі озоном і магнітним полем» [70] наведено розрахунок енергії утворення озону в бар'єрному розряді. Відповідно до рівнянь, наведеними в роботі [68] енергія, що отримується, в процесі утворення озону буде визначатися за формулою:

$$W_{O_3} = \frac{I_n}{n_0} \cdot \frac{J}{e \cdot (n_+ \mu_+ + n_- \mu_- + n_e \mu_e)} \cdot \frac{\lambda}{\delta}, \quad (1.5)$$

де  $n_0$  – максимальна кількість пар протилежно заряджених частинок, що утворюються в одиниці об'єму;

$e$  – заряд електрона;

$\mu_e$  – рухливість електронів;

$n_+, n_-$  – щільності позитивних і негативних іонів;

$n_e$  – щільність електронів;

$\lambda$  – середня довжина вільного пробігу електронів в газі;

$\delta$  – коефіцієнт, що враховує частку енергії, яка віддається при зіткненні з часткою;

$J$  – щільність струму;

$I_n$  – номінальний струм генератора озону.

Дана формула містить невідомі змінні, що ускладнює розрахунок. У

зв'язку з цим необхідно використовувати інші способи визначення енергії утворення озону, наприклад проведення експерименту. Основну масу білка, більше 80% в зрілому зерні становлять спирторозчинні фракції – зеїн і лугорозчинні – глютелін. Ці білки є енергетичними запасами ендосперму поряд з крохмалем, якого в зерні понад 70%. Дані енергетичні запаси використовуються рослиною при проростанні насіння до виходу проростка на поверхню ґрунту. При посіві насіння у вологий, прогрітий ґрунт запасні енергетичні речовини розпадаються на більш прості елементи. Зеїн білка розкладається на вільні амінокислоти, крохмаль – на полісахариди, озон, впливаючи на насіння, провокує розпад запасних енергетичних речовин. Як показують лабораторні дослідження; насіння, оброблене озоном, проростає дружно з підвищеною енергією, що вказує на сильну дію озону, по ефективності аналогічну стимуляторам росту. Прискорюючи процеси розкладання складних білків і крохмалю на складові елементи, озон, будучи сильним окислювачем, одночасно діє як ефективний протруйник, що знищує інфекцію фузаріосу, сажкових грибів.

Озон пригнічує дихання насіння і, отже, оброблене насіння до посіву зберігає більший запас поживних речовин, ніж необроблене.

Однак, з огляду на складність проблеми, обґрунтована гіпотеза механізму сушіння зерна в озоні середовищі досі не розроблена і даний спосіб сушіння не отримав практичного застосування.

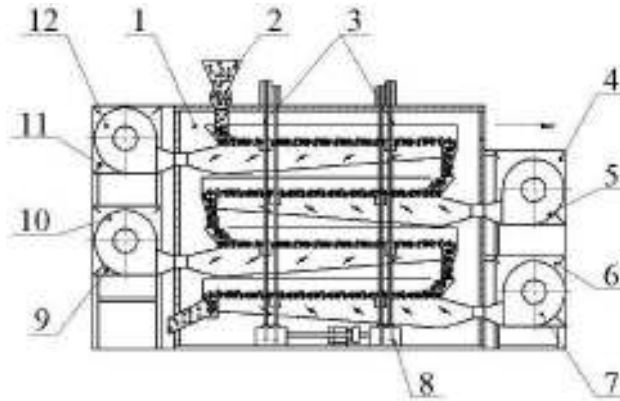
### **1.5 Огляд сушарок з вібраційним впливом на сировину**

Зернові сушарки за міжнародною класифікацією винаходів належать до класів F 26B 17/04-17/14; F 26B 5/16; F 26B 01/00.

Відома установка з віброкиплячим шаром для сушіння сільськогосподарської продукції АІ-КВО (рис. 1.12) [71].

Вона являє собою камеру, в якій знаходяться чотири сушільних

короба, розміщені один під іншим і попарно з'єднані вертикальними тягами, які пов'язані з ексцентриковим приводом і ресорами.



1 – сушильна камера; 2 – завантажувальний бункер; 3 – вертикальні тяги;  
4, 6, 9, 11 – парові калорифери; 5, 7, 10, 12 – вентилятори; 8 – ексцентриковий  
привод

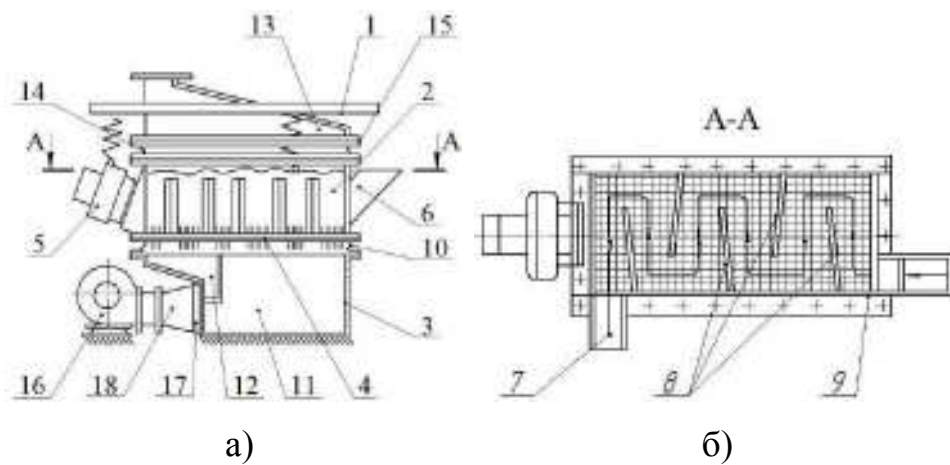
Рисунок 1.12 – Вібросушильна установка АІ-КВО

Пари коробів коливаються за допомогою ексцентриків, перемішуючи і просушуючи при цьому матеріал, що знаходиться в коробах, обдуваючи його сушильним агентом.

Недоліками вібросушильної установки АІ-КВО є складність конструкції, великі габаритні розміри та металоємність.

Відома сушарка для сипких матеріалів в віброкиплячому шарі (рис. 1.13) [72]. Вона являє собою сушильну камеру, з'єднану гнучкими елементами з напірною камерою. Вібросушарка виконана, як лабіринт, утворений ребрами, які встановлені перпендикулярно до газорозподільної решітки і в шаховому порядку відносно один одного. Матеріал на решеті піддається псевдорозрідженню і переміщується по лабіринту сушарки під дією коливань.

Для збільшення інтенсивності тепловіддачі теплообмінним поверхням нагріву надаються горизонтальні коливання двовальним вібратором спрямованої дії. При цьому поблизу поверхні створюються зони локального псевдорозрідження.



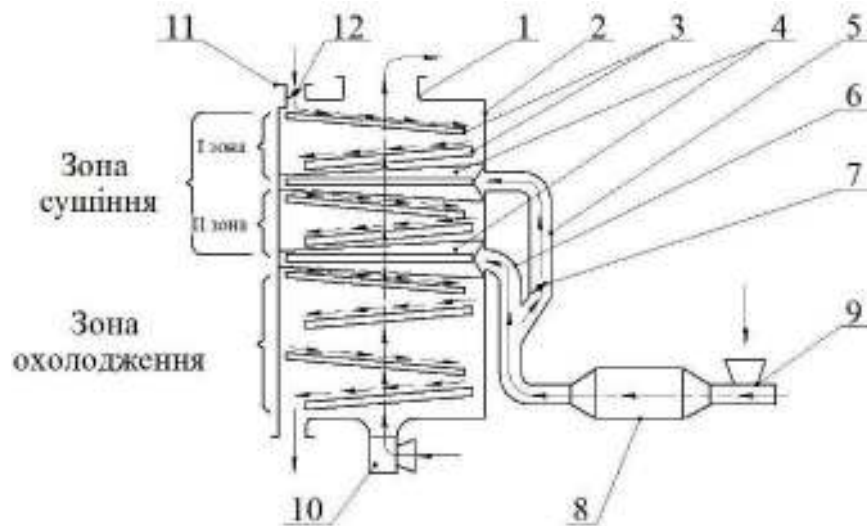
а – загальний вигляд вібросушарки; б – розріз сушильної камери; 1 – рама;  
 2, 3 – сушильна і напірна камери; 4 – газорозподільна решітка;  
 5 – віброприводи; 6, 7 – завантажувальний і розвантажувальний лотки;  
 8 – ребра; 9 – стінки камери; 10, 14 – гнучкі елементи; 11, 12 – секції подачі  
 теплоносія і подачі повітря; 13 – короб; 15 – пружний елемент;  
 16 – вентилятор; 17 – калорифер; 18 – система подачі повітря  
 Рисунок 1.13 – Установа для сушіння у віброкиплячому шарі

Недоліками установки для сушіння є складність експлуатації та обслуговування.

Багатоярусна вібраційна сушарка (рис. 1.14) забезпечує рівномірність нагріву продукції різної вологості і засміченості. Похилі лотки, розташовані один над іншим на спіральних пружинах всередині корпусу, за допомогою вертикальних штанг, кулачкового механізму і системи важеля здійснюють коливання у вертикальній площині. Частота коливань лотків становить в межах 6,5-16 Гц і регулюється зміною шківів на пасовій передачі приводу, а амплітуда в межах 4,5-10 мм - зміною ексцентриситету кулачків механізму.

Кожен лоток з трьох сторін обмежений гнучкими ущільненнями, які запобігають вихід сушильного агента і просипання продукції, яка потрапляє в завантажувальний бункер, потім по лотках проходить першу і другу зони з різною температурою теплоносія і потім направляється в зону охолодження і на вихід.



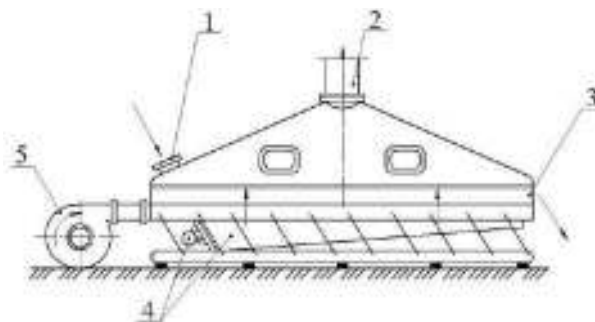


1 – патрубок; 2 – металевий секційний корпус прямокутного перерізу;  
 3 – похилі лотки; 4 – розподільні колектори; 5, 6 – трубопроводи;  
 7, 12 – заслінки; 8 – нагрівач; 9, 10 – вентилятори; 11 – завантажувальний бункер

Рисунок 1.14 – Багатоярусна вібраційна сушарка для сушіння продукції різної вологості і засміченості

Недоліками багатоярусної вібраційної сушарки є великі розміри та складність конструкції.

У сушарці (рис. 1.15) вібрації піддається потік, по якому переміщується віброкиплячий шар матеріалу, всі частинки якого інтенсивно рухаються, канали і конгломерати руйнуються, чим виключається налипання [73].



1 – завантажувальний отвір; 2 – витяжний канал; 3 – вихідний отвір;  
 4 – вібробуджувач; 5 – вентилятор

Рисунок 1.15 – Сушильний агрегат з коливним транспортером і киплячим шаром

Відома установка фірми «Петрі і Мак Наут» [51], що складається з двох ярусів для сушіння і охолодження зерна з похилими газорозподільними решітками з підпірними стінками для регулювання товщини зернового шару і швидкості його переміщення (рис. 1.16).

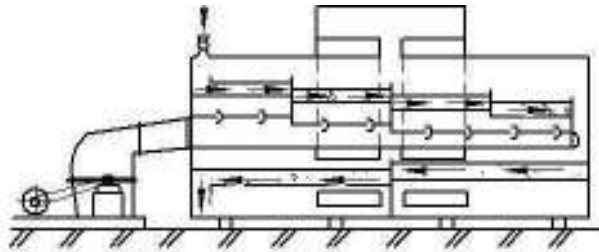


Рисунок 1.16 – Установка з киплячим шаром фірми «Петрі і Мак Наут»

Огляд існуючих сушарок з вібраційним впливом встановив їх основні недоліки, які полягають у складності конструкції, обслуговуванні, значних габаритних розмірах. Існуючі конструкції вібросушарок не дозволяють одночасно знезаражувати зернову сировину та призупиняти фізіолого-біохімічні процеси, які відбуваються в насініні під час зберігання [74-76].

Тому очевидна необхідність створення принципово нової конструкції вібраційної зернової сушарки, в якій у якості сушильного агенту буде використовуватись не просто підігріте повітря, а його суміш із озоном певної концентрації з метою комплексної обробки зернової сировини.

## 1.6 Висновки за 1 розділом

1. Проведений аналіз особливостей виконання післязбиральної обробки зернової сировини виявив складність і високі вимоги як до самого процесу, так і до сировини, що обробляється.

2. Огляд існуючих конструкцій серійних зернових сушарок дав змогу визначити недоліки сушильного обладнання, переважно пов'язані з неякісною обробкою зернової сировини, значними енерговитратами, складністю експлуатації, значною металоємністю та вартістю.

3. Грунтуючись на сучасному розвитку вібротехнологій і широкому впровадженні використання озону в різних галузях промисловості, було зазначено ефективність їх використання для сушіння зернової сировини у процесі післязбиральної обробки.

4. Розглянуті в роботі конструкції і технології не повністю вичерпують можливості використання вібрації і озону, хоча свідчать про доцільність їх застосування і поєднання не тільки в аграрному виробництві, а й у інших галузях з метою інтенсифікації процесів і отримання якісної продукції.

### Список використаних джерел до 1 розділу

1. Справочник по качеству зерна / Под ред. Г.П. Жемелы. – 3-е изд., перераб. и доп. Киев, 1988. 216 с.
2. Мерко І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса, 2001. 348 с.
3. Чижиков А.Г. Состояние и перспективы развития механизации послеуборочной обработки и хранения зерна и семян. *Достижения науки и техники АПК*. 2001. № 11. С. 17-20.
4. Сенчук С.Р. Кухарчук О.В., Сидорчук О.В. та ін. Державна технічна політика і розвиток аграрного виробництва. *Збірник наукових праць Національного аграрного університету «Механізація сільськогосподарського виробництва»*. Київ, 1999. Т. VI. С. 120-124.
5. Кирпа Н.Я. Развитие оборудования и технологий для первичной обработки, сушки и хранения зерна в хозяйствах АПК. *Хранение и переработка зерна*. Днепр, 2000. С. 24-27.
6. Маньківський А.Я., Скалецька Л.Ф., Подпретов Г.І. та ін. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Ніжин, 1999. 384 с.
7. Чурсінов Ю. Порівняльний огляд технічних засобів сушіння зерна. *Пропозиція*. Київ, 2006. С. 122-124.
8. Жемела Г.П. Технологія зберігання і переробки продукції

рослинництва. Полтава, 2003. 420 с.

9. Карпов Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна. Москва, 1987. 288 с.

10. Хранение зерна и зерновых продуктов / Пер. с англ. В.И. Дашевского, Г.А. Закладного; Предисл. Л.А. Трисвятского. Москва, 1978. 472 с.

11. Пунков С.П., Стародубцева А.И. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушение. Москва, 1990. 367 с.

12. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. Москва, 1985. 351 с.

13. Данильчук П.В. Довідник по зберіганню зерна. Київ, 1989. 96 с.

14. Саун В.А. Сушка и активное вентилирование зерна и зеленых кормов. Москва, 1974. 215 с.

15. Киреев М.В., Григорьев С.М., Ковальчук Ю.К. и др. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах. Ленинград, 1981. 224 с.

16. Сорочинський В.Ф. Послеуборочная обработка и хранение зерна. *Механізація і електрифікація сільського господарства*. Москва, 2003. С. 10-14.

17. Симбирский В.А., Машков Б.М., Батулин В.М. и др. Справочник по заготовкам и качеству зерна. Москва, 1985. 336 с.

18. Смирнова Т.А., Кострова Е.И. Микробиология зерна и продуктов его переработки. Москва, 1989. 160 с.

19. Шмат К.І., Диневич Г.Ю., Карманов В.В. та ін. Технологія і обладнання для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Херсон, 2001. 160 с.

20. Технологии послеуборочной обработки зерна. Днепр, 2003. URL: <http://www.apk-inform.com/ru/news/12189> (дата звернення: 02.03.2015).

21. Уваров А.М. Сушка зерна. Санкт-Петербург, 1987. 284 с.

22. Малин Н.И. Справочник по сушке зерна. Москва, 1986. 584 с.

23. Малин Н.И. Энергосберегающая сушка зерна. Москва, 2004. 240 с.

24. Братерский Ф.Д. Биохимические изменения в семенах в процессе сушки и хранения. Москва, 1979. 29 с.

25. Соседов Н.И., Шухнова Н.В. Пути улучшения технологических свойств пшеницы в процессе сушки. *Теория и техника сушки зерна*: Труды науч. конф. (Москва, 15-17 апреля 1969). Москва, 1970. С. 36-42.
26. Куц П.С., Смагина Т.В., Любошиц А.И. Механизм переноса влаги и растворимых веществ зерна пшеницы в процессе сушки. *Теория и техника сушки влажных продуктов*. Минск, 1979. С. 80-86.
27. Мельник Б.Е., Малин Н.И. Справочник по сушке и активному вентилированию зерна. Москва, 1980. 175 с.
28. Окнин Б.С., Горбачев И.В., Терехин А.А. и др. Машины для послеуборочной обработки зерна. Москва, 1987. 238 с.
29. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. Москва, 1980. 671 с.
30. Гержой А.П., Самочетов В.Ф. Зерносушение и зерносушилки. Москва, 1967. 412 с.
31. ГОСТ 28115-89. Аппараты и установки сушильные. Классификация. Москва, 1989. 24 с.
32. Алексеенко Н.Ф. Отечественное оборудование для хранения и сушки зерна. *Хранение и переработка зерна*. Днепр, 2005. С. 43-44.
33. Атоназевич В.И. Сушка зерна. Москва, 1989. 546 с.
34. Cook, Edward M., DuMont, Harman D. Process drying practice. New York etc, 1991. 256 p.
35. Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. и др. Зерносушение и зерносушилки. Москва, 1982. 239 с.
36. New Perspective for Energy farings in Agriculture. *D. Reidel Publishing Company*. 1986. P. 186-217.
37. Резчиков В.А., Дашевский В.И., Мышева Е.Д. и др. Применение солнечной энергии для сушки зерна. Москва, 1983. 48 с.
38. Грачева Л.И., Гембарский Е.Н., Смолянов М.А. и др. Энергосберегающие технологии с использованием нетрадиционных

источников энергии в сельском хозяйстве. Симферополь, 2001. С. 147-185.

39. Грачева Л.И. Использование нетрадиционных источников энергии для энерготеплоснабжения в сельском хозяйстве. Симферополь, 2003. 528 с.

40. Грачева Л.И., Груба Г.И. Способы и методы использования экологически чистой энергии. Симферополь, 2004. 728 с.

41. Грачева Л.И., Груба Г.И., Пробей-Голова В.Б. и др. Развитие солнечной энергетики в Украине. Симферополь, 2005. 764 с.

42. Технологические приемы и оборудование для обработки сои при производстве комбикормов. Одесса, 1984. С. 31-35.

43. Бернар О. Микронизация как простой способ переработки зерна с целью повышения его кормовой энергии. *Economie Agricole*. 1976, Vol. 30. № 1. P. 10-12.

44. Шаповаленко О.І., Шаран О.В. Вплив інфрачервоного сушіння на якість проростання зерна пшениці. *Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій*. Одеса, 2002. Вип. 24. С. 22-24.

45. О. Шаповаленко О.І. Мікрохвильова обробка пшеничних зародків і сушіння інфрачервоним випромінюванням. *Зерно і хліб*. Київ, 2000. № 4. С. 20-21.

46. Калинин Л.Г., Бошкова И.Л., Волгушева Н.В. Разработка микроволновых сушилок для зерна: Технология хранения. *Хранение и переработка зерна*. 2004. № 7. С. 34-35.

47. Кондратьев И.Н. Повышение качества зерна обработкой в СВЧ-поле. *Зерновое хозяйство*. Москва, 2003. № 3. С. 26-27.

48. Пахомов В.И. О сушке зерна с использованием СВЧ-энергии. *Перспективные направления совершенствования средств механизации в полеводстве*. Зерноград, 1985. С. 59-63.

49. Чижиков А.Г., Буянов Е.А., Рогов А.И. и др. Сушка зерна энергией микроволнового поля в вакууме. *НИИ ВИМ*. Москва, 1986. № 64. С. 33-36.

50. Севернев М.М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. Москва, 1992. 190 с.

51. Авдеев А.В. Основные конструкции зерносушилок и тенденции их развития. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1998. № 11. С. 31-34.
52. Баум А.Е. Сушка зерна. Москва, 1983. 223 с.
53. Цивцивадзе Г.В. Установки для сушки зернистых пищевых продуктов в виброразрыхленном слое. *Тепло- и массоперенос в процессах сушки и термодинамики*. Минск, 1970. № 131. С. 196-203.
54. Самочетов В.Ф., Джорогян Г.А. Зерносушение. Москва, 1970. 349 с.
55. Членов В.А., Н.В. Михайлов Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое. Москва, 1967. 224 с.
56. Сайко А.П. Исследование процесса вибрационной сушки свежескошенной массы люцерны при конвективном подводе тепла : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 1980. 16 с.
57. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка в кипящем слое. Теория, конструкция, расчет. Санкт-Петербург, 1964. 288 с.
58. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Москва, 1972. 320 с.
59. Гельперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдооживления. Москва, 1967. 668 с.
60. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2017. № 2 (97). С. 99-104.
61. Принцип роботи модульних (колонкових) зерносушарок «Сапфір». Мала Виска, 2015. URL: [http://www.mzeo.com.ua/?page\\_id=13](http://www.mzeo.com.ua/?page_id=13) (дата звернення: 22.06.2016).
62. Зерносушарки Perry. Воронеж, 2017. URL: [http://www.agrotehholding.agronationale.ru/goods/zernosushilki\\_perry-173615.html](http://www.agrotehholding.agronationale.ru/goods/zernosushilki_perry-173615.html) (дата звернення: 25.06.2016).
63. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В., Герасимов А.А. Особенности процесса и оборудования для сушки зернового сырья с использованием озона. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin-Rzeszov, 2016. Vol. 18. № 4. С. 37-45.

64. Голубкович А.В., Чижиков А.Г. Сушка высоковлажных семян и зерна. Москва, 1991. 174 с.
65. Троцкая Т.П. Сушка зерна с помощью озонозвоздушной смеси. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. Москва, 1985. № 1. С. 36-39.
66. Ксенз Н.В., Попандопуло К.Х., Сидорцов И.Г. Повышение качества зерна на основе использования озонозвоздушных смесей. *Вестник аграрной науки Дона*. Зерноград, 2009. № 4. С. 64-73.
67. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва, 1985. 57с.
68. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва, 1985. 35 с.
69. Лысов В.Н. Просо. Санкт-Петербург, 1968. 244 с.
70. Вербицкая С.В. Предпосевная обработка семян фасоли магнитным полем и озоном: дис. ... канд. техн. наук. КубГАУ. Краснодар, 2001. 133 с.
71. Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. Озонування як перспективний спосіб обробки зернової сировини. *Зб. наук. пр. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого*. Дослідницьке, 2017. № 21 (35). С. 307-312.
72. Кац З.А., Рысин А.П. Сушка пищевых продуктов в виброкипящем слое. Москва, 1965. 44 с.
73. Куцакова В.Е., Богатырев А.Н. Интенсификация теплообмена при сушке пищевых продуктов. Москва, 1987. 236 с.
74. Паламарчук І.П., Цуркан О.В., Присяжнюк Д.В. та ін. Обґрунтування схеми віброозонуючої сушарки для післязбиральної обробки. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. Київ, 2016. № 6. С. 151-156.
75. Цуркан О.В., Герасимов О.О., Коломієць О.С. та ін. Перспективи використання озону в післязбиральній обробці зерна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2016. № 3 (95). С. 80-84.
76. Присяжнюк Д.В. Озон як рушійний фактор для видалення зв'язаної вологи із зернової сировини. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2018. № 2 (89). С. 94-97.



## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІБРООЗОНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ

#### 2.1. Фактори, від яких залежать енергетична і технологічна ефективність процесу сушіння зерна в зерносушарках

При вирішенні задач, які пов'язані із підвищенням енергетичного удосконалення сушильних установок, необхідно визначати кількісні показники, які називають критеріями ефективності або характеристиками цілі [1, 2].

Важливим показником енергетичного (теплого) удосконалення зерносушарок прийнято термічний коефіцієнт корисної дії, що являє собою відношення корисно використаної теплоти ( $q_k$ ) до всієї теплоти ( $q_3$ ), яку витрачено на процес зневоложення:

$$\eta_T = \frac{q_k}{q_3}. \quad (2.1)$$

Витрачена теплота в розрахунку на один кілограм сухого повітря, що нагрівається в теплогенераторі або топковому блоці, визначається співвідношенням [3]:

$$q_3 = c_p(t_1 - t_0), \quad (2.2)$$

де  $c_p$  – питома теплоємність повітря, Дж/(кг · К);

$t_1$  – температура сушильного агента на вході в зерносушарку, К;

$t_0$  – температура повітря, яке подається в теплогенератор, К.

Теплота, яка витрачена на випаровування вологи, віднесена до

кілограма нагрітого повітря (сухого), визначається за формулою [4]:

$$q_k = \frac{r(d_2 - d_1)}{1000}, \quad (2.3)$$

де  $d_1, d_2$  – вологовміст сушильного агенту на вході і виході сушарки, кг/м<sup>3</sup>.

Тоді:

$$\eta_T = r \frac{d_2 - d_1}{c_p(t_1 - t_0) \cdot \rho_{CA}} 10^{-3}, \quad (2.4)$$

де  $\rho_{CA}$  – густина сушильного агенту, кг/м<sup>3</sup>.

Найбільший коефіцієнт корисної дії зернової сушарки можна досягти при максимальній різниці вологовмісту сушильного агенту на вході і виході зерносушарки, тобто коли вологовміст сушильного агенту на виході із сушарки досягне насичення  $d_2 = d_m$  (відносна вологість тоді становитиме 100%), а температура сушильного агенту на виході –  $t_2 = t_m$ .

При сушінні із використанням конвективного методу [1]:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0}, \quad (2.5)$$

де  $t_2$  – температура сушильного агенту на виході із зернової сушарки.

У даному виразі корисною тепловою енергією є вся теплота, яка виділяється енергоносієм в зерновій сушарці.

Отже:

$$\eta_{\max} = (t_1 - t_m) / (t_1 - t_0), \quad (2.6)$$

де  $t_m$  – температура вологого термометра, °С.

Ступінь впливу початкової  $t_1$  і кінцевої  $t_2$  температури сушильного агенту на енергетичну ефективність процесу сушіння неоднозначна.

Відповідно до співвідношення (2.5) ККД збільшується при підвищенні  $t_1$ , оскільки при цьому має збільшуватись швидкість сушіння і відповідно зменшуватись  $t_2$ . Однак, дослідження [4, 5] показують, що підвищення швидкості сушіння супроводжується підвищенням інтенсивності нагріву зерна. В результаті цього співвідношення між витратами теплоти на нагрівання зерна, яка втрачається в навколишнє середовище, та фізичною теплотою зерна, що надходить до сушарки, зростає. При цьому зменшується ступінь насичення сушильного агенту [6].

Енергетичну ефективність сушильного процесу можна оцінити більш загальним (для всіх сушарок) показником – питомими витратами енергії на одиницю (1 кг) випаруваної вологи або висушеного зерна, що може бути кількісно оцінено за допомогою співвідношення [7]:

$$q_0 = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_0)}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}} = \frac{I_1 - I_0}{(d_2 - d_1) \cdot 10^{-3}}, \quad (2.7)$$

де  $I_1, I_0$  – ентальпія сушильного агенту на вході до сушарки і на вході до теплогенератора відповідно.

Величина  $\Delta d = d_2 - d_1$  в знаменнику (2.7) визначає кількість випаруваної вологи, яка з урахуванням того, що процес сушіння відрізняється від ізобарного, може бути відповідно до [7] визначена із співвідношення:

$$\Delta d = \frac{c_p \cdot (t_1 - t_2) - \sum Q_{\text{втр}}}{3,01 + 5,51 \cdot (t_1 + t_2 + 546) \cdot 10^{-5} + r_1}, \quad (2.8)$$

де  $r_1$  – теплота, яку сприйняла волога (1кг) в сушарці;

$\sum Q_{\text{втр}}$  – теплові втрати, віднесені до 1 кг випаруваної вологи.

Кількість випаруваної вологи в процесі сушіння можна визначити

також і з балансного рівняння:

$$L \cdot \rho_{CA} \cdot \Delta d = G_0 \frac{dU}{dt}, \quad (2.9)$$

де  $\frac{dU}{dt}$  – швидкість зневоднення зерна, кг/год;

$G_0$  – продуктивність сушарки по абсолютно сухому зерні, кг/год;

$L$  – витрати сушильного агенту, м<sup>3</sup>/год.

Визначаючи  $\Delta d$  з (2.9) і порівнюючи з (2.8), отримаємо для «теоретичної сушарки» ( $\sum Q_{втр} = 0$ ):

$$t_1 - t_2 = \frac{G_0}{L\rho} \cdot \frac{dU}{d\tau} 10^{-3} \cdot \frac{1}{c_p} \cdot f(t, r). \quad (2.10)$$

Підставляючи значення (2.10) в (2.5), отримаємо:

$$\eta = \frac{G_0 \cdot \frac{dU}{d\tau} 10^{-3} \cdot f(t, r)}{L \cdot \rho_{CA} \cdot c_p \cdot (t_1 - t_0)}. \quad (2.11)$$

Враховуючи, що  $L = S \cdot V_{CA}$ , остаточно отримаємо залежність для ККД зерносушарки:

$$\eta = \frac{G_0 \cdot I \cdot f(t, r) 10^{-3}}{S \cdot V_{CA} \cdot \rho_{CA} \cdot c_p (t_1 - t_0)}, \quad (2.12)$$

де  $I = \frac{dU}{dt}$  – швидкість зневоднення зерна, кг/год;

$f(t, r)$  – питомі затрати тепла:

$$f(t, r) = \frac{r}{G}, \quad (2.13)$$

де  $G$  – продуктивність по вологому зерну, кг/год.

$V_{CA}$  – швидкість сушильного агенту в сушарці, м/с.

Таким чином, енергетична ефективність зерносушарки загалом залежить від режимних параметрів сушильного процесу: температури сушильного агенту, його швидкості, інтенсивності видалення вологи і експозиції сушіння. Два останні показники залежать від виду зерна і його вологості, а також способу сушіння, конструкції сушарки тощо.

Рішення проблеми зниження енергоємності та підвищення якості виконання технологічного процесу сушіння зерна може бути здійснено за рахунок пошуку нових методів та напрямків вдосконалення технології сушіння як в існуючих, так і в розроблюваних зерносушарках, і, зокрема, використанням раціональних регламентів і режимів сушіння.

Підвищення технологічної ефективності сушіння зерна має своїм основним завданням збільшення величини показників призначення сушильного обладнання, а саме – продуктивності зерносушарки і якісних показників готового продукту.

Перспективними напрямками при вирішенні задач інтенсифікації видалення вологи із зерна з одночасним зниженням питомих витрат енергії на його реалізацію та підвищенням якості зернового матеріалу є застосування вібраційних сушарок, в яких в якості сушильного агенту виступає суміш підігрітого повітря і озону певної концентрації. В даних сушильних установках зерно, що висушується, піддається вібраційному впливу, що забезпечує постійне оновлення поверхні матеріалу, який висушується, інтенсифікуючи в свою чергу процес сушіння та підвищуючи якість обробки. А озоноповітряна суміш в якості сушильного агенту виступає рушійним фактором для видалення як вільної, так і зв'язаної вологи, яка міститься в зерновому матеріалі.

Для більш повного використання переваг вібраційних та озонуючих технологій в зерносушінні необхідна більш докладна інформація про їх вплив на параметри сушильного процесу, енергетичні і технологічні показники, які можна отримати методом математичного моделювання.

## 2.2 Математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу

Як відомо, вплив озону при обробці насіння сільськогосподарських культур залежить від характеру розподілу та поглинання озону по всьому об'ємові матеріалу, що обробляється [8].

При пропусканні через шар зернової сировини озоноповітряної суміші, частина озону буде поглинатися, у зв'язку з чим вміст озону зменшиться, відповідно частина зерна може бути необроблена при заданій концентрації озону.

Тому для достовірного визначення впливу озоноповітряної суміші на обробку зерна потрібно виявити закономірності поглинання озону зерном.

Швидкість поглинання озону зерновою сировиною з озоноповітряної суміші визначається сорбуючою активністю зерна та значенням концентрації озону.

Цю залежність можна описати рівнянням виду [8]:

$$\frac{dC}{dt} = -K_c \cdot C \cdot S_z, \quad (2.14)$$

де  $C$  – концентрація озону, мг/м<sup>3</sup>;

$K_c$  – коефіцієнт, який показує швидкість розповсюдження концентрації озону в шарі зерна по глибині, 1/м<sup>2</sup>·с;

$S_z$  – площа зернової маси, м<sup>2</sup>.

Для визначення константи швидкості поглинання озону через шар насіння пропускалась озоноповітряна суміш з визначеними параметрами ( $V_{CA}$ ,  $V$ ,  $S_z$ ,  $C$ ) та через певні проміжки часу вимірювалась концентрація озону на вході та виході шару зерна.

При початкових умовах:  $t = 0$ ;  $C = C_0$  зміна концентрації озону в

озоноповітряній суміші може бути описана рівнянням:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{S_3}{V} [V_{CA} (C_0 - C) - K_c CV], \quad (2.15)$$

де  $V_{CA}$  – швидкість подачі сушильного агенту, насиченого озоном, м/с;  
 $V$  – об'єм оброблюваного зерна, м<sup>3</sup>;  
 $C_0$  – концентрація озону на вході, мг/м<sup>3</sup>;  
 $C$  – концентрація озону на виході, мг/м<sup>3</sup>.

Розв'язок рівняння (2.15) має вигляд:

$$C = \frac{C_0 \cdot V_{CA}}{V_{CA} + K_c \cdot S_3 \cdot V} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{V_{CA} + K_c \cdot S_3 \cdot V}{V} \cdot t\right) \right]. \quad (2.16)$$

З рівняння (2.16) при відомих параметрах  $V_{CA}$ ,  $V$ ,  $S_3$ ,  $C$  можна визначити величину константи швидкості поглинання озону зерном. Оскільки рівняння (2.15) є трансцендентним відносно  $K_c$  і його рішення в елементарних функціях не може бути отримано, тому величину  $K_c$  можна знайти за рівнянням (2.16) методом ітерації за допомогою ЕВМ.

При продуванні озоноповітряною сумішшю шару зерна деякої товщини відбувається поглинання озону.

Математичний опис розповсюдження озону по глибині шару зерна може бути оснований на прикладі руху озоноповітряного потоку в вигляді плоского фронту. Рівняння розповсюдження озону матиме вигляд:

$$\frac{dC}{dX} = \frac{K_c \cdot S(a) \cdot C}{V_{CA}}, \quad (2.17)$$

Коефіцієнт  $S(a)$  площі взаємодії поверхні насінини з озоном можна збільшити в результаті розрихлення шару зерна за рахунок використання вібраційного впливу на оброблювану сировину. Стан розрихлення шару зернової сировини в свою чергу залежатиме від інтенсивності коливання

сушильної камери, а саме від її віброприскорення  $a$ .

Коефіцієнт  $S(a)$  площі взаємодії поверхні насінини з озоном:

$$S(a) = n \exp\left(-\frac{m}{a}\right), \quad (2.18)$$

де  $n, m$  – емпіричні коефіцієнти, які залежать від параметрів процесу.

Прийmemo, що константа швидкості поглинання озону насінням в уставленому режимі змінюється по експоненті та може бути описана відношенням:

$$K_c = -K_0 \cdot \exp[-\beta C], \quad (2.19)$$

де  $K_0$  – величина константи швидкості поглинання озону насінням при концентрації озону, рівній нулю;

$\beta$  – константа, що характеризує залежність швидкості поглинання озону від його концентрації.

Тоді рівняння (2.15) з урахуванням (2.16) можна записати:

$$\int_{C_{вх}}^{C_{вих}} \frac{e^{\beta C}}{C} \cdot dC = -\frac{K_0 h}{V_{CA}} \int_0^h n \exp\left(-\frac{m}{a}\right) dX, \quad (2.20)$$

де  $C_{вх}, C_{вих}$  – концентрація озону в газовій суміші на вході та виході шару насіння, мг/м<sup>3</sup>;

$h$  – товщина шару насіння, м.

Розв'язок рівняння (2.20) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \int_{C_{вх}}^{C_{вих}} \frac{e^{\beta C}}{C} \cdot dC &= \int_{C_{вх}}^{C_{вих}} \frac{1}{C} \left(1 + \frac{\beta C}{1} + \frac{\beta^2 C^2}{2} + \frac{\beta^3 C^3}{6}\right) = \ln|C| \Big|_{C_{вх}}^{C_{вих}} + \beta C \Big|_{C_{вх}}^{C_{вих}} + \\ &+ \frac{\beta^2 C^3}{6} \Big|_{C_{вх}}^{C_{вих}} + \frac{\beta^3 C^4}{24} \Big|_{C_{вх}}^{C_{вих}} = \ln C_{вих} - \ln C_{вх} - C_k C_{вх} + b(C_{вих} - C_{вх}) + \\ &+ \frac{\beta^2}{6} \cdot (C_{вих}^3 - C_{вх}^3) + \frac{\beta^3}{24} \cdot (C_{вих}^4 - C_{вх}^4); \end{aligned} \quad (2.21)$$



$$\frac{K_0}{V_{CA}} \int_0^h n \exp\left(-\frac{m}{a}\right) dX = \frac{K_0}{V_{CA}} \cdot n \exp\left(-\frac{m}{a}\right) \cdot h . \quad (2.22)$$

З лівої частини рівняння (2.22) беремо перші два члена, тоді:

$$\ln \frac{C_{вих}}{C_{вх}} = -\frac{1}{V_{CA}} K_0 \cdot n \exp\left(-\frac{m}{a}\right) \cdot h . \quad (2.23)$$

З цього слідує, що:

$$C_{вих} = C_{вх} \cdot \exp\left[-\frac{K_0}{V_{CA}} \cdot n \exp\left(-\frac{m}{a}\right) \cdot h\right] . \quad (2.24)$$

Необхідну продуктивність озонатора визначимо із співвідношення:

$$\Phi = N_v \cdot C_{вих} , \quad (2.25)$$

де  $N_v$  – продуктивність вентиляційної установки, м<sup>3</sup>/год;

$C_{вих}$  – концентрація озону на виході в шарі насіння, мг/м<sup>3</sup>.

Відповідно, концентрація озонірованої суміші на вході в сушильну камеру з зерном, що обробляється, визначається як:

$$C_{вх} = \frac{C_{вих}}{\exp\left[-\frac{K_0}{V_{CA}} \cdot n \exp\left(-\frac{m}{a}\right) \cdot h\right]} . \quad (2.26)$$

Швидкість сушильного агенту, насиченого озоном:

$$V_{CA} = \sqrt{\frac{2Rd}{\lambda\rho}} , \quad (2.27)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору тертя;

$\rho$  – щільність озонірованої суміші, що переміщується, кг/м<sup>3</sup>;

$d$  – діаметр отвору, м;

$R$  – опір шару зерна, що визначається його морфологічними

властивостями, Па.

Відповідно:

$$C_{\text{вх}} = \frac{C_{\text{вих}}}{\exp\left[-\frac{K_0 \cdot n \exp\left(-\frac{m}{a}\right) \cdot h}{\sqrt{\frac{2R \cdot d}{\lambda \rho}}}\right]} = \frac{C_{\text{вих}}}{\exp\left[-\frac{K_0 \cdot L_0 \cdot h \cdot \lambda \cdot \rho}{\sqrt[4]{\frac{n \exp\left(-\frac{m}{a}\right)}{\pi}}} \cdot \frac{1}{R}\right]} \quad (2.28)$$

Згідно рівняння для опору шару зерна:

$$C_{\text{вх}} = \frac{C_{\text{вих}}}{\exp\left[-\frac{K_0 \cdot L_0 \cdot \lambda \cdot \rho}{19,62 A \cdot V_{CA}^n \cdot d}\right]} = \frac{C_{\text{вих}}}{\exp\left[-\frac{K_0 \cdot L_0 \cdot \lambda \cdot \rho}{39,24 \cdot \sqrt[4]{\frac{n \exp\left(-\frac{m}{a}\right)}{\pi}}} \cdot \frac{1}{A \cdot V_{CA}^n}\right]} \quad (2.29)$$

де  $A$  та  $n$  – коефіцієнти, що залежать від морфологічних властивостей зерна.

Продуктивність генератора озону:

$$\Phi = N_v \frac{C_{\text{вих}}}{\exp\left[-\frac{K_0 \cdot L_0 \cdot h \cdot \lambda \cdot \rho}{2R \cdot d}\right]} = N_v \frac{C_{\text{вих}}}{\exp\left[-\frac{K_0 \cdot L_0 \cdot h \cdot \lambda \cdot \rho}{\sqrt[4]{\frac{n \exp\left(-\frac{m}{a}\right)}{\pi}}} \cdot \frac{1}{R}\right]} \quad (2.30)$$

З урахуванням зниження продуктивності електроозонуючого пристрою при збільшенні температури та вологості повітря:

$$\Phi = K_{t\varphi} \left( N_v \frac{C_{вих}}{\exp \left[ -\frac{K_0 \cdot L_0 \cdot h \cdot \lambda \cdot \rho}{2R \cdot d} \right]} \right) = K_{t\varphi} N_v \frac{C_{вих}}{\exp \left[ -\frac{K_0 \cdot L_0 \cdot h \cdot \lambda \cdot \rho}{2R \cdot d} \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{n \exp \left( -\frac{m}{a} \right)}{\pi}}} \right]} \quad (2.31)$$

де  $K_{t\varphi}$  – емпіричний коефіцієнт, який враховує зниження продуктивності від вологості та температури повітря.

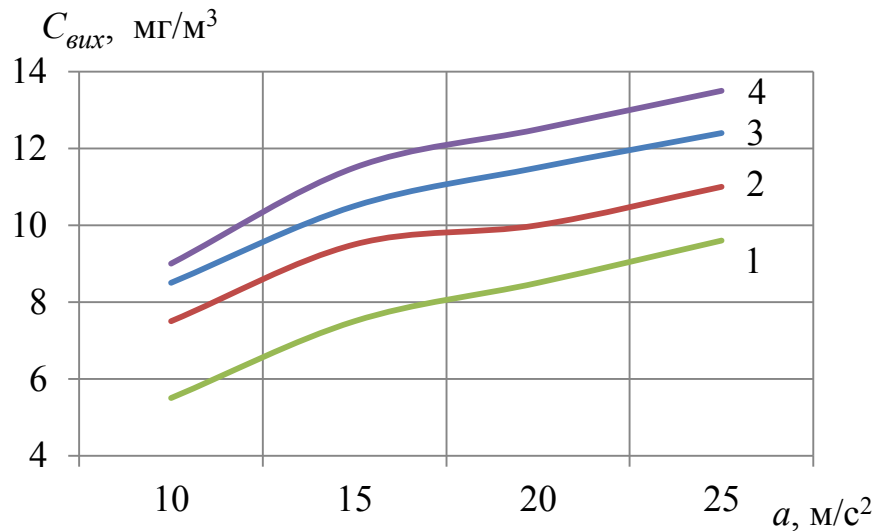
Згідно досліджень:

$$K_{t\varphi} = (1 - 0,0077t - 0,008\varphi), \quad (2.32)$$

де  $t$  – температура повітряного потоку, °С;

$\varphi$  – вологість повітря, %.

Знаючи значення константи швидкості поглинання озону, можна визначити відношення між концентрацією озону в газовій суміші на виході шару насіння за різних віброприскореннях сушильної камери при технологічному завантаженні 75 % від повного об'єму та необхідною швидкістю сушильного агенту, насиченого озону (рис. 2.1).



1 – при швидкості руху сушильного агента  $V_{CA} = 0,5$  м/с; 2 – при швидкості руху сушильного агента  $V_{CA} = 1,5$  м/с; 3 – при швидкості руху сушильного агента  $V_{CA} = 2,5$  м/с; 4 – при швидкості руху сушильного агента  $V_{CA} = 3,5$  м/с

Рисунок 2.1 – Теоретична залежність концентрації озону  $C_{вих}$  в озоніповітряній суміші від віброприскорення сушильної камери  $a$

Отримані графічні та теоретичні залежності вперше дають змогу визначати продуктивність озонатора та інтенсивність розподілу концентрації озону по глибині шару під дією вібраційного впливу в залежності від віброприскорення сушильної камери та швидкості руху сушильного агента.

## 2.3 Основні параметри віброозонуючого комплексу

### 2.3.1 Кінематичні, силові та енергетичні параметри вібрації

Для отримання необхідного віброзваженого стану зернової сировини, яка піддається сушінню, потрібно провести аналіз особливостей різних типів коливних систем.

Автоколивання виникають в результаті компенсації внаслідок дисипації витрат енергії коливної системи автоматичним постачанням енергії від неколивного джерела за рахунок самої системи. В автоколивних

системах, які містять м'яке самозбудження, стан рівноваги нестійкий і порушується самовільно, без втручання зовнішніх факторів. Для подібних систем із жорстким самозбудженням приведення в рух із стану рівноваги здійснюється лише за рахунок зовнішнього джерела. При цьому, спеціальний пристрій після відключення джерела енергії призводить до зупинки системи в положенні, яке знаходиться всередині області нестійкості. Це викликає спонтанне виникнення коливального руху при послідуєчому ввімкненні.

Автоколивальні системи є ефективними при малих розсіюваннях енергії, оскільки при цьому досить легко досягаються автоколивання, які близькі за формою і частотою до однієї із власних форм та частот вібрації. У випадку неколивної системи вище описана можливість є відсутньою, але поширюються можливості керування параметрами вібрації. Автоколивання відрізняються від вільних коливань неможливістю затухання, а від вимушених та параметричних (характер дії яких в обох випадках заданий) – властивістю самозбудження, при якому процес коливань керується самими коливаннями.

Вимушені коливання виникають при дії на систему протягом усього вібраційного процесу певних зовнішніх змушуючих сил, параметри яких періодично змінюються. Дані коливання відбуваються з частотою змушуючої сили та підтримуються за рахунок постійного надходження енергії ззовні. Переважна кількість сучасних вібраційних машин працює в режимах вимушених коливань, що дозволяє варіювати амплітудним та фазовим спектрами вібрації у широкому діапазоні. За рахунок цього вібраційне обладнання може працювати в режимі звичайного резонансу; в режимі супергармонійного резонансу; в режимі комбінаційного резонансу; у субгармонійному режимі.

При цьому змушуюча дія віброзбуджувача викликає створення незрівноваженої коливної системи. Віброзбуджувач може створювати дві змушуючі дії: силу  $P$  та момент  $M$ .

В залежності від вимог технологічного процесу змушуюча дія на

робочий орган вібраційної машини може бути одно-, дво- і тривимірною; в залежності від характеру та спрямованості дії – коловою, еліптичною, спрямованою [9].

У випадку спрямованої вібрації вектор силового параметра має незмінний напрямок та коливальний модуль. У разі колової вібрації вектор силового параметра рівномірно обертається, але має незмінний модуль. При цьому спрямований або коловий силовий параметр не завжди викликають відповідно спрямовану або колову вібрацію точок робочого органу.

Еліптичну змушуючу дію можна отримати за рахунок додавання дій спрямованих та колових силових параметрів вібрації. Колова змушуюча сила може бути створена в результаті комбінації дій двох спрямованих синхронних компланарних сил одного модуля, які синусоїдально коливаються. У випадках, коли модулі різні або різниця фаз не дорівнює куту між напрямками сил, результатом складання буде еліптична сила, або (у частковому випадку синфазності даних сил) спрямована сила, що синфазна своїм складовим. Підбираючи спрямовані синфазні та синусоїдально коливні сили, що спільно діють на робочі органи вібраційних машин, можна одержати будь-які плоскі та просторові силові параметри вібрації: сили і моменти, або комбінацію сил та моментів. Це в свою чергу дозволяє майже необмежено варіювати траєкторію руху робочих органів та значно розширити спектр технологічного використання вібраційних машин [9].

Силове збудження коливань обумовлюється дією на систему силових параметрів вібрації, які не залежать від координат стану коливальної системи та їх похідних. Кінематичне збудження коливань здійснюється за рахунок надання деяким точкам чи тілам системи певних переміщень, тобто при зміні певних кінематичних параметрів вібрації коливальної системи, які не залежать від координат стану та їх похідних.

Самозбудження коливань відбувається в певних нелінійних автономних динамічних системах при постачанні енергії від неколивального джерела. Комбіноване віброзбудження виникає при певній комбінації розглянутих вище способів збудження коливань, наприклад, для різних

режимів роботи вібраційної машини чи особливостей їх конструктивних схем.

В експериментальному віброозонуючому комплексі з метою забезпечення простого регулювання параметрами вібрації був використаний дебалансний механізм для створення необхідної коливної системи.

До основних енергетичних параметрів вібрації можна віднести роботу змушуючих сил або моментів та внутрішніх сил опору коливної системи. Робота зовнішніх сил створюється за рахунок віброзбуджувача та витрачається на подолання сил опору системи і забезпечення коливного руху робочих органів вібраційної машини за заданими параметрами. Внутрішніми силами опору коливної системи є сили реактивного та дисипативного опору [9].

Крім того, частина енергії, що надходить від зовнішнього джерела, витрачається, як правило, в різних проміжних передачах, в самому електродвигуні та в інших пристроях та механізмах вібраційної машини. Втрати енергії в механічних передачах залежать від конструктивних схем вібраційних машин та визначаються в результаті кінематичних розрахунків.

Втрати енергії в електродвигуні складаються із втрат в статорі і роторі. Енергія у статорі витрачається на перемагнічування, на вихровий струм у магнітопроводі статора та на нагрівання струмом обмотки статора. В роторі енергія витрачається на нагрівання обмотки та в магнітопроводі. Витрати енергії на нагрівання обмоток статора і ротора залежать від величини струму, яка визначається корисною потужністю, яка необхідна для приводу вібраційної машини. Корисна потужність може бути знайдена із енергетичного балансу коливальної системи (рис. 2.2) [9].

Рівняння балансу потужності знаходиться за формулою:

$$N_k = N_0 - [N_{\text{вс}} + N_{\text{ер}} + N_{\text{мех}} + N_{\text{дод}}], \quad (2.33)$$

де  $N_0$  – потужність, що поступає із електромережі, кВт;

$N_{\text{вс}}, N_{\text{ер}}$  – втрати потужності в статорі та роторі, кВт;

$N_{\text{мех}}$  – механічні втрати енергії, кВт;

$N_{\text{доо}} = 0,005N_0$  – додаткові витрати енергії, кВт.

Потужність, що поступає із електромережі до електродвигуна:

$$N_0 = 3U \cdot I \cdot \cos\psi, \quad (2.34)$$

де  $U$  – величина напруги, В;

$I$  – сила струму, А;

$\cos\psi$  – коефіцієнт потужності.

Коефіцієнт потужності залежить від коефіцієнту завантаження і двигуна. Для асинхронних електродвигунів можна прийняти на холостому ході  $\cos\psi_x = 0,1-0,25$ , при номінальному завантаженні  $\cos\psi_n = 0,75-0,93$ .

Коефіцієнт завантаження:

$$\beta = \frac{M_{\text{оп}}}{M_{\text{кр}}}, \quad (2.35)$$

де  $M_{\text{оп}}$  – момент опору системи, Нм;

$M_{\text{кр}}$  – крутний момент на валу електродвигуна, Нм.





Рисунок 2.2 – Енергетичний баланс коливної системи

Коефіцієнт корисної дії (ККД) віброприводу також залежить від коефіцієнта завантаження та може виражатись у вигляді:

$$\eta = \frac{N_k}{N}. \quad (2.36)$$

Номінальне значення ККД відповідає коефіцієнту завантаження  $\beta = 1$ .

Отже, серед основних енергетичних параметрів вібрації можна виділити складові енергетичного балансу, роботу внутрішніх та зовнішніх

сил коливної системи, питомі енергетичні характеристики, які віднесені до одиниці коливної маси віброприводу та до одиниці маси продукції [9].

При експлуатації віброустановки в опорних вузлах приводного валу виникають сили тертя, які призводять до втрат енергії внаслідок великих навантажень на підшипникові вузли. Сила тертя визначається із залежності:

$$F_{mp} = fF, \quad (2.37)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя в підшипниках,  $f = 0,005-0,008$  [10, 11].

При цьому величину сил тертя можна представити як:

$$N_{mp} = M_{mp} \omega_1 = \frac{1}{2} f F d_y, \quad (2.38)$$

де  $d_y$  – діаметр цапфи під посадку підшипника, м;

$$M_{mp} = \frac{1}{2} F_{mp} d_y - \text{момент сил тертя, Нм.}$$

Тоді потрібну потужність двигуна можна визначити за формулою [12]:

$$N_{np} = \frac{1}{\eta} [N_{F_{max}} + N_{mp}], \quad (2.39)$$

де  $N_{F_{max}}$  – потужність, що розвивається змушуючою силою, кВт:

$$N_{F_{max}} = m_o \cdot A \cdot \omega^2; \quad (2.40)$$

де  $\eta$  – ККД віброприводу.

Використовуючи формули (2.39) та (2.40), одержимо:

$$N_{np} = \frac{1}{\eta} m_o \cdot A \cdot \omega^2 (1 + 0,5d_y \cdot \omega \cdot f). \quad (2.41)$$

Отже, необхідна потужність електродвигуна головним чином залежатиме від амплітуди коливання сушильної камери, кутової швидкості дебалансного валу та ККД віброприводу.

### 2.3.2 Енергофізичні і термодинамічні процеси в електроозонаторі

Розрядний проміжок електроозонатора, як система, отримує енергію, яка витрачається на сукупність робіт:

$$dW_E = \sum dA_i. \quad (2.42)$$

Оскільки енергія витрачається на заряд електричного поля відповідно до процесів, що відбуваються в розрядному проміжку до запалювання розряду, вираз набуде вигляду:

$$dW_{E_0} = dA_{EP}, \quad (2.43)$$

де  $dW_{E_0}$  – енергія, що витрачається до запалювання розряду.

Роботу електричного поля можна також назвати втратами на подолання діелектричних бар'єрів. З моменту запалювання розряду змінюється сукупність процесів, що відбуваються в розрядному проміжку. За сучасними уявленнями, озон утворюється в газовому середовищі, що містить кисень, при виникненні умов, при яких кисень дисоціює на атоми [13]. У нашому випадку причиною дисоціації є зіткнення молекулярного кисню з прискореними в електричному полі частинками. Таким чином, бар'єрний розряд супроводжується виділенням тепла, роботою на подолання діелектричних бар'єрів, світінням широкого спектра, утворенням озону, отже:

$$dW_{E_p} = \sum dA_i = dA_{EP} + dA_{Дис} + dA_{C\delta} + dA_T, \quad (2.44)$$

де  $W_{E_p}$  – енергія, яка витрачається електроозонатором в режимі розряду;

$A_T$  – робота, спрямована на нагрів;

$A_{EP}$  – робота, спрямована на створення електричного поля;

$A_{C\delta}$  – втрати на світлове випромінювання;

$A_{\text{Дис}}$  – робота дисоціації молекулярного кисню на атоми.

З моменту запалювання розряду, істотно збільшуються втрати, які значно перевищують енергію дисоціації [14]. Відомо, що теоретично мінімальна кількість витраченої енергії на виробництво озону становить 0,83 кВт·год/кг [15]. Реальні установки мають витрати енергії 15-30 кВт·год/кг [16], тому слід вважати, з моменту запалювання розряду основним паразитуючим процесом є нагрів, який становить значну частину, понад 70% спожитої електроенергії [17]. Основним негативним впливом нагріву на продуктивність є прискорення деструкції знову вироблених молекул озону [18]. Критична точка цього впливу супроводжується підвищенням споживаної потужності і різким падінням продуктивності електроозонатора.

Конструкції озонаторів, які призначені для обробки зернової сировини, не допускають наявності систем охолодження електродів, тому що вони багаторазово збільшують вартість пристрою, масогабаритні показники, крім того, можуть вимагати додатковий обслуговуючий персонал. Таким чином, запобігання перегріву електроозонатора слід регулювати зміною напруги живлення і частоти струму.

Зі збільшенням температури різко збільшується швидкість третьої групи реакцій, яка приводить до розкладання озону. Швидкість дисоціації кисню не залежить від температури, а швидкість тримолекулярної реакції навіть дещо падає при нагріванні газу. Все це призводить до різкого падіння концентрації озону на виході і нестабільності роботи озонатора. Крім того, при нагріванні скла зростає ймовірність пробою бар'єрів, тому нагрівання бар'єрного електроозонатора вище критичного, неприпустимо.

Процес нагріву електроозонатора розглядається при наступних припущеннях: пристрій вважається суцільним однорідним тілом, що володіє нескінченно великою теплопровідністю; тепло, що віддається в навколишнє середовище, пропорційне першій ступені різниці температур

електроозонатора і навколишнього середовища – перевищення температури; температура навколишнього середовища постійна; теплові втрати, теплоємність електроозонатора і коефіцієнт тепловіддачі не залежать від температури електроозонатора.

При зазначених умовах процес нагрівання та охолодження електроозонатора описується наступним диференціальним рівнянням:

$$A_t \cdot \tau + \frac{C_t d\tau}{dt} = \Delta P_m, \quad (2.45)$$

де  $\tau$  – перевищення температури (різниця між температурою електроозонатора і температурою навколишнього середовища), °С;

$\Delta P_m$  – потужність теплових втрат, Вт;

$A_t$  – тепловіддача (кількість теплоти, що передається навколишньому середовищу за 1 с при перевищенні температури на 1 °С), Дж/(°С·с), або Вт/К;

$C_t$  – теплоємність електроозонатора, Дж/К:

$$C_t = c_{рп} \cdot m_{рп}, \quad (2.46)$$

де  $c_{рп}$  – питома теплоємність розрядного пристрою Дж/(кг·К);

$m_{рп}$  – маса розрядного пристрою, кг.

Перевищення температури електроозонатора при його нагріванні (охолодженні) у випадку  $\Delta P_m = const$  відбувається по експоненційному закону з постійною часу нагріву:

$$T_H = \frac{C_t}{A_t}. \quad (2.47)$$

З наведеного вище рівняння видно, що певна частка втрат, що виділяються в електроозонаторі з моменту його ввімкнення, витрачається на нагрів самого розрядного пристрою озонатора, а решта втрат розсіюються з

поверхні або виносяться повітрям, що проходить через розрядний проміжок в навколишнє середовище. В цьому випадку постійну нагріву розрядного блоку електроозонатора можна визначити як:

$$T_n = \frac{C_t}{\omega_m \theta_v}, \quad (2.48)$$

де  $\omega_m$  – коефіцієнт теплопередачі,  $\omega_m = 0,278 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{С}^\circ)$ ;

$\theta_v$  – кількість тепла, яке переноситься потоком повітря:

$$\theta_v = V \rho c (t_n - t_k), \quad (2.49)$$

де  $V$  – об'єм повітря, що проходить крізь робочу камеру озонатора,  $\text{м}^3$ ;

$\rho$  – густина повітря при нормальних умовах,  $\rho = 1,223 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;

$t_n$  – температура навколишнього середовища,  $^\circ\text{С}$ .

$t_k$  – кінцева температура теплоносія,  $^\circ\text{С}$ .

У міру нагрівання електроозонатора температура його поверхні підвищується, дедалі більша частина тепла передається в навколишнє середовище і нагрів пристрою стабілізується. При тривалій ( $t = \infty$ ) роботі в незмінному режимі настає теплова рівновага, при якому всі виділені всередині пристрою втрати розсіюються в навколишнє середовище, а нагрів електроозонатора припиняється [ $d(\Delta t) = 0$ ]. Такий режим називають сталим тепловим режимом. Він характеризується сталою температурою електроозонатора  $\Delta t_{cm} = const$ .

При цьому сталі перевищення температури:

$$\Delta t_{cm} = \frac{\mu P_m}{\omega_m \theta_v}. \quad (2.50)$$

Загальним рішенням рівняння (2.50) є вираз:

$$\Delta t = \Delta t_0 + (\Delta t_\infty - \Delta t_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}}\right), \quad (2.51)$$

де  $\Delta t_0$  – початкове (при  $t=0$  °C) перевищення температури поверхні розрядного пристрою озонатора над температурою навколишнього середовища, °C;

$\Delta t_\infty$  – кінцеве (при  $t \rightarrow \infty$  °C) перевищення температури поверхні розрядного пристрою озонатора над температурою навколишнього середовища, °C;

$T_n$  – постійна часу нагріву, °C.

В окремому випадку нагрів розрядного пристрою озонатора з практично холодного стану (при  $t=0$ ;  $\Delta t_0=0$ , при  $t \rightarrow \infty$ ;  $\Delta t_\infty = \Delta t_{cm}$ ):

$$\Delta t = \Delta t_{cm} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}}\right). \quad (2.52)$$

Охолодження відключеного від мережі електроозонатора, який досяг сталої температури (при  $t=0$ ;  $\Delta t_0 = \Delta t_{cm}$ , при  $t \rightarrow \infty$ ;  $\Delta t_\infty = 0$ ):

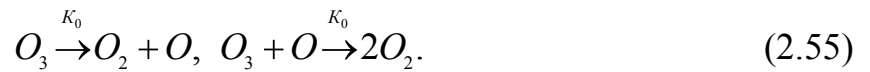
$$\Delta t = \Delta t_{cm} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_n}\right)\right]. \quad (2.53)$$

Вибір режиму роботи електроозонатора необхідно здійснити таким чином, щоб в процесі його експлуатації дотримувалася умова:

$$t_{HC} + t_{max} = t_{кр}, \quad (2.54)$$

де  $t_{кр}$  – допустиме значення температури для електроозонатора, яке визначається критичною температурою інтенсивної термічної деструкції озону.

На підставі робіт Бенсона [19], приймаємо  $t_{кр} = 70$  °С, при якій помітно збільшується швидкість реакцій, отриманих даним атомарним механізмом:



У виразі (2.55) це відображено, як різке зниження значення константи кінетики розкладу озону –  $K_0$ . Дане явище істотно знижує ефективність роботи електроозонатора, оскільки розпадаються новоутворені молекули озону. Кількість його можна виразити:

$$\frac{K_0}{K_1} = \exp\left(-\frac{\Delta H}{R\tau}\right). \quad (2.56)$$

В розрядному проміжку основним конструкційним елементом схильним до нагрівання є діелектричні бар'єри, між якими і відбувається бар'єрний розряд. Таким чином, температура діелектричних бар'єрів складним чином залежить від потужності, яка розсіюється на розрядному пристрої, тепловіддачі розрядного пристрою, температури вхідного газу з навколишнього середовища, і має вигляд:

$$t_{дБ} \leq t_{кр}. \quad (2.57)$$

$$t_{дБ} = t_{НС} + \frac{\mu P_{py}}{\omega_m \theta_v}, \quad (2.58)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт, що враховує частку активної потужності, яка витрачається на нагрів.

Рішенням рівняння теплового балансу розрядного проміжку електроозонатора є:

$$t_{дБ} = t_{НС} + \frac{\mu P_{py}}{\omega_m \theta_v} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}}\right). \quad (2.59)$$



## 2.4 Висновки за 2 розділом

1. Встановлено фактори, від яких залежать енергетична і технологічна ефективність процесу сушіння зерна в зерносушарках, а саме: температури сушильного агенту, його швидкості, інтенсивності видалення вологи і експозиції сушіння. Два останні показники залежать від виду зерна і його вологості, а також способу сушіння, конструкції сушарки тощо.

2. Розроблена математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу. Отримані графічні та теоретичні залежності вперше дають змогу визначати продуктивність озонатора та інтенсивність розподілу концентрації озону по глибині шару під дією вібраційного впливу в залежності від віброприскорення сушильної камери та швидкості руху сушильного агенту.

3. Встановлені кінематичні, силові та енергетичні параметри вібрації, отримано рівняння балансу потужності (2.41).

4. Визначені енергофізичні і термодинамічні процеси в електроозонаторі дають змогу визначити раціональні параметри роботи електроозонаторного обладнання.

### Список використаних джерел до 2 розділу

1. Данилов О.А., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке. Москва, 1986. 134с.
2. Малин Н.И. Снижение затрат на сушку зерна. Москва, 1991. 45 с.
3. Гинзбург А.С. Расчёт и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. Москва, 1985. 336 с.
4. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов Москва, 1973. 527 с.
5. Гинзбург А.С., Резчиков В.А. Сушка пищевых продуктов в кипящем слое. Москва, 1966. 215 с.

6. Резчиков В.А. Теория и практика энергосбережения при сушке зерна. Москва, 1991. 50 с.
7. Левин Д.М. Термодинамическая теория и расчет сушильных установок. Москва, 1958. 167 с.
8. Ксенз Н.В., Симонов М.Н., Симонова Е.Н. Предпосевная обработка семян с.-х. культур электроактивированной водой. Зерноград, 1998. 6 с. Деп. в ВИНТИ 19.08.98; №2614-В98.
9. Паламарчук В.І. Обґрунтування параметрів процесу та обладнання конвеєрного інфрачервоного сушіння сировини олійного виробництва: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Одеса, 2016. 266 с.
10. Орлов П.И. Основы конструирования. Москва, 1977. 623 с.
11. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Москва, 1980. 728 с.
12. Любін М.В. Механізація транспортних робіт. Транспортуючі машини з тяговим органом. Вінниця, 2004. 212 с.
13. Филиппов Ю.В., Емельянов Ю.В. Химические реакции в тихом электрическом разряде. *Современные проблемы физической химии*. Москва, 1968. С. 77-148.
14. Филиппов Ю.В. Электросинтез озона. *Вестник МГУ*. Москва, 1959. № 4. С. 153-186.
15. Елецкий А.В. Газовый разряд. Москва, 1981. 630 с.
16. Дмитриев А.М., Ветров В.С., Клиш А.Р. Опыт использования магнитного поля и лазерного облучения для повышения качества посевного материала в хозяйствах Белоруссии. *Применение низкоэнергетических физических факторов в биологии и с.-х.* Киров, 1989. С. 14-15.
17. Капцов Н.М. Коронный разряд. Москва, 1947. 272 с.
18. Ксенз Н.В. Оптимизация коронных озонаторов. *Сборник науч. тр. ВНИИПТИМЭСХ*. Зерноград, 1987. 164 с.
19. Benson S.W., Axworthy A.E. Mechanism of Gas Phase Decomposition of Ozone. Thermal and Photochemical Reactions. *Ozone chemistry and technology*. Los Angeles, 1957. №. 52. P. 388-397.

## РОЗДІЛ 3

### ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **3.1 Обґрунтування та розробка конструктивно-технологічної схеми віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини**

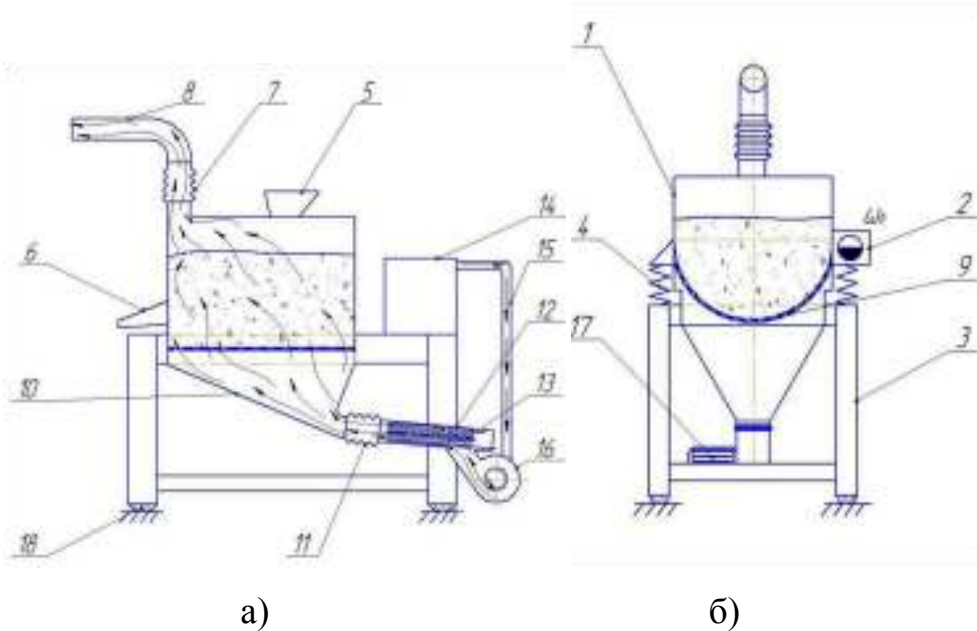
Оскільки класичні теплові способи сушіння зерна дуже енергоємні, можливість їх ефективного застосування обмежена властивостями матеріалу, що висушується. Сушильні установки, що використовуються, фізично та морально застарілі і не відповідають сучасним вимогам енергозбереження. Тому необхідно інтенсивними кроками здійснювати розробку та впровадження у виробництво сучасних високопродуктивних методів сушіння зерна та конструкцій сушильного обладнання.

Перспективними способами підвищення якості зернового матеріалу та зниження енерговитрат при технологічній операції сушіння є використання вібраційного впливу, який забезпечує рівномірність обробки зернового матеріалу за рахунок постійного оновлення поверхні зернівки, яка контактує з сушильним агентом, та впровадження озоноповітряного сушіння.

У зв'язку з вище викладеним нами пропонується конструктивна схема віброозонуючого комплексу періодичної дії для сушіння зернової сировини (рис. 3.1). U-подібна камера 1, оснащена вібратором 2, встановлена на рамі 3 на пружинах 4. Камера, що містить завантажувальний 5 і розвантажувальний 6 лотки, через еластичне з'єднання 7 сполучена з повітропроводом 8 для виведення відпрацьованого сушильного агенту.

Нижня частина камери містить перфороване днище 9 і піддон 10, який через еластичне з'єднання 11 сполучений з повітропроводом 12 з електричними нагрівальними елементами 13, по якому подається підігріте повітря та озон, що генерується озонатором 14 і підводиться по

повітропроводу 15. Озоноповітряна суміш подається в повітропровід 12 вентилятором 16, який приводиться в рух електродвигуном 17. Рама встановлена на опорах 18.



а – вигляд спереду; б – вигляд збоку; 1 – U-подібна камера; 2 – вібратор; 3 – рама; 4 – пружини; 5 – завантажувальний лоток; 6 – розвантажувальний лоток; 7, 11 – еластичні з'єднання; 8 – повітропровід для виведення відпрацьованого сушильного агенту; 9 – перфороване днище; 10 – піддон; 12 – повітропровід для подачі сушильного агенту; 13 – електричні нагрівальні елементи; 14 – озонатор; 15 – повітропровід для подачі озоноповітряної суміші; 16 – вентилятор; 17 – електродвигун; 18 – гумові опори

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема віброозонуючого комплексу періодичної дії для сушіння зернової сировини

Віброозонуючий комплекс працює наступним чином. Вологий зерновий матеріал через завантажувальний лоток 5 поступає в U-подібну камеру 1. Одночасно вмикається вібратор 2, електричні нагрівальні елементи 13, озонатор 14 та електродвигун 17 вентилятора 16. Суміш повітря і озону, що генерується озонатором, через повітропровід 15 з допомогою вентилятора

подається в повітропровід 12, де нагрівається електричними нагрівальними елементами 13 і через еластичне з'єднання 11, піддон 10 та перфороване днище 9 поступає в U-подібну камеру з вологим зерновим матеріалом. Пройшовши через матеріал, відпрацьований сушильний агент через еластичне з'єднання 7 та повітропровід 8 виводиться із сушильної камери. При досягненні необхідної вологості зернового матеріалу вимикається озонатор, електродвигун вентилятора та нагрівальні електричні елементи. Вивантаження зерна здійснюється через розвантажувальний лоток 6 за рахунок вібрацій U-подібної камери.

### **3.2 Мета, завдання і програма експериментальних досліджень**

Метою та завданням експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних передумов реалізації процесу сушіння зернової сировини за умови встановлення раціональних технологічних та режимних параметрів розробленого комплексу.

Програма експериментальних досліджень передбачала виконання таких завдань:

– встановити раціональні режимні параметри роботи віброозонуючого комплексу;

– визначити вплив експлуатаційних та конструктивних параметрів розробленого комплексу на якісні характеристики досліджуваного процесу.

Відповідно до поставлених завдань загальна програма досліджень містить такі етапи:

– розробка експериментального віброозонуючого комплексу;

– отримання показників якості обробленої сировини за умови комплексного віброозонуючого впливу;

– аналіз та оптимізація отриманих експериментальних даних методами аналітичних та графічних кривих.

Алгоритм проведення експериментальних досліджень подано блок-

схемою (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Блок-схема підготовки та проведення експериментальних досліджень розробленого віброозонуючого комплексу

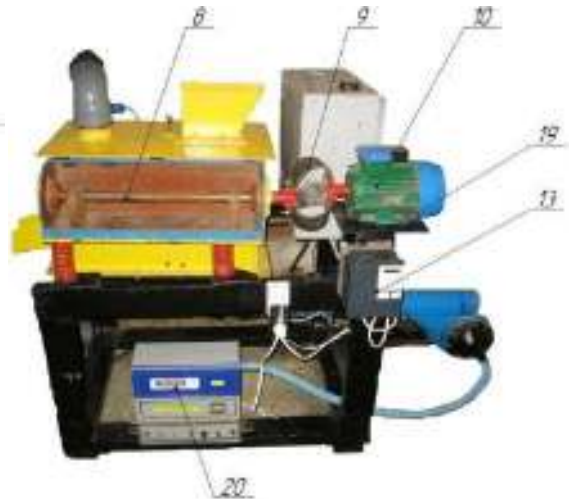
### 3.3 Об'єкт експериментального дослідження

Для реалізації високоякісного сушіння зернової сировини було

спроектовано та виготовлено дослідну модель віброозонуючого комплексу (рис. 3.3), в якому матеріал, що обробляється, піддається вібраційному впливу, який збільшує і оновлює поверхню теплообміну [1]. В результаті цього відбувається інтенсивне зняття вологи, збільшується швидкість сушіння. Процес сушіння відбувається рівномірно по всьому шару, не викликаючи місцевий перегрів матеріалу.



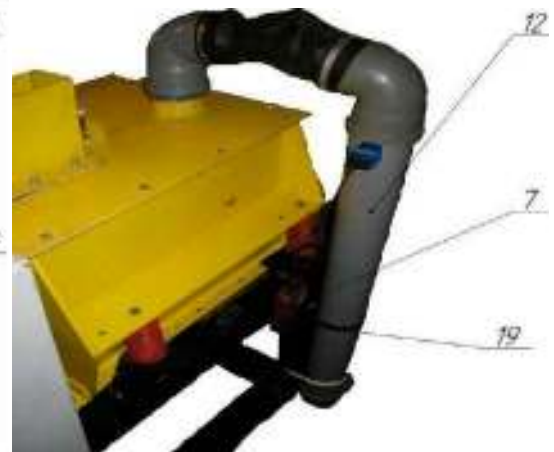
а)



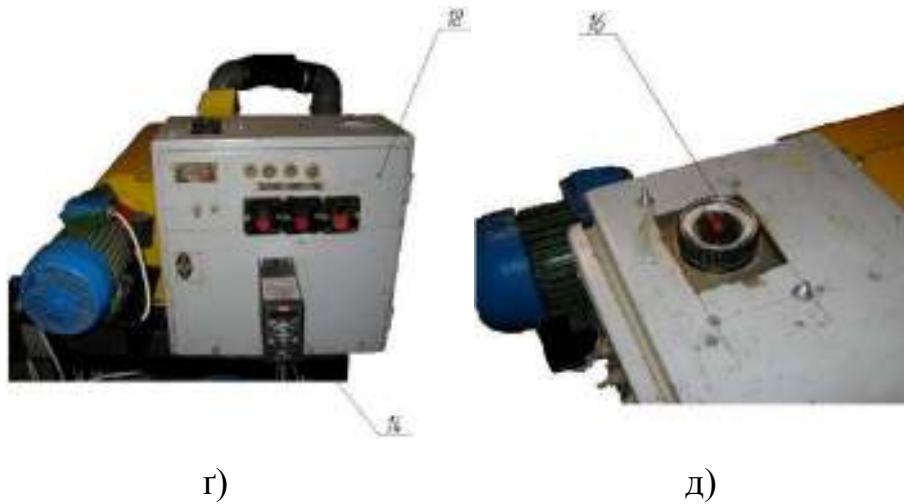
б)



в)



г)



а, б – вигляд спереду; в, г, г – вигляд збоку; д – вигляд зверху; 1 – U-подібна камера; 2 – рама; 3 – пружини; 4, 5 – завантажувальний і розвантажувальний лотки; 6, 12 – відповідно вхідний та вихідний повітропроводи; 7 – термоанемометр; 8 – дебалансний вал; 9 – еластична муфта; 10 – електродвигун привода дебалансного вала; 11 – електродвигун привода вентилятора; 13, 14 – частотні перетворювачі; 15 – терморегулятор; 16 – реле часу; 17 – вентилятор; 18 – блок керування; 19 – вологоміри; 20 – електронний пристрій синтезу озону

Рисунок 3.3 – Дослідна модель віброозонуючого комплексу

В якості сушильного агенту використовується суміш підігрітого повітря та озону певної концентрації, який генерується з допомогою коронного розряду у електронному пристрої синтезу озону (рис. 3.4).



а – загальний вигляд; б – робоча камера синтезу озону

Рисунок 3.4 – Електронний пристрій синтезу озону



З метою зменшення рівня залишкового озону в складі сушильного агенту, який пройшов через оброблювану зернову сировину, та доведення його рівня до ГДК [2] у вихідному трубопроводі встановлено каталітичний деструктор озону (рис. 3.5), в якому в якості наповнювача використовується каталізатор – гопталюм у вигляді пресованих таблеток на основі оксидів перехідних металів (Mn, Cu, Co, V).



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд каталітичного деструктора озону

Віброозонуючий комплекс являє собою герметичну U-подібну камеру, встановлену на рамі з допомогою пружин. Камера містить завантажувальний і розвантажувальний лотки, а також повітропровід для виведення відпрацьованого сушильного агенту. Збоку камери розміщений вал з двома дебалансами, який через еластичну муфту з допомогою трифазного електродвигуна приводиться в обертовий рух.

В нижній частині камери є повітропровід з електричними нагрівальними елементами, через який надходить підігріте повітря і озон, що генерується озонатором і подається вентилятором з допомогою електродвигуна.

Принцип роботи комплексу полягає в тому, що сушильний агент, який складається з підігрітого повітря та озону певної концентрації, подається за допомогою вентилятора, закріпленого на рамі, в U-подібну герметичну камеру, в якій знаходиться зернова сировина. Одночасно вмикається електропривод дебалансного валу. Сушильний агент, проходячи через шар зерна та знімаючи певний відсоток вологи, поступає у вихідний повітропровід, через який видаляється із сушильної камери.

### 3.4 Експериментальне оснащення

Для виявлення кількісної картини енерговитрат, чіткого контролю та регулювання параметрів сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу, а також визначення параметрів протікання основних параметрів даного процесу було використано ряд експериментального оснащення.

Для регулювання частоти обертання дебалансного вала, який приводився в обертовий рух з допомогою трифазного електричного двигуна AIP 90L4, та інтенсивності коливання U-подібної камери взагалом використовувався частотний перетворювач Altivar 312HU22N4 (рис. 3.6, а) виробництва Schneider Electric.

Для регулювання частоти обертання вентилятора, який приводився в обертовий рух з допомогою трифазного електричного двигуна AIP 71A2, та швидкості руху сушильного агента взагалом використовувався частотний перетворювач Micro Drive FC51 (132F0003) (рис. 3.6, б) виробництва Danfoss.

Основні технічні характеристики частотних перетворювачів Altivar 312HU22N4 та Micro Drive FC51 ( 132F0003) наведені в табл. 3.1.



а – Altivar 312HU22N4; б – Micro Drive FC51 (132F0003)

Рисунок 3.6 – Загальний вигляд частотних перетворювачів

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристики частотних перетворювачів Altivar 312HU22N4 та Micro Drive FC51 ( 132F0003)

Серія	ATV 312	Micro Drive FC5
Потужність електродвигуна, кВт	2,2	0,75
Частота мережі живлення, Hz	50-60	
Кількість фаз/напруга на вході	3-ф/380 (3 фази 380 В) В	1-ф/220 (1 фаза 220) В
Кількість фаз/напруга на виході	3-ф/380 (3 фази 380 В) В	3-ф/220 В
Номінальний струм, А	8,9	4,2
Фільтр перешкод	вмонтований	
Діапазон швидкостей	1-50	

Для визначення швидкості руху та температури сушильного агента було використано термоанемометр АМ 831 (рис. 3.7) з виносним датчиком, що дало можливість визначати дані показники безпосередньо в повітропроводі. Основні технічні характеристики термоанемометра подано в табл. 3.2.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд термоанемометра АМ 831 з виносним датчиком вимірювання швидкості руху та температури повітря

Таблиця 3.2 – Основні технічні характеристики термоанемометра АМ 831

Діапазон вимірювання швидкості повітря, м/с	0,4-30
Діапазон вимірювання температури повітря, °С	від -10 до +50
Інтервал вимірювань швидкості і температури повітря, м/с	0,1
Похибка вимірювання швидкості повітря, м/с	± (3% + 0,1)
Похибка вимірювання температури повітря, °С	± 1,0
Швидкість вимірювання, вимірів/сек.	2 виміри/сек

Для підтримання заданої температури сушильного агента при нагріві його з допомогою електричних нагрівальних елементів використовувався терморегулятор ТРМ-10 (рис. 3.8), який вмикав та вимикав їх живлення при досягненні сушильним агентом мінімальної та максимальної температури відповідно. Основні технічні характеристики терморегулятора подано в табл. 2.3.



Рисунок 3.8 – Загальний вигляд терморегулятора ТРМ-10

Таблиця 3.3 Основні технічні характеристики терморегулятора ТРМ-10

Напруга живлення, В	150-280
Датчик температури	зовнішній цифровий DS18B20 (довжина кабеля 1,9 м)
Діапазон вимірювання температури, °С	від -55 до +125
Діапазон регульованої температури, °С	від -54 до +124
Крок регулювання температури, °С	0,1
Номінальний струм навантаження, А	10
Номінальна потужність навантаження, кВт	2,2
Режим роботи	нагрів, охолодження

Для визначення відносної вологості та температури сушильного агенту на вході та виході із сушильної камери використовувались термометри-вологоміри з виносними датчиками (рис. 3.9), основні технічні характеристики яких подано в табл. 2.4.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд термометра-вологоміра з виносним датчиком

Таблиця 3.4 – Основні технічні характеристики термометра-вологоміра

Принцип дії	електронний
Мінімальний діапазон вимірювань, °C	-40
Максимальний діапазон вимірювань, °C	+90
Похибка вимірювання температури, °C	± 1
Діапазон вимірювання вологи, % RH	± 1
Датчик	виносний (довжина кабеля 1,5 м)

Для визначення споживаної потужності електродвигунами приводу дебалансного валу та вентилятора використовувалися ватметри Д 365 (рис. 3.10, а) та Ц 301 (рис. 3.10, б), основні технічні характеристики яких подано в табл. 3.5.



а)



б)

а – Д 365; б – Ц 301

Рисунок 3.10 – Загальний вигляд ватметрів

Таблиця 3.5 – Основні технічні характеристики ватметрів Д 365 і Ц 301

Серія	Д 365	Ц 301
Клас точності	1,5	
Діапазон вимірювання потужності, кВт	0-3	0-1
Частота мережі, Hz	50-60	
Ціна поділки, Вт	200	50
Напруга мережі, В	380	220
Струм мережі	змінний	

З метою визначення енерговитрат на виконання технологічного процесу сушіння зернової сировини з допомогою дослідного віброозонуючого комплексу використовувався трьохфазний лічильник електроенергії СА4У-И672М (рис. 3.11), основні технічні характеристики якого подано в табл. 3.6.



Рисунок 3.11 – Загальний вигляд трьохфазного лічильника електроенергії СА4У-И672М

Таблиця 3.6 – Основні технічні характеристики трьохфазного лічильника електроенергії СА4У-И672М

Клас точності	2
Струм мережі	змінний
Номінальна напруга, В	380
Номінальний (максимальний) струм, А	5 (10)
Поріг чутливості % від I ном.	0,5
Потужність, яка споживається ланцюгом струму, В <sup>2</sup> А	1
Потужність, яка споживається ланцюгом потужності, Вт	5

Тривалість процесу сушіння контролювалася з допомогою реле часу MZA 94 (рис. 3.12) виробництва Schleicher Berlin, основні технічні характеристики якого подано в табл. 3.7.



Рисунок 3.12 – Загальний вигляд реле часу MZA 94

Таблиця 3.7 – Основні технічні характеристики реле часу MZA 94

Одиниця вимірювання часу	сек., хв., год.
Інтервал вимірювання часу	0,3 сек.-6 год.
Максимальна потужність, Вт	500
Максимальний струм, А	6
Робоча напруга, В	380
Частота мережі, Hz	50

Вологість відібраних проб зерна під час сушіння визначалася з допомогою вологоміра РМ 650 (рис. 3.13) виробництва KETT Electric Laboratory, основні технічні характеристики якого подано в табл. 3.8.



Рисунок 3.13 – Загальний вигляд вологоміра РМ 650



Таблиця 3.8 – Основні технічні характеристики вологоміра РМ 650

Метод вимірювання	дієлькометричний
Діапазон вимірюваної вологи, %	1-40
Точність, %	± 0,5
Збіжність результатів	0,05-0,2
Діапазон вимірювання ваги, г	20-180
Об'єм аналізованої проби, см <sup>3</sup>	240
Кількість калібрувань	150
Коректування калібрувань	є
Визначення натури	є
Визначення середнього арифметичного	є
Визначення маси зразка	є
Температурна корекція	термистор
Кількість культур, вологість яких може бути визначена	150

Для забору проб методом точкового відбору та аналізу вологості зернової сировини під час технологічного процесу сушіння використовувався лабораторний пробовідбірник.

Для визначення амплітудно-частотних характеристик було використано акселерометричний аналізатор на основі акселерометра LIS3DH компанії STMicroelectronics (рис. 3.14).



1 – батарея живлення; 2 – мікропорт приєднання USB кабелю зв'язку з комп'ютером; 3 – USB кабель зв'язку з комп'ютером; 4 – мікропорт для приєднання датчика акселерометра; 6 – адаптивний мікропорт для зчитування даних; 7 – датчик акселерометра; 8 – корпус акселерометра; 9 – кришка акселерометра

Рисунок 3.14 – Загальний вигляд акселерометра LIS3DH



Пристрій працює наступним чином: після приєднання датчика до поверхні сушильної камери вмикають привод дебалансного валу, створюючи коливання останньої, це в свою чергу призводить до увімкнення вмонтованого акселерометра, який здійснює реєстрацію амплітудно-частотних характеристик досліджуваного віброозонуючого комплексу.

Для реєстрації частоти обертання дебалансного валу було використано безпроводний тахометр UNI-T UT372 (рис. 3.15), основні технічні характеристики якого подано в табл. 3.9.



Рисунок 3.15 – Загальний вигляд тахометру UNI-T UT 372

Таблиця 3.9 – Основні технічні характеристики тахометру

Дисплей	ЖК дисплей; 99999; 53x41 мм
Діапазон, об/хв.	10-99 100-999 1000-9999 10000-99999
Похибка, %	0,04% ± 2
Відстань до об'єкту вимірювання, мм	50-200
Живлення	4 батарейки; 1,5В; АА

Для визначення концентрації озону у складі сушильного агента на вході та виході із сушильної камери використовувався вимірювач

концентрації озону «НТІКО-2» (рис. 3.16), короткі технічні характеристики якого подані в табл. 3.10.



Рисунок 3.16 – Загальний вигляд вимірювача концентрації озону «НТІКО-2»

Таблиця 3.10 – Короткі технічні характеристики «НТІКО-2»

Форма представлення інформації	РК-екран
Межі вимірювання, мг/м <sup>3</sup>	0-20
Крок вимірювань, мг/м <sup>3</sup>	0,02
Похибка, %	± 10
Принцип дії	Електромеханічний газовий сенсор
Виконання	Вібростійке
Живлення, В	9 (крона)

Таким чином, представлене конструктивне оформлення для проведення лабораторних та виробничих випробувань надає змогу досить точно встановити основні якісні і технологічні параметри розробленого віброозонуючого комплексу та отриманого матеріалу в межах експериментальних досліджень.

### 3.5 Методика зволоження зернової сировини

Якщо початкова вологість зернової сировини до проведення дослідів є менше запланованої і не задовольняє програму досліджень, то за дві-три доби до проведення дослідів необхідно штучно зволожити зернову сировину до

заданої вологості.

Для рівномірного розподілу вологості по всій масі продукту його зволожують таким чином. Зважують зразок сухого продукту  $G_n$  і визначають його вологість  $W_n$  у сушильній шафі за стандартною методикою. Потім розраховують кількість води  $V$ , яку необхідно додати до наважки, щоб отримати задану вологість продукту  $W_k$  за такою формулою [3]:

$$V = G_n \frac{W_k - W_n}{100 - W_k}, \quad (3.1)$$

де  $G_n$  – маса сировини при вологості  $W_n$ , кг;

$W_n, W_k$  – відповідно вологість продукту до і після зволоження, % від загальної маси.

При ретельному перемішуванні в сировину упродовж дня додають воду невеликими порціями. Зволожений продукт ставлять в холодильник або термостат і зберігають при температурі 3-5 °С два дні. Упродовж цього періоду продукт ретельно перемішують два-три рази в день [3].

### **3.6 Методика штучного зараження зернової сировини спорами грибків головні та фузаріуму**

З метою визначення незаражуючої дії озону у складі сушильного агенту на оброблювану сировину в процесі її сушіння проводилось штучне зараження зерна за наступною методикою [4]. Досліди закладають за трикратного повторення; довжина ділянки 1 м, ширина – 4 рядки.

Всі сорти в досліді висівають насінням, інфікованим споровим матеріалом місцевого походження з сортів, які репродукують на сортодільниці протягом кількох років. Для забезпечення нормального прояву хвороби насіння інфікують спорами з розрахунку 1 мг спор на 1 г насіння.

Для приготування спорового матеріалу уражене колосся розтирають у ступці і просівають крізь густе сито. Спори обережно зішкрібають скальпелем із уражених стебел на глянцевої білий папір. Залишки соломи та листків видаляють.

Насіння, що надійшло з інших природних зон, для очищення від спор насипають у решето та занурюють у воду (бажано проточну) на 3-5 хвилин, безперервно перемішуючи. Після цього зерно розсипають тонким шаром і висушують до нормальної вологості.

Обробку насіння зернових видів споровим матеріалом проводять у скляних банках відповідного об'єму шляхом струшування протягом 3-5 хвилин. Насіння в суспензії залишають на 24 години, перемішуючи через кожні 3-4 години, потім рідину зливають через марлю. Вологе насіння розсипають тонким шаром у затінку, де за 2-3 доби воно має добре підсохнути.

Заражене насіння висівають згідно зі схемою розташування сортів і ділянок у відповідні строки. Відомо, що затримка з сівбою зараженого насіння пшениці озимої на місяць порівняно з оптимальними строками, сприяє вдвічі сильнішому ураженню. Сівбу кожного окремого дослідження закінчують в один день. Насіння загортають на глибину, передбачену агротехнічними рекомендаціями. По закінченню сівби сівалку очищають від бруду та пилу, промивають водою, обробляють розчином формаліну й на ніч накривають брезентом або рядном, зволженим тим же розчином. У ньому намочують також торбинки з-під насіння, складають їх до купи й також накривають брезентом, зволженим розчином формаліну. Через дві години торбинки висушують.

Облік ураження сортів проводять у фазі воскової стиглості. Уражене колосся зв'язують за сортами, етикетують, обгортають папером і зберігають у сухому місці за температури навколишнього повітря. До польового журналу заносять кількість хворих та здорових колосків кожного сорту й обчислюють ураження у відсотках.

Облік урожайності в дослідах за штучного зараження не проводять. Зібране зерно обдають окропом, промивають у проточній воді, висушують і використовують на фураж. Солому і полову з дослідних ділянок спалюють на місці проведення досліду.

### 3.7 Методика визначення дози обробки зерна озоноповітряною сумішшю

Аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню зерна та впливу на нього, дозволяє зробити висновок, що хімічний склад зерна різноманітних сільськогосподарських культур відрізняється дуже не значно. З цього слідує, що вплив обробки озоном для різноманітних культур повинен описуватися певними загальними параметрами та підпорядковуватися загальним закономірностям [5].

Визначаємо ефективну дозу озону для обробки 1 кг зерна:

$$D = CV_y, \quad (3.2)$$

$$D = \frac{CVt}{m}. \quad (3.3)$$

де  $C$  – концентрація озону в озоноповітряній суміші, мг/м<sup>3</sup>.

Визначимо питому кількість озоноповітряної суміші на 1 кг зерна:

$$V_y = \frac{Vt}{m}, \quad (3.4)$$

де  $V$  – кількість повітря, що подається, м<sup>3</sup>/с;

$t$  – час обробки с;

$m$  – маса зерна, що обробляється, кг.

Наприклад, для зерна кукурудзи та зерна пшениці кількість озоноповітряної суміші на 1 кг становить  $\approx 0,06 \text{ м}^3$ . При цьому ефективна доза обробки на 1 кг складає 1,91 мг озону [5].

Розглядаючи насіння кукурудзи та пшениці, потрібно відзначити, що середній діаметр зернин відповідно  $D_1 = 7 \text{ мм}$  та  $D_2 = 3 \text{ мм}$ , при чому висота зернини пшениці  $h = 5 \text{ мм}$ , середня маса тисячі насінин кукурудзи  $m_1 = 300 \text{ гр}$ , пшениці –  $m_2 = 45 \text{ гр}$ .

Визначаємо приблизну площу поверхні зернини кукурудзи, як площу сфери:

$$S_1 = 4\pi R_1^2, \quad (3.5)$$

де  $R$  – радіус сфери, мм.

Визначаємо приблизну площу поверхні зернини пшениці, яка контактує з озоноповітряною сумішшю, як площу циліндра:

$$S_2 = \pi R_2^2 h, \quad (3.6)$$

де  $R$  – радіус циліндра, мм;

$h$  – висота циліндра, мм.

Тоді, площа поверхні тисячі насінин кукурудзи та пшениці відповідно  $S_1 = 153,86 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  та  $S_2 = 35,32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

Введемо показник  $h$ , що визначає відношення маси  $m$  насінини до площі його поверхні  $S$  [5]:

$$\Delta h = \frac{m}{S}. \quad (3.7)$$

З цього випливає, що для кукурудзи  $\Delta h_1 = 1,95 \text{ кг/м}^2$ , а для пшениці  $\Delta h_2 = 1,27 \text{ кг/м}^2$ . Таким чином, на один квадратний метр поверхні зерна кукурудзи припадає 1,95 кг маси зерна, а на одиницю поверхні зерна пшениці дещо менше, тобто через одну і ту ж площу поверхні необхідно обробляти

різну масу біологічного матеріалу.

Судячи з усього, відношення показників  $\Delta h$  та доз обробок  $D$ , для різних культур повинно бути пропорційним:

$$\delta = \frac{D_1}{D_2} \approx \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} = \frac{m_1 R_2^2}{m_2 R_1^2}, \quad (3.8)$$

де  $m$  – маса тисячі насінин;

$R$  – радіус насінини.

Для розглянутих культур співвідношення склало 1,53, оскільки пропорційність зберігається, то можна припустити, що для різних сільськогосподарських культур існує коефіцієнт  $g$ , що залежить від  $\Delta h$  та визначає ефективну дозу обробки.

$$g = \frac{\Delta h_0}{\Delta h_x}. \quad (3.9)$$

Впровадивши єдиний показник  $\Delta h_0$  рівний 1,0 кг/м<sup>2</sup>, визначимо для нього питому дозу обробки  $D_0 = 1,27$  мг/кг.

Відповідно, для обробки насіння сільськогосподарських культур [5]:

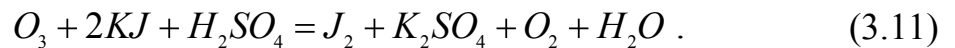
$$D_x = gD_0 = \frac{\Delta h_0}{\Delta h_x} D_0. \quad (3.10)$$

### 3.8 Методика вимірювання концентрації озону

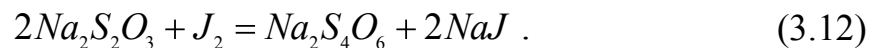
Для проведення вимірювання концентрації озону був обраний йодометричний метод, який використовується для вимірювання концентрації озону в повітрі при вмісті від 4% до 10<sup>-6</sup>%. Даний метод рекомендується для перевірки електронних газоаналізаторів, призначених для вимірювання вмісту озону в повітрі. Широке використання вище вказаного методу

пояснюється простотою проведення аналізу повітряного середовища [5].

Суть йодометричного методу вимірювання концентрації озону в повітрі полягає в наступному. Повітря, що містить озон, пропускається через розчин йодистого калію та сірчаної кислоти. В результаті хімічної взаємодії озону з йодистим калієм, виділяється еквівалентна кількість вільного йоду з рівняння:



Виділений під час цієї реакції йод протравлюється сірчаноокислим натрієм (тіосульфатом натрію) з рівняння:



Титрування проводиться за присутності індикатора – крохмалю і ведеться до знебарвлення розчину, тобто до повного з'єднання вільного йоду із сірчаноокислим натрієм.

На кожну молекулу, що вступає в реакцію озону при травленні, витрачається дві молекули тіосульфату. Таким чином, кількість тіосульфату, що витратилась на травлення, прямо пропорційна кількості озону, що вступає в реакцію, і, якщо реакція пройшла повністю, за кількістю тіосульфату можна визначити кількість озону в газі ( $C$ ) згідно з виразом:

$$C = E_0 \frac{V_m M_m}{V}, \quad (3.13)$$

де  $E_0$  – молярна маса еквівалентного озону;

$$\left[ M_m \left( \frac{1}{2} \cdot O_3 \right) = 24 \frac{\Gamma}{\text{МОЛЬ}} \right], \quad (3.14)$$

де  $M_m$  – молярна концентрація розчину тіосульфату;

$V_m$  – об'єм розчину тіосульфату, витраченого на травлення, мл;

$V$  – об'єм газу, що пройшов через розчин тіосульфату, л.



Для доведення концентрації озону до нормальних умов необхідно додатково виміряти атмосферний тиск та температуру навколишнього повітря, після чого вирахувати приведену концентрацію  $C_0$  за формулою:

$$C_0 = C \cdot \frac{P_0 \cdot T}{P \cdot T_0}, \quad (3.15)$$

де  $P$  – атмосферний тиск, мм Hg;

$P_0$  – 760 мм Hg, нормальний тиск;

$T$  – температура навколишнього повітря, К;

$T_0 = 293$  К – нормальна температура.

Визначення концентрації озону виконується в наступній послідовності. Заздалегідь із фіксалів готується буферний розчин: 13,7 г двозамінного натрію  $NaH_2PO_4$  розчиняють в 1000 мл води  $H_2O$ . Після чого, на відміну від стандартного методу, що пропонує використовувати 5% розчин, готується 0,1n буферний розчин йодиду калію  $KJ$ . Озоноповітряну суміш, вироблену досліджуваною установкою, пропускають через 40-50 мл одномолярного розчину йодиду калію  $KJ$ . Отриманий розчин після пропускання озонованого газу зливають в колбу та підкислюють 5 мг 2N розчину  $HCl$ . Виділений йод відтитрують 0,01N розчином гіпосульфїта натрію, також виготовленого з фіксанала, до блідо-жовтого забарвлення, після чого додають 1 мл 1%-го розчину крохмалю. Потім рідину дотитрують до зникнення синього забарвлення.

Вміст озону вираховують за формулою [6]:

$$C = 24 \cdot \frac{bn}{V}, \quad (3.16)$$

де  $C$  – вміст озону, мг/л;

$n$  – кількість розчину гіпосульфїта, витраченого для титрування, мл;

24 – коефіцієнт перерахунку кількості гіпосульфїта натрію на озон;

$V$  – об'єм озонованого повітря, що пройшов через розчин йодистого калію.

Об'єм озонופовітряної суміші, яка пройшла через розчин йодистого калію може бути знайдена з виразу:

$$V = \Phi t , \quad (3.17)$$

де  $\Phi$  – продуктивність установки, л/хв;

$t$  – час пропускання через 40-50 мл одномолярного розчину, хв.

Тоді:

$$C = 24 \cdot b \cdot \frac{n}{Pt} . \quad (3.18)$$

У зв'язку з тим, що йодид калію є світлочуттєвою речовиною і може розкладатися під час потрапляння на нього сонячного світла, рекомендують проводити експеримент в затемненому приміщенні [5].

### 3.9 Методика визначення схожості зернової сировини

З метою встановлення якісного впливу озону в складі сушильного агенту на показники схожості зернової сировини, проводилось визначення схожості за наступною методикою [7]. З насіння основної культури відбирають одну пробу і розділяють її на насіння основної культури і відходи. З насіння основної культури відбирають проби для пророщування.

У кожному пробі насіння поміщають етикетку із зазначенням реєстраційного номера середньої проби, номера пророщуваної проби (повторності), дат обліку енергії проростання і схожості.

Посудини для пророщування на 2/3 їх висоти наповнюють зволженим піском і розрівнюють. Потім розкладають насіння і трамбовкою вдавлюють в пісок на глибину, рівну їх товщині.

Посудини для пророщування на  $1/3$  їх висоти наповнюють зволоженим піском, розрівнюють його.

Після розкладки насіння вдавлюють трамбовкою в пісок і покривають шаром зволоженого піску близько 0,5 см.

Посудини для пророщування поміщають в термостати. Перевіряти стан зволоженості ложа слід щодня, при необхідності змочувати його водою кімнатної температури, не допускаючи перезволоження.

Необхідно забезпечувати постійну вентиляцію в термостатах. Воду в піддоні на дні термостата слід міняти через кожні 3-5 діб. Оцінку і облік пророслого насіння при визначенні енергії проростання і схожості проводять у встановлені терміни.

При цьому день закладки насіння на пророщування і день підрахунку енергії проростання або схожості вважають за одну добу.

Якщо все насіння проросло (повністю або з урахуванням загнившого) раніше встановленого терміну, то остаточний термін обліку схожості може бути скорочений, а при недостатньому розвитку проростків – продовжений до 3 діб з відміткою про це у відповідному документі.

До схожих відносять нормально проросле насіння. При обліку енергії проростання підраховують і видаляють тільки нормально проросле насіння, а при обліку схожості окремо підраховують нормально проросле, набрякле, тверде і ненормально проросле насіння.

До числа нормально пророслого насіння відносять насіння, що має:

- добре розвинені корінці (або головний зародковий корінець), що мають здоровий вигляд;

- добре розвинені і неушкоджені подсемядольное коліно (гіпокотиль) і надсемядольного коліно (епікотиль) з нормальною верхівковою брунечку;

До нормально пророслого насіння відносять також проростки з невеликими дефектами:

- з незначним поверхневим пошкодженням основних органів проростка, що не зачіпають провідні тканини;

– з нормально розвиненими органами, але прогнівшими в місцях зіткнення з хворими проростками або насінням (вторинне зараження).

До непророслого насіння відносять:

- набрякле насіння, яке до моменту остаточного обліку схожості не проросло, але має здоровий вигляд і при натиску пінцетом не роздавлюється;
- тверде насіння, яке до встановленого терміну визначення схожості не набрякло і не змінило зовнішнього вигляду.

До несхожого насіння відносять:

- загниле насіння з м'яким розкладеним ендоспермом, почорнілим або загнившим зародком і проростками з частково або повністю загнивши ми корінцями, сім'ядолями, брунькою;
- ненормально проросле насіння, що має одне з наступних порушень в розвитку проростків:
  - немає зародкових корінців або їх менше встановленої норми, або вони короткі, припинили зростання, слабкі, спіральні закручені, водянисті.

При визначенні енергії проростання і схожості насіння враховують також ураження насіння пліснявою. Середній відсоток ураженого насіння визначають візуально по чотирьом пробах і встановлюють ступінь ураження відповідно до табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Ступінь зараження насіння в залежності від відсотку ураження пліснявою

Ступінь зараження насіння	Насіння, покриті пліснявими грибками, %
Слабка	До 5
Середня	До 25
Сильна	Більше 25

Схожість і енергію проростання насіння обчислюють у відсотках.

За результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів визначення схожості всіх проаналізованих проб, якщо при визначенні схожості насіння за чотирма пробами відхилення результатів аналізу окремих

проб від середньоарифметичного значення не перевищують зазначені в табл. 3.12 або табл. 3.13, а в разі визначення схожості за двома пробами – розбіжність результатів аналізу двох проб не перевищує вказане в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Допустиме відхилення результатів аналізу проб

Середньоарифметичне значення схожості, %	Допустиме відхилення результатів аналізу окремих проб від середнього для аналізу 4·100 насінин, %
99 або 1	-2
Від 97 до 98 " від 2 до 3	±3
Від 95 до 96 " від 4 до 5	±4
Від 92 до 94 " від 6 до 8	±5
Від 88 до 91 " від 9 до 12	±6
Від 83 до 87 " від 13 до 17	±7
Від 75 до 82 " від 18 до 25	±8
Від 62 до 74 " від 26 до 38	±9
від 39 до 61	±10

Таблиця 3.13 – Допустиме відхилення результатів аналізу проб

Середньоарифметичне значення схожості, %	Допустиме відхилення результатів аналізу окремих проб від середнього для аналізу 4·500 насінин, %
99 або 1	-2
98 " 2	±4
97 " 3	±5
Від 95 до 96 " від 4 до 5	±6
Від 93 до 94 " від 6 до 7	±7
Від 90 до 92 " від 8 до 10	±8
Від 88 до 89 " від 11 до 12	±9
Від 84 до 87 " від 13 до 16	±10
Від 79 до 83 " від 17 до 21	±11
Від 74 до 78 " від 22 до 26	±12
Від 65 до 73 " від т 27 до 35;	±13
від 36 до 64	±14

При проведенні аналізу за чотирма пробами і відхиленні схожості насіння однієї з чотирьох проб від середньоарифметичного значення на величину, більшу, ніж допускається відхилення, схожість і енергію проростання обчислюють за результатами аналізу трьох інших проб, а при

відхиленні вище допустимої результатів аналізу двох проб – аналіз повторюють. Якщо при повторному пророщуванні насіння за межі допустимих відхилень виходять результати аналізу двох проб або схожість виявилася нижче норми, встановленої стандартом, то схожість і енергію проростання обчислюють як середньоарифметичне значення двох визначень, тобто по восьми проб.

Якщо при повторному аналізі розбіжність між результатами аналізу проб не перевищує допустиме, а отримані дані підтверджують кондиційність насіння, то схожість обчислюють за результатами повторного визначення. При розбіжності між результатами аналізу проб більше допустимого або при невідповідності результату нормі стандарту схожість встановлюють, обчислюючи середнє арифметичне результатів двох визначень, тобто за чотирма пробами.

Середньоарифметичне значення числа пророслих, непророслих і несхожих насінини обчислюють до десятих частках відсотка.

Результат визначення схожості та енергії проростання округлюють до цілого числа: якщо цифра, наступна за цілим числом, більше 5, то попередню цифру збільшують на одиницю, якщо ж цифра менше 5, то її відкидають, якщо цифра дорівнює 5, то останню цифру збільшують на одиницю, якщо вона непарна, і залишають без зміни, якщо вона парна або нуль.

### **3.10 Обґрунтування раціональних параметрів дослідного віброозонуючого комплексу**

Базуючись на отриманих результатах попередніх експериментальних досліджуваних процесів сушіння зернової сировини за використання розробленого віброозонуючого комплексу, виконано статистичний аналіз параметрів якості отриманої сировини (табл. 3.14).

Серед основних критеріїв оцінювання процесу сушіння зернової

сировини було обрано кінцеву вологість зернової сировини  $W_k$ , %, та енерговитрати на привод віброозонуючого комплексу  $N$ , кВт·год, які характеризуються впливом чотирьох найбільш вагомих факторів, що визначають кінетику даної обробки: віброприскорення  $a$ , м/с<sup>2</sup> – як комплексний параметр динамічного стану системи; температуру сушильного агента  $T_{CA}$ , °С; концентрацію озону  $N_{O_3}$ , мг/м<sup>3</sup>, час обробки  $t_o$ , хв.

$$W_k = f(a, T_{CA}, N_{O_3}, t_o), \quad (3.19)$$

$$N = f(a, T_{CA}, N_{O_3}, t_o), \quad (3.20)$$

де  $a$  – віброприскорення, м/с<sup>2</sup>;

$T_{CA}$  – температура сушильного агента, °С;

$N_{O_3}$  – концентрація озону, мг/м<sup>3</sup>;

$t_o$  – час обробки, хв.

Визначення впливу перерахованих вище факторів на параметри досліджуваного процесу під час здійснення однофакторних експериментів пов'язане зі значними труднощами та об'ємами робіт. Тому доцільніше виконати статистичний аналіз для одержання функціональної залежності у вигляді множинної регресії другого порядку за допомогою рототабельного центрально-композиційного планування (РЦКП) багатфакторного експерименту [8-10].

Метод РЦКП дає змогу більш точно отримати математичний опис розподілу даних за рахунок збільшення кількості експериментів у центральних точках матриці плану і спеціального вибору величини «зіркового значення»  $\alpha$ .

Кількість факторів (РЦКП) становить:

$$k = k_j + 2n + k_0, \quad (3.21)$$

де  $k_j$  – кількість факторів у ядрі плану;

$n$  – кількість факторів;

$2n$  – кількість досліджень у зіркових точках;

$k_0$  – кількість факторів у центрі плану з координатами (0,0-0).

Рототабельність композиційного плану відбувається за умови, що зіркове значення  $\alpha$  вибирається з інтервала  $\alpha^{\frac{n}{4}}$  при  $n \leq 5$ , тобто для трифакторного експерименту  $\alpha = 1,682$ , для чотири –  $\alpha = 4$ .

Аналіз статистичних характеристик одержаних результатів показав, що коефіцієнти їх асиметрії прямують до нуля, тобто розподіл експериментальних даних є симетричним та апроксимується за нормальним законом.

За негативного значення асиметрії несиметричність вибірки за зміщенням центру розподіляється праворуч, у протилежному разі – навпаки. Негативний коефіцієнт ексцесу свідчить про закругленість піка досліджуваного розподілу, додатній – про загостреність вершин [4].

Також було встановлено інтервали групування вихідних зразків отриманої зернової сировини за якісними характеристиками досліджуваного процесу (табл. 3.15).

Графічна інтерпретація даних таблиці 3.14 виражена на рис. 3.17.

Вибір діапазонів варіювання факторів функцій (3.19), (3.20) проводився таким чином, щоб будь-яка їх сукупність, передбачена планом експерименту, могла бути реалізована в даних інтервалах і не призводила до протиріч. Для цього було здійснено пошукові експерименти для визначення областей, у яких необхідні сполучення рівнів факторів були б стійко реалізовані.

Усі фактори, які входять у функції (3.19), (3.20), є величинами, що мають різну розмірність, а значення цих величин факторів мають різні порядки. Тому, для отримання поверхні відгуку цих функцій було здійснено операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [12].

Встановлено такі значення рівнів факторів в умовному масштабі:



мінімальний  $-1$ , середній  $0$ , максимальний  $+1$  та зіркові значення  $-\alpha$ ;  $+\alpha$ .

Істинні значення факторів матриці РЦКП встановлені на основі здійснення пошукових експериментів і наведені в табл. 3.15.

Для проведення РЦКП повнофакторного експерименту було складено матриці планування експериментів, які подані в таблицях (додаток А).

Заплановано отримати рівняння множинної регресії 2-го порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_{ij} x_{ij}, \quad (3.22)$$

де  $y$  – одна з якісних функцій  $W, N$ ;

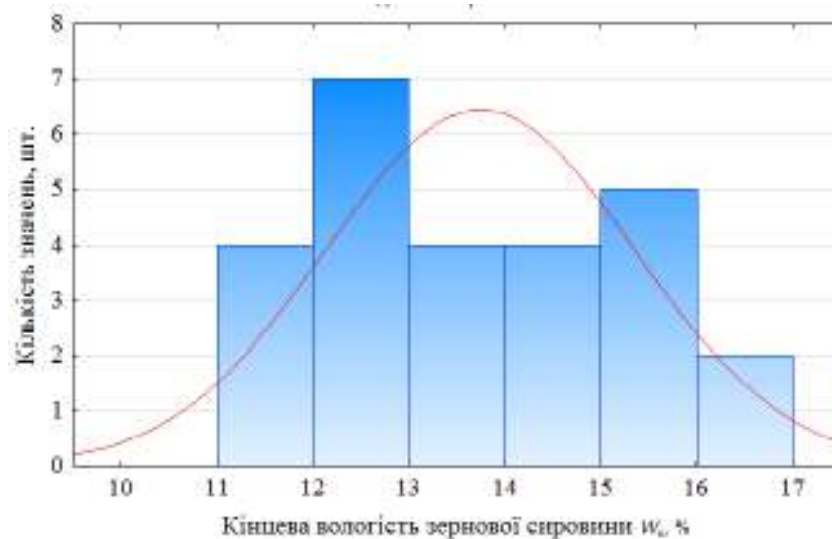
$b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії, отримані методом найменших квадратів.

Таблиця 3.14 – Статистична характеристика параметрів якості вихідної сировини

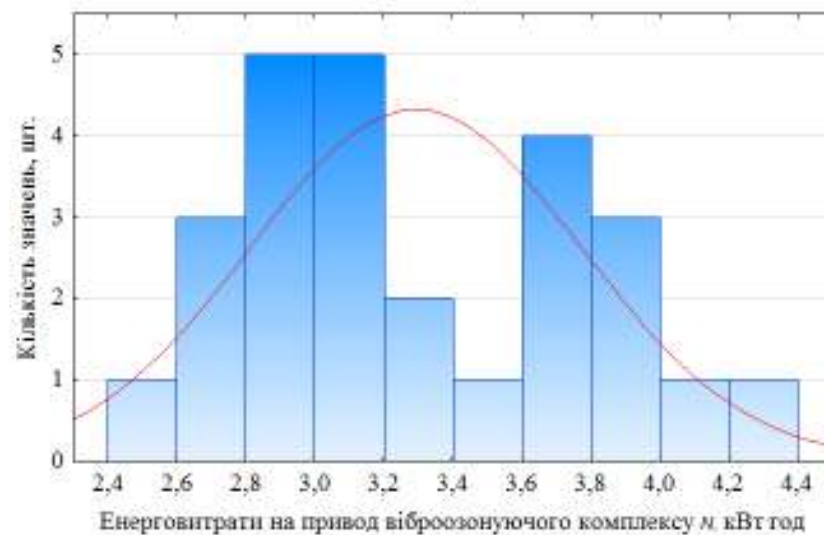
Показник	$W_k, \%$	$N, \text{кВт} \cdot \text{год}$
1	2	3
Кількість факторів, шт	26	26
Середнє значення	13,74	3,29
Критерій Граббса	1,71	1,91
Геометричне середнє	13,65	3,25
Гармонічне середнє	13,56	3,22
Медіана	13,9	3,09
Мода	Множина	Множина
Частота моди	2	2
Сума	357,4	85,61
Мінімум	11,1	2,6

Продовження табл. 3.14

1	2	3
Максимум	16,5	4,21
Статистичне відхилення	1,6	0,47
Довірчий інтервал статистичного відхилення -95%	1,26	0,37
Довірчий інтервал статистичного відхилення +95%	2,22	0,66



а)



б)

а – кінцева вологість зернової сировини  $W_k$ , %; б – енерговитрати на привод віброозонуючого комплексу  $N$ , кВт·год

Рисунок – 3.17 Гістограма розподілу отриманих даних якісних параметрів досліджуваного процесу

Таблиця 3.15 – Інтервали групування вихідних зразків якісних параметрів досліджуваних процесів

Межі групування	Експериментальні дані		Очікуваний нормальний розподіл	
	Частота	%	Частота	%
за кінцевою вологістю зернової сировини				
$10 < x \leq 11$	0	0	1,14	4,39
$11 < x \leq 12$	4	15,38	3,61	9,49
$12 < x \leq 13$	7	26,92	8,35	18,24
$13 < x \leq 14$	4	15,38	14,62	24,12
$14 < x \leq 15$	4	15,38	20,33329	21,93
$15 < x \leq 16$	5	19,23	23,90239	13,72
$16 < x \leq 17$	2	7,69	25,43861	5,90
за енерговитратами на привод віброозонуючого комплексу				
$2,4 < x \leq 2,6$	1	3,84	1,93	7,43
$2,6 < x \leq 2,8$	3	11,53	3,95	7,78
$2,8 < x \leq 3,0$	5	19,23	7,04	11,86
$3,0 < x \leq 3,2$	5	19,23	11,00	15,24
$3,2 < x \leq 3,4$	2	7,69	15,30	16,50
$3,4 < x \leq 3,6$	1	3,84	19,21	15,06
$3,6 < x \leq 3,8$	4	15,38	22,22	11,57
$3,8 < x \leq 4,0$	3	11,53	24,17	7,49
$4,0 < x \leq 4,2$	1	3,84	25,2	4,08
$4,2 < x \leq 4,4$	1	3,84	25,72	1,88

Таблиця 3.16 – Рівні факторів та їх інтервали варіювання

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$	
Процес сушіння зернової сировини						
$x_1$ – віброприскорення, $m/s^2$	10	15	20	25	30	5
$x_2$ – температура сушильного агента, $^{\circ}C$	45	50	55	60	65	5
$x_3$ – концентрація озону, $mg/m^3$	6	8	10	12	14	2
$x_4$ – час обробки, хв.	100	130	160	190	220	30

### 3.11 Висновки за 3 розділом

1. Запропоновано та розроблено віброозонуючий комплекс для реалізації технологічного процесу сушіння зернової сировини, в якому продукція, що обробляється, піддається вібраційному впливу з одночасною подачею сушильного агента, який є сумішшю підігрітого повітря та озону певної концентрації.

2. Визначено методики та програму досліджень, які передбачають структуру та алгоритм теоретичних і експериментальних досліджень із визначенням оптимальних технологічних та раціональних параметрів розробленого обладнання із врахуванням комплексу означених процесів.

### Список використаних джерел до 3 розділу

1. Цуркан О.В., Пришляк В.М., Присяжнюк Д.В. Інтенсифікація сушіння зерна у процесі його післязбиральної обробки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2017. № 2 (97). С. 99-104.

2. ДСТУ-НБА 3.2-1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і

шкідливих факторів. Київ, 2007. 22 с.

3. Атаназевич В.И. Сушка зерна. Москва, 2007. 480 с.

4. Ткачик С.О. Методика проведення фітопатологічних досліджень за штучного зараження рослин. Київ, 2014. 76 с.

5. Нормов Д.О. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. Краснодар, 2009. 307 с.

6. Вигдорович В.Н., Исправников Ю.А., Нижаде-Гавиани Э.А. Проблемы озонпроизводства и озонобработки и создание озоногенераторов второго поколения. Москва, 1994. 112 с.

7. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ, 2003. 173 с.

8. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры ). Киев, 1980. 264 с.

9. Бойко Н.Г., Устименко Т.А. Теория и методы инженерного эксперимента. Донецк, 2009. 158 с.

10. Боровиков В.П., Боровиков И.П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. Москва, 1997. 608 с.

11. Дрейп Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Москва, 1981. 252 с.

12. Бараз В.Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel. Екатеринбург, 2005. 102 с.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОЗРОБЛЕНОГО ВІБРООЗОНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ

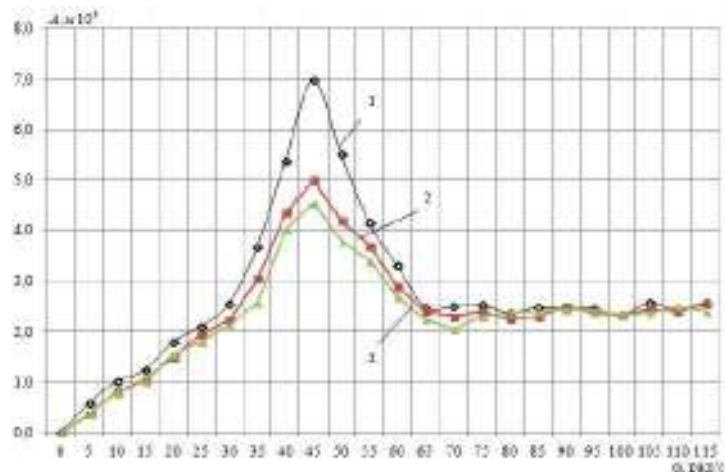
#### 4.1 Характеристика динамічних параметрів розробленого віброозонуючого комплексу

Експериментальні дослідження виконано із використанням у якості оброблюваного матеріалу зерна озимої пшениці. Вимірювання технологічних та якісних показників проводилося згідно із прийнятою методикою (див. розділ 3).

На рис. 4.1 зображено експериментальну залежність амплітуди коливань сушильної камери від кутової швидкості обертання дебалансного валу при експлуатаційних параметрах змушуючої сили  $F=2,95$  кН. Із залежності випливає, що зі зростанням величини кутової швидкості  $\omega$  експериментальна крива амплітуди коливань сушильної камери  $A$  складається з трьох ділянок: дорезонансної, у якій поступово відбувається зростання амплітуди  $A=2,5$  мм у діапазоні значень кутової швидкості  $\omega=0-30$  рад/с; резонансну, де спостерігається максимальне значення амплітуди  $A=7$  мм при  $\omega=30-65$  рад/с; зарезонансну, де відбувається стабілізація амплітуди коливань у межах  $A=2,2-2,5$  мм. З підвищенням ступеня завантаженості загального об'єму робочої камери віброозонуючого комплексу пікові значення амплітуди коливань (в резонансному періоді) зменшуються внаслідок зростання дисипативних сил технологічного середовища.

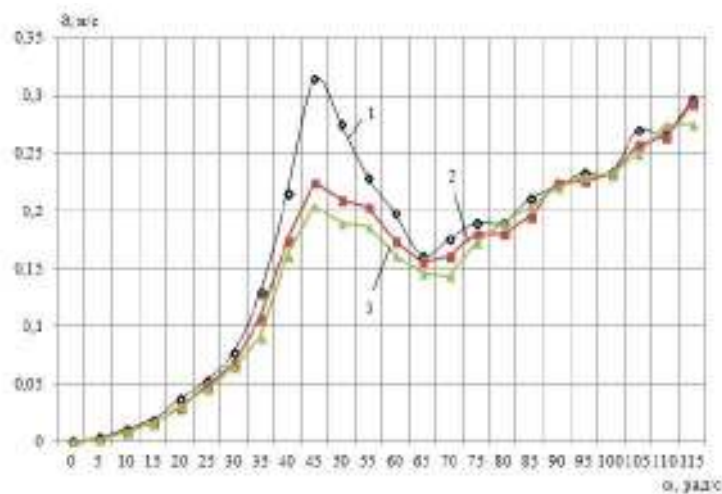
Аналіз експериментальної залежності віброшвидкості сушильної камери віброозонуючого комплексу від кутової швидкості обертання дебалансного валу (рис. 4.2) показав пікові значення 320 мм/с, які є наслідком явища резонансу при 46-48 рад/с, після чого залежність набуває лінійного характеру зростання із значенням 280 мм/с за експлуатаційного

режиму роботи.



1 – при відсутності технологічного завантаження; 2 – при завантаженні 50 % від загального об'єму контейнера; 3 – при завантаженні 75 % від загального об'єму сушильної камери

Рисунок 4.1 – Залежність амплітуди коливань сушильної камери від кутової швидкості обертання дебалансного валу

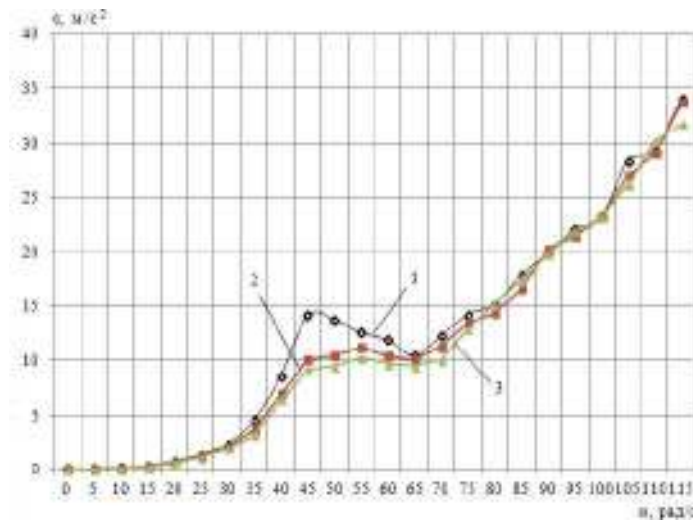


1 – при відсутності технологічного завантаження; 2 – при завантаженні 50 % від загального об'єму сушильної камери; 3 – при завантаженні 75 % від загального об'єму сушильної камери

Рисунок 4.2 – Залежність віброшвидкості від кутової швидкості обертання дебалансного валу

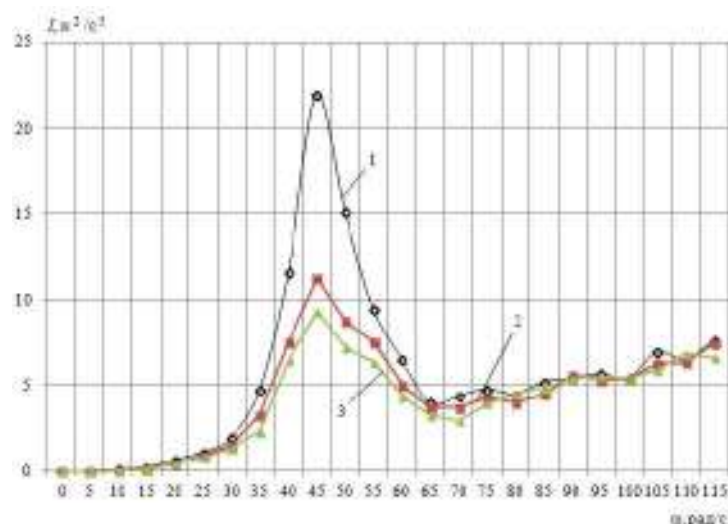
Також було визначено експериментальну залежність віброприскорення та віброінтенсивності сушильної камери від кутової швидкості обертання

дебалансного валу (рис. 4.3, 4.4).



1 – при відсутності технологічного навантаження; 2 – при навантаженні 50 % від загального об'єму сушильної камери; 3 – при навантаженні 75 % від загального об'єму сушильної камери

Рисунок 4.3 – Експериментальна залежність віброприскорення від кутової швидкості обертання дебалансного валу



1 – при відсутності технологічного навантаження; 2 – при навантаженні 50% від загального об'єму сушильної камери; 3 – при навантаженні 75 % від загального об'єму сушильної камери

Рисунок 4.4 – Експериментальна залежність віброінтенсивності від кутової швидкості обертання дебалансного валу



На отриманих графічних залежностях чітко відображено їх пікові значення, які виникають внаслідок явища резонансу при 46-48 рад/с, після чого залежність набуває лінійного характеру зростання.

#### 4.2 Визначення енергетичних характеристик віброозонуючого комплексу

До енергетичних параметрів віброозонуючого комплексу можна віднести електричну потужність, яка витрачається на нагрів сушильного агента з допомогою електричних елементів (тенів)  $N_{HE}$ ; потужність, яка витрачається електродвигуном приводу дебалансного валу  $N_{ЦДВ}$ ; потужність, яка витрачається електродвигуном приводу вентилятора  $N_{ПВ}$  та електронним пристроєм синтезу озону  $N_{ПСО}$ .

На рис. 4.5 зображено зміну споживаної потужності електричними нагрівальними елементами в залежності від температури сушильного агента при діапазоні швидкостей руху сушильного агента  $V_{CA} = 1,5$  м/с.

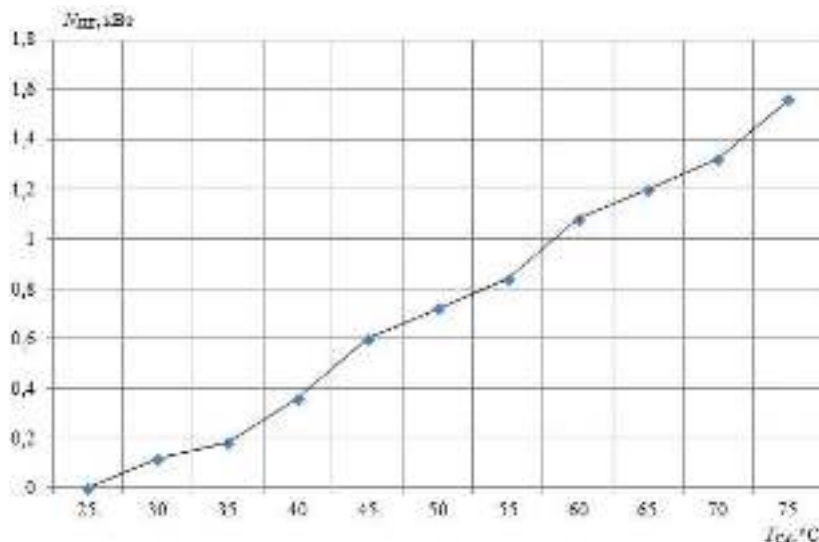
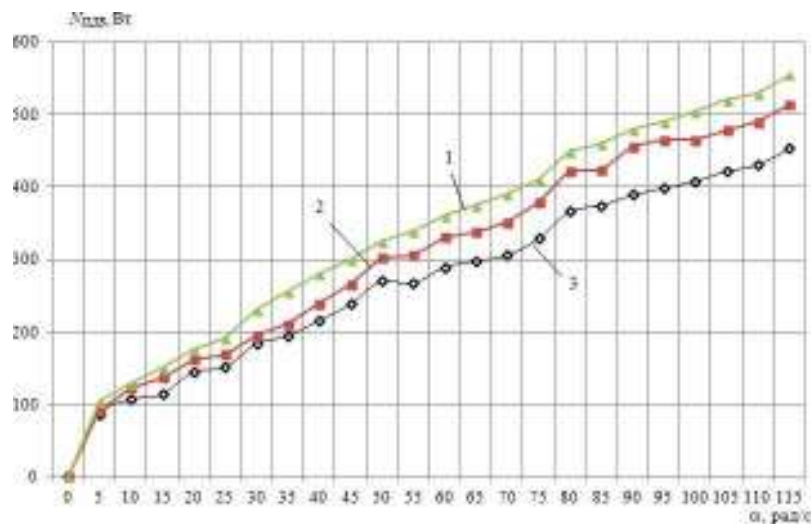


Рисунок 4.5 – Зміна споживаної потужності електричними нагрівальними елементами в залежності від температури сушильного агента

З поданої залежності видно, що зі зростанням температури сушильного агента  $T_{CA}$  споживана потужність  $N_{HE}$  нагрівними електричними елементами збільшується практично пропорційно.

Також під час аналізу енергетичних характеристик досліджуваного віброозонуючого комплексу було виявлено збільшення споживаної потужності електродвигуном приводу дебалансного валу залежно від загального об'єму завантаження сушильної камери, що при робочій кутовій швидкості  $\omega=90$  рад/с становить:  $N_{ПДВ}=480$  Вт при 75 % завантаження;  $N_{ПДВ}=450$  Вт при 50 % завантаження;  $N_{ПДВ}=390$  Вт при відсутньому технологічному навантаженні (рис. 4.6).

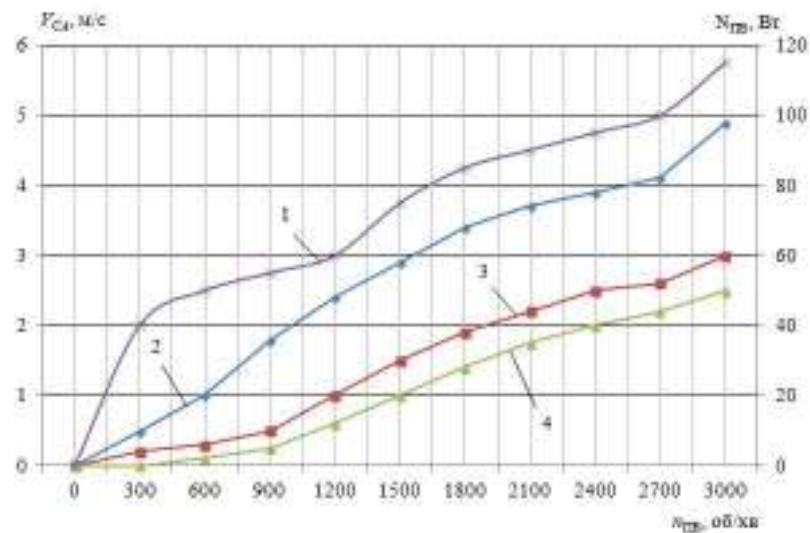


1 – при завантаженні 75 % від повного об'єму камери; 2 – при завантаженні 50 % від повного об'єму камери; 3 – при відсутності технологічного завантаження

Рисунок 4.6 – Зміна споживаної потужності електродвигуном приводу дебалансного валу в залежності від кутової швидкості та ступеня технологічного завантаження сушильної камери

При визначенні енергетичних характеристик віброозонуючого комплексу досліджувались зміни спожитої потужності та швидкості сушильного агента в залежності від частоти обертання електродвигуна приводу вентилятора (рис. 4.7).

Із експериментально отриманої кривої можна зробити висновок, що із збільшенням частоти обертання електродвигуна зростає споживана ним потужність. Крім того, на максимальних обертах електродвигуна  $n_{ПВ}=3000$  об/хв споживана ним потужність  $N_{ПВ}=115$  Вт при швидкості сушильного агента  $V_{СА}=4,9$  м/с (за відсутності технологічного завантаження сушильної камери);  $V_{СА}=3$  м/с (при завантаженні 50 % від повного об'єму сушильної камери);  $V_{СА}=2,5$  м/с (при завантаженні 75 % від повного об'єму сушильної камери).



- 1 – залежність зміни спожитої потужності від частоти обертання;  
 2 – залежність зміни швидкості руху сушильного агента від частоти обертання електродвигуна при відсутності технологічного завантаження сушильної камери; 3 – залежність зміни швидкості руху сушильного агента від частоти обертання електродвигуна при завантаженні 50 % від повного об'єму сушильної камери; 4 – залежність зміни швидкості руху сушильного агента від частоти обертання електродвигуна при завантаженні 75 % від повного об'єму сушильної камери

Рисунок 4.7 – Енергетичні характеристики електродвигуна приводу вентилятора

На рис. 4.8 зображено зміну спожитої потужності електронним

пристроєм синтезу озону  $N_{\text{PCO}}$  в залежності від згенерованої ним концентрації озону  $N_{\text{O}_3}$ .

Як видно із експериментально отриманої кривої, із збільшенням концентрації озону  $N_{\text{O}_3}$  споживана потужність  $N_{\text{PCO}}$  зростає практично прямо пропорційно.

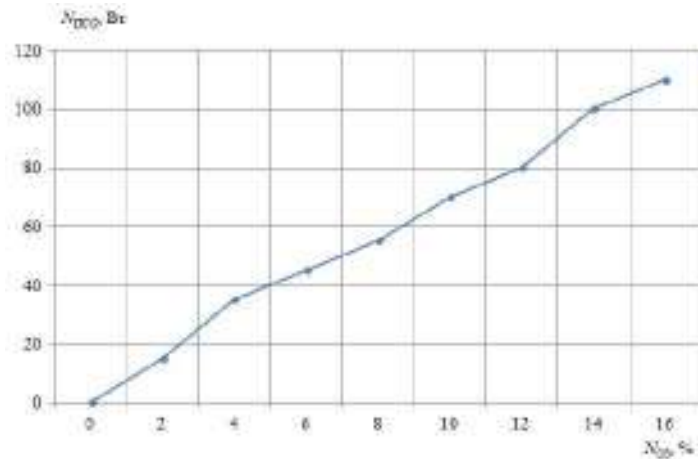
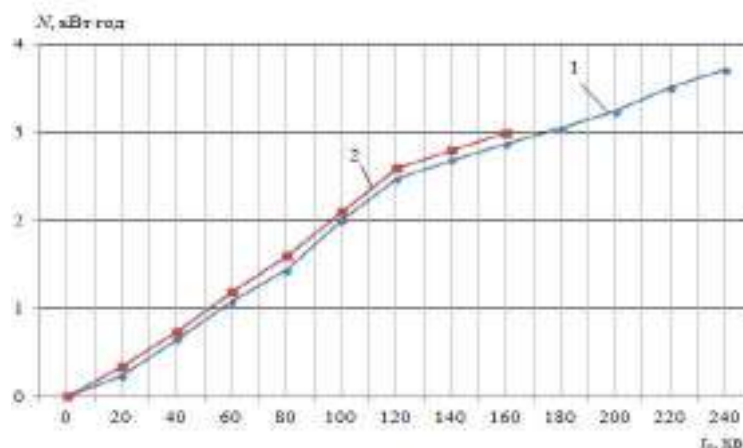


Рисунок 4.8 – Зміна спожитої потужності електронним пристроєм синтезу озону в залежності від згенерованої ним концентрації озону

На основі визначених енергетичних характеристик розробленої машини отримаємо залежність загальних енерговитрат від тривалості обробки  $t_o$  (рис. 4.9).



1 – без озону в складі сушильного агента; 2 – з озоном в складі сушильного агента

Рисунок 4.9 – Зміна загальних енерговитрат розробленою машиною в залежності від типу обробки

Аналіз рис. 4.9 засвідчив, що питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю  $W_k=14\%$  при початковій вологості  $W_n=20\%$  становлять: за використання класичної технології з подачею теплоагенту температурою  $50\text{ }^\circ\text{C}$  при тривалості обробки 240хв. – 112,93 Вт·год/кг або 18,82 Вт·год/кг на 1% випаруваної вологи (406,54 КДж/кг або 67,75 КДж/кг на 1% випаруваної вологи); за використання комплексного теплофізичного впливу при тривалості обробки 160 хв. – 91,01 Вт·год/кг або 15,16 Вт·год/кг на 1% випаруваної вологи (327,63 КДж/кг або 54,6 КДж/кг на 1 % випаруваної вологи).

### **4.3 Встановлення експлуатаційних параметрів досліджуваного процесу сушіння зернової сировини**

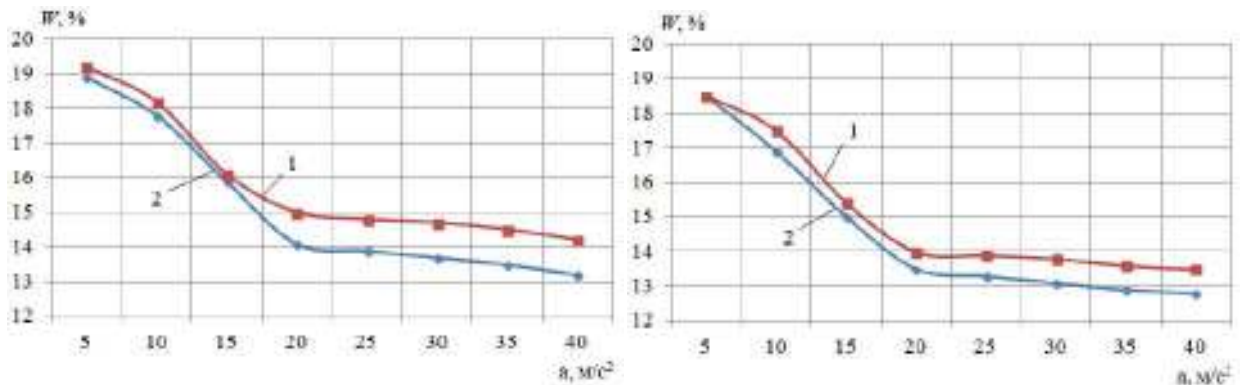
#### **4.3.1 Оцінка отриманої зернової сировини за вібраційної дії**

При дослідженні показників якості процесу сушіння розробленої машини проведено ряд експериментів із зерною сировиною за вібраційної дії та відсутності озону. Експерименти проводились на штучно зволоженій до 20% (за вище описаною методикою в розділі 3) м'якій пшениці, оцінка якої полягала у встановленні показників її вологості в залежності від температури теплоагенту та віброприскорення сушильної камери (рис. 4.10). Тривалість обробки  $t_o$  становила 240 хв. при швидкості теплоагенту  $V_{CA}=1,5\text{ м/с}$  і температурі  $t_{CA}=45-65\text{ }^\circ\text{C}$ . Заміри показників проводились кожні 10 хв.

Ґрунтуючись на отриманих даних кінетики процесу сушіння зернової сировини, можна зробити висновок, що підвищення температури сушильного агента сприяє пришвидшенню вологовиділення, при чому температура вище  $55\text{ }^\circ\text{C}$  не дає суттєвих результатів. Тобто, температура сушильного агента вище зазначеного значення є не доцільною з точки зору енерговитрат на

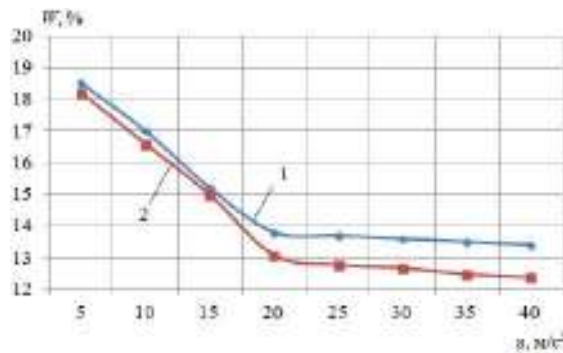
живлення електричних нагрівних елементів.

Крім того, найбільш інтенсивне вологовиділення із зернового матеріалу відбувається при віброприскоренні  $a = 20-22,5 \text{ м/с}^2$ , після чого залишається на рівні. Отже, віброприскорення вище вказаного значення є не раціональним, оскільки його підвищення не сприяє істотному зниженню рівня вологи, а лише веде до зростання споживаних енерговитрат.



а)

б)



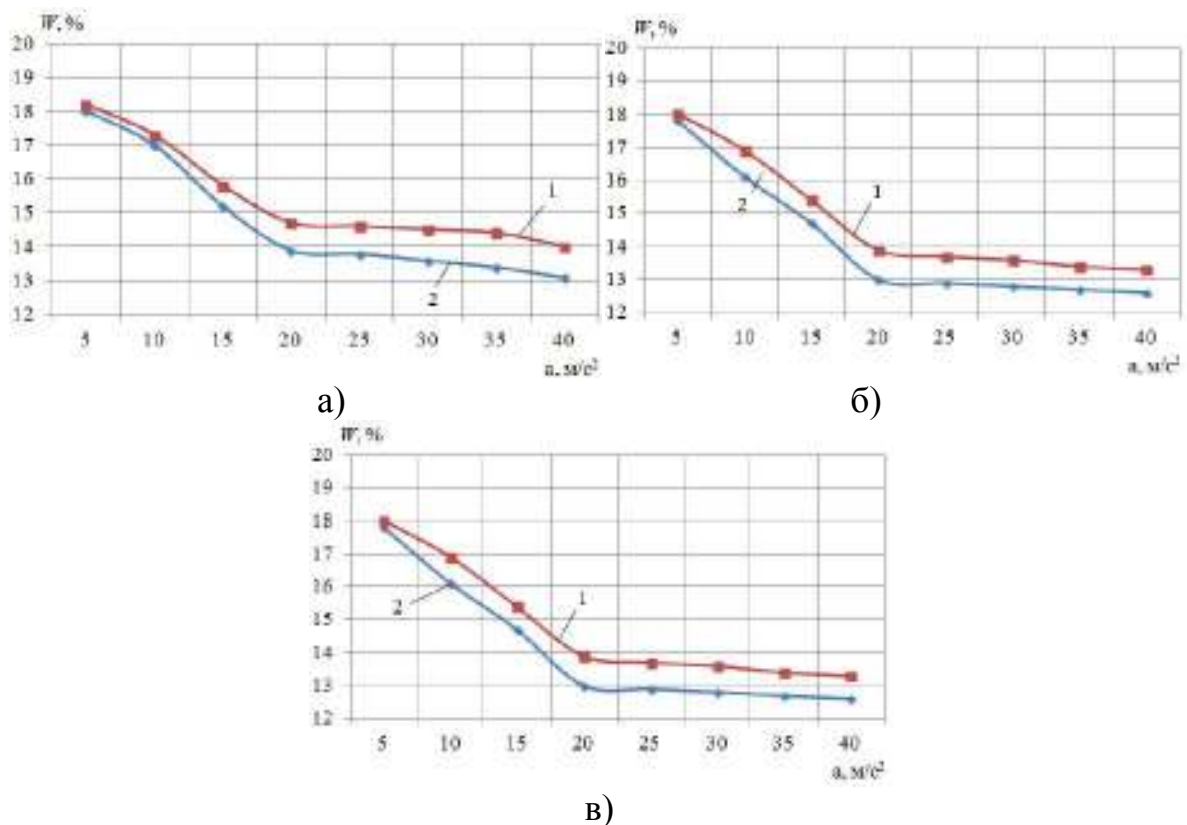
в)

а – при температурі сушильного агенту 45 °С; б – при температурі сушильного агенту 55 °С; в – при температурі сушильного агенту 65 °С; 1 – при технологічному завантаженні сушильної камери 75% від повного об'єму; 2 – при технологічному завантаженні сушильної камери 50% від повного об'єму

Рисунок 4.10 – Залежність зміни вологості зернової сировини в залежності від віброприскорення

### 4.3.2 Оцінка отриманої зернової сировини за комплексної віброозонуючої дії

При експериментальних дослідженнях розробленого комплексу здійснено аналіз впливу комплексної теплофізичної дії на показники якості обробленої сировини, яку попередньо було зволожено та заражено спорами грибків головні і фузаріуму.



а – при температурі сушильного агента 45 °С; б – при температурі сушильного агента 55 °С; в – при температурі сушильного агента 65 °С;  
1 – при технологічному завантаженні сушильної камери 75% від повного об'єму; 2 – при технологічному завантаженні сушильної камери 50 % від повного об'єму

Рисунок 4.11 – Залежність зміни вологості зернової сировини в залежності від віброприскорення

Отримана зернова сировина оцінювалася за такими показниками, як

кінцева вологість, схожість, стан осіменіння грибками головні і фузаріуму в залежності від температури сушильного агенту, концентрації озону в його складі та часу обробки.

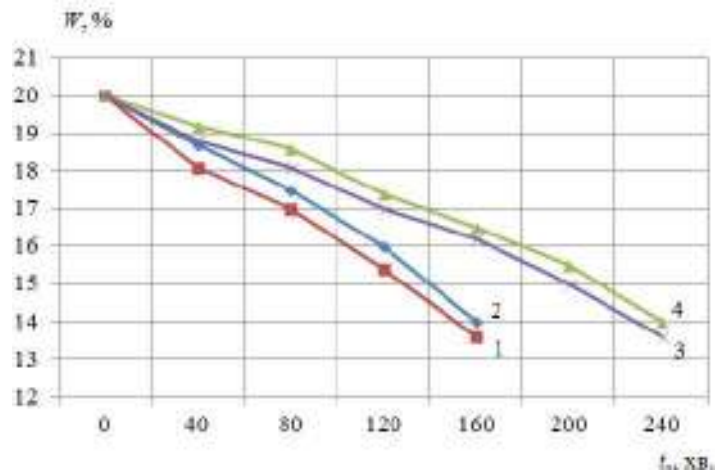
Кінцева вологість зерна при технологічному завантаженні сушильної камери 50% та 75% від повного об'єму визначалась при обробці його сушильним агентом температурою 45 °С, 55 °С та 65 °С, у складі якого був присутній озон концентрацією  $N_{O_3}=10$  мг/м<sup>3</sup> за рекомендаціями досліджень [1] (рис. 4.11). Тривалість обробки  $t_o$  становила 160 хв при швидкості сушильного агенту  $V_{CA}=1,5$  м/с.

Базуючись на отриманих даних кінетики процесу сушіння зернової сировини при концентрації озону в складі сушильного агенту  $N_{O_3}=10$  мг/м<sup>3</sup>, очевидно, що підвищення його температури до 55 °С сприяє інтенсивному вологовиділенню, при чому температура вище зазначеного значення не дає суттєвих результатів і призводить до зайвих енерговитрат.

Крім того, найінтенсивніше волога із зернового матеріалу виділяється при віброприскоренні  $a=20-25$  м/с<sup>2</sup>, після чого істотно не змінюється. Звідси випливає, що підвищення віброприскорення сушильної камери понад вказаного значення є не ефективним, оскільки не сприяє істотному зниженню рівня вологи, а лише веде до зростання енерговитрат на привод дебалансного валу.

Порівнюючи криві сушіння зернової сировини за умови вібраційної та віброозонуючої дії умов, очевидно, що тривалість обробки з використанням озону у складі сушильного агенту  $N_{O_3}=10$  мг/м<sup>3</sup> скорочує тривалість даного процесу на  $\Delta t_o=80$  хв., а отже знижує енерговитрати даної технологічної операції (рис. 4.12).



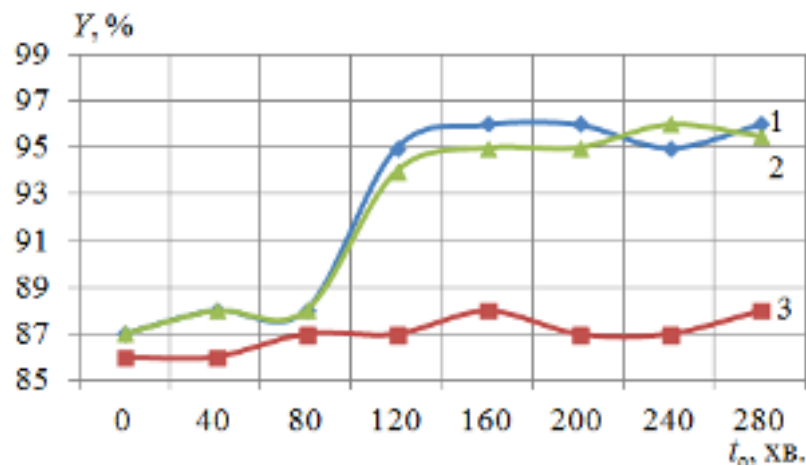


1, 2 – за використання озону у складі сушильного агенту (при технологічному завантаженні сушильної камери 50% та 75% від повного об'єму відповідно);

3, 4 – за використання вібраційного сушіння (при технологічному завантаженні сушильної камери 50% та 75% від повного об'єму відповідно)

Рисунок 4.12 – Кінетика сушіння зернової сировини

Визначено залежність схожості пшениці сорту «Царівна» від часу обробки та концентрації озону у складі сушильного агенту (рис. 4.13).



1 – при концентрації озону 10 мг/м<sup>3</sup>; 2 – при концентрації озону 15 мг/м<sup>3</sup>;

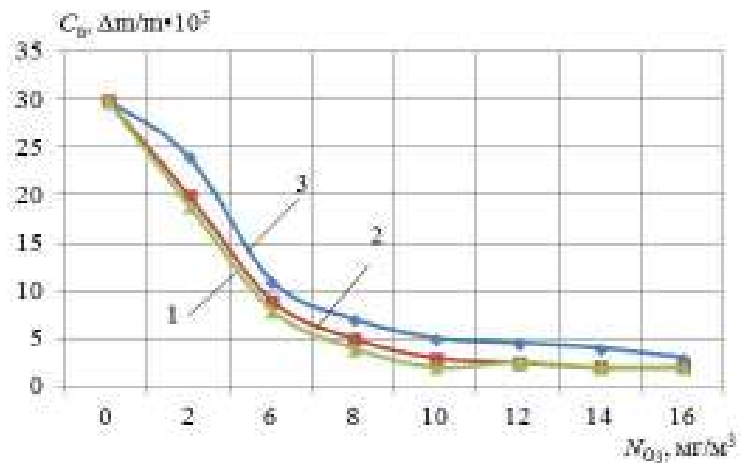
3 – при відсутності озону у складі сушильного агенту

Рисунок 4.13 – Схожість отриманої зернової сировини в залежності від концентрації озону

Експериментально отримані залежності показують, що озон позитивно

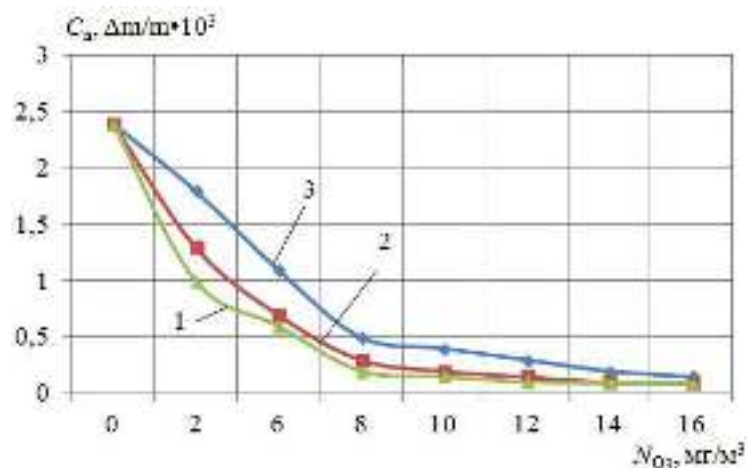
впливає на схожість обробленої сировини. При чому, схожість зростає на 3% у порівнянні з сушінням без озонування. Найоптимальнішою концентрацією озону є  $10 \text{ мг/м}^3$ , оскільки вища концентрація не має істотного впливу на схожість обробленої озимі пшениці і становить в межах 0,5%.

Також досліджувались знезаражувальні властивості озону в складі сушильного агенту при дії на осіменіння грибків головні і фузаріуму (рис. 4.14, 4.15).



1 – при тривалості обробки  $t_o=180$  хв; 2 – при тривалості обробки  $t_o=160$  хв;  
3 – при тривалості обробки  $t_o=140$  хв

Рисунок 4.14 – Стан грибової зараженості озимі пшениці спорами головні



1 – при тривалості обробки  $t_o=180$  хв; 2 – при тривалості обробки  $t_o=160$  хв;  
3 – при тривалості обробки  $t_o=140$  хв

Рисунок 4.15 – Стан грибової зараженості озимі пшениці спорами фузаріуму

Аналізуючи отримані залежності, можна зробити висновок, що озон у складі сушильного агенту знижує стан осіменіння спорами головні і фузаріуму найоптимальніше при концентрації  $N_{O_3} = 8-10$  мг/м<sup>3</sup> при тривалості обробки  $t_o = 160$  хв., оскільки більші значення концентрації і часу обробки не призводять до істотних змін.

#### 4.4 Результати експериментальних досліджень

Після обробки експериментальних даних у статистичному середовищі STATISTICA 10.0 було отримано коефіцієнти комплексних рівнянь множинної регресії 2-го порядку та побудовано такі залежності:

– кінцева вологість зернової сировини від віброприскорення камери, температури сушильного агенту, концентрації озону та часу обробки:

$$W_{\kappa} = 33,23 + 0,22a - 0,134T_{CA} - 0,627N_{O_3} - 0,074t_o - 0,001(a)^2 - 0,001(T_{CA})^2 - 0,015(N_{O_3})^2 - 0,011a \cdot N_{O_3} + 0,01T_{CA} \cdot N_{O_3} + 0,002N_{O_3} \cdot t_o; \quad (4.1)$$

– енерговитрати на привод віброозонуючого комплексу від віброприскорення камери, температури сушильного агенту, концентрації озону та часу обробки:

$$N = 11,828 - 0,005a - 0,303T_{CA} - 0,335N_{O_3} - 0,011t_o + 0,001(a)^2 + 0,003(T_{CA})^2 + 0,01(N_{O_3})^2 + 0,001N_{O_3} \cdot t_o. \quad (4.2)$$

Також на основі отриманих експериментальних даних побудовано карти Парето ефектів для оцінки впливу факторів на кінцеву вологість зернової сировини (рис. 4.16) та споживані енерговитрати розробленого віброозонуючого комплексу (рис. 4.17).

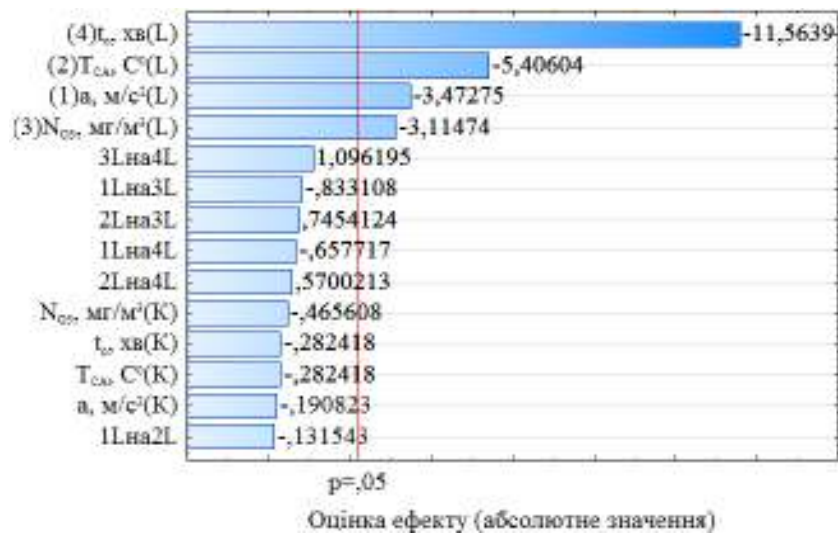


Рисунок 4.16 – Карта Парето ефектів для оцінки впливу факторів на кінцеву вологість зернової сировини

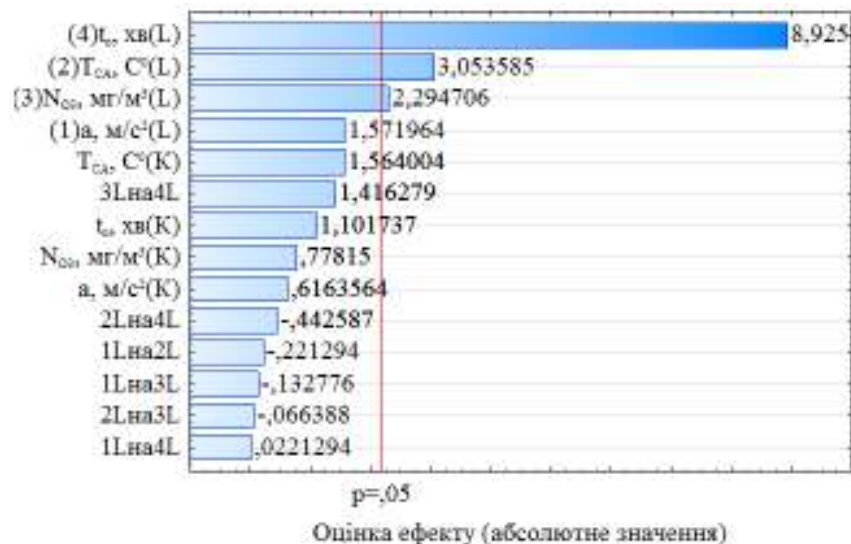
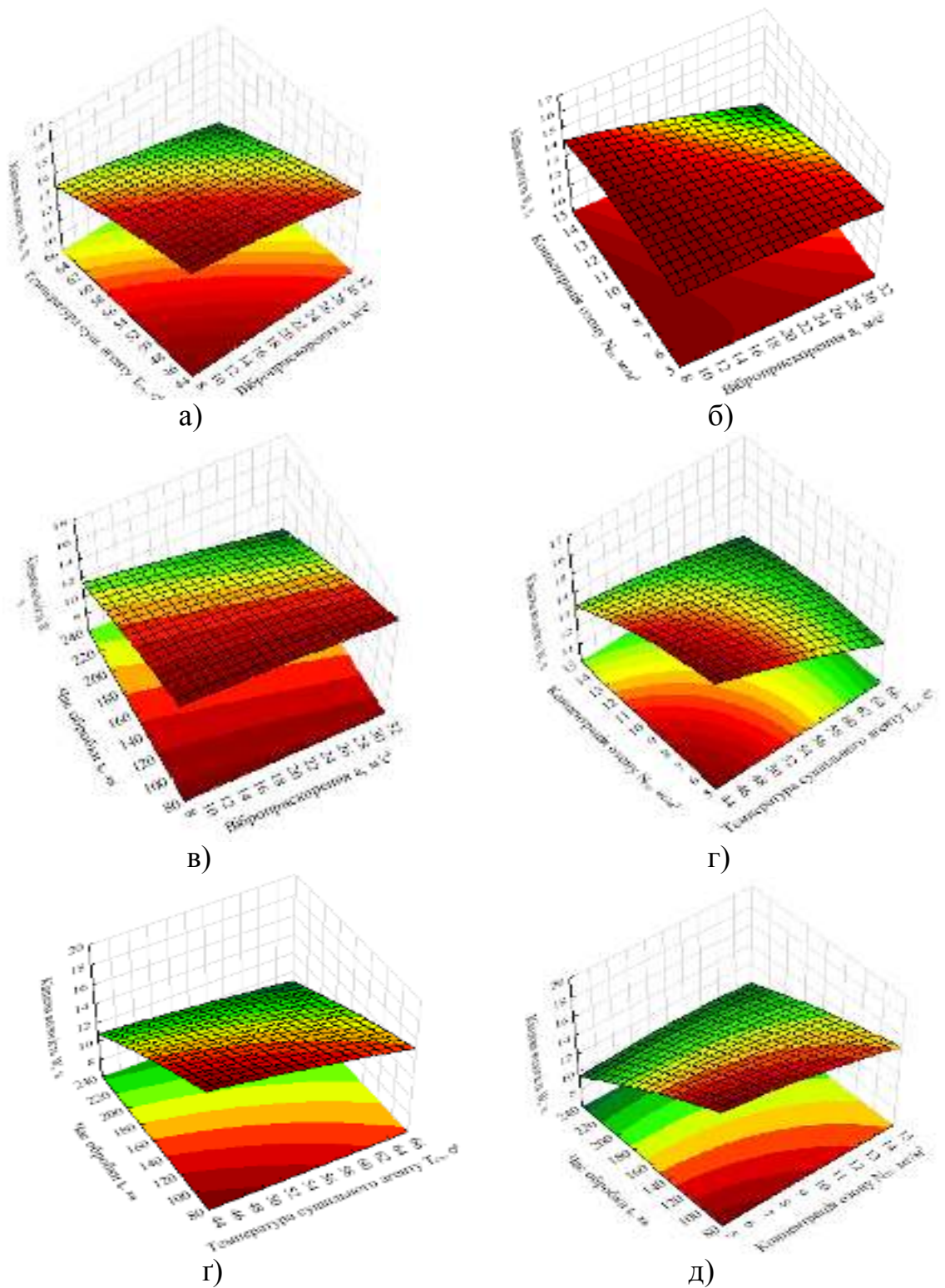


Рисунок 4.17 – Карта Парето ефектів для оцінки впливу факторів на споживані енерговитрати розробленого віброозонуючого комплексу

Згідно отриманих карт, на кінцеву вологість зернової сировини та споживані енерговитрати розробленого віброозонуючого комплексу найбільше впливають час обробки  $t_o$  та температура сушильного агента  $T_{ca}$ .

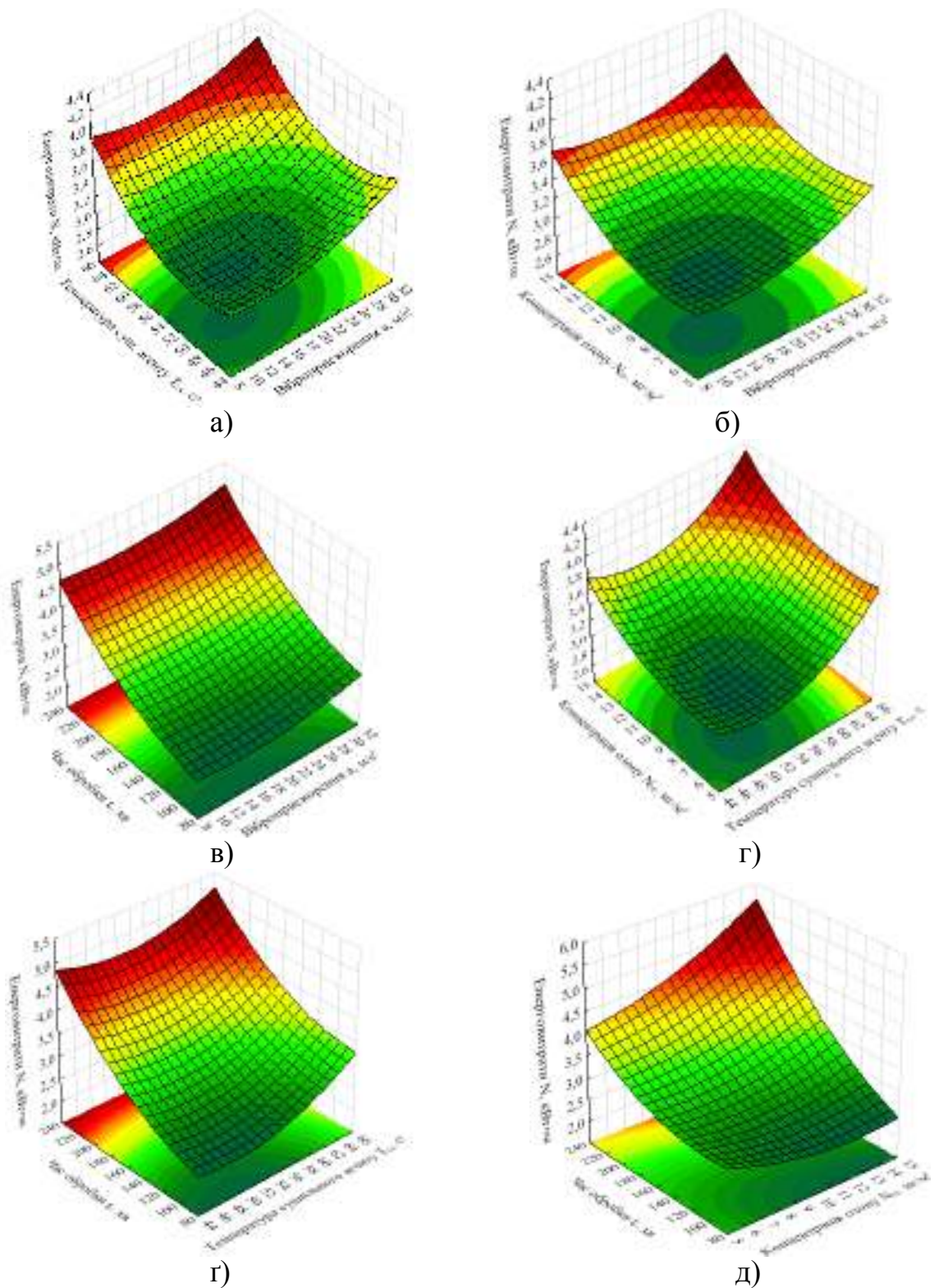
За результатами проведених експериментів досліджень та випробувань розробленого віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини на основі побудованих поверхонь відгуку досліджуваних процесів (рис. 4.18-4.19) визначено раціональні технологічні параметри його роботи (табл. 4.1), компромісне значення яких отримано методом Крамера в математичному середовищі «Mathcad 15».



а – температури сушильного агента  $T_{CA}$  та віброприскорення  $a$ ;  
 б – концентрації озону  $N_{O_3}$  та віброприскорення  $a$ ; в – часу обробки  $t_0$  та віброприскорення  $a$ ; г – концентрації озону  $N_{O_3}$  та температури сушильного агента  $T_{CA}$ ; д – часу обробки  $t_0$  та температури сушильного агента  $T_{CA}$ ;  
 е – часу обробки  $t_0$  та концентрації озону  $N_{O_3}$

Рисунок 4.18 – Вплив параметрів процесу на кінцеву вологість зернового матеріалу  $W_k$  при обробці у віброозонуючому комплексі





а – температури сушильного агента  $T_{CA}$  та віброприскорення  $a$ ;  
 б – концентрації озону  $N_{O_3}$  та віброприскорення  $a$ ; в – часу обробки  $t_O$  та віброприскорення  $a$ ; г – концентрації озону  $N_{O_3}$  та температури сушильного агента  $T_{CA}$ ; д – часу обробки  $t_O$  та температури сушильного агента  $T_{CA}$ ;  
 е – часу обробки  $t_O$  та концентрації озону  $N_{O_3}$

Рисунок 4.19 – Вплив параметрів процесу на енерговитрати  $N$  віброозонуючого комплексу

Таблиця 4.1 – Компромісні технологічні параметри досліджуваного процесу сушіння зернової сировини

Технологічний параметр	Раціональне значення
Віброприскорення, м/с <sup>2</sup>	15-20
Температура сушильного агенту, °С	50-55
Концентрація озону, мг/м <sup>3</sup>	8-10
Час обробки, хв.	130-160

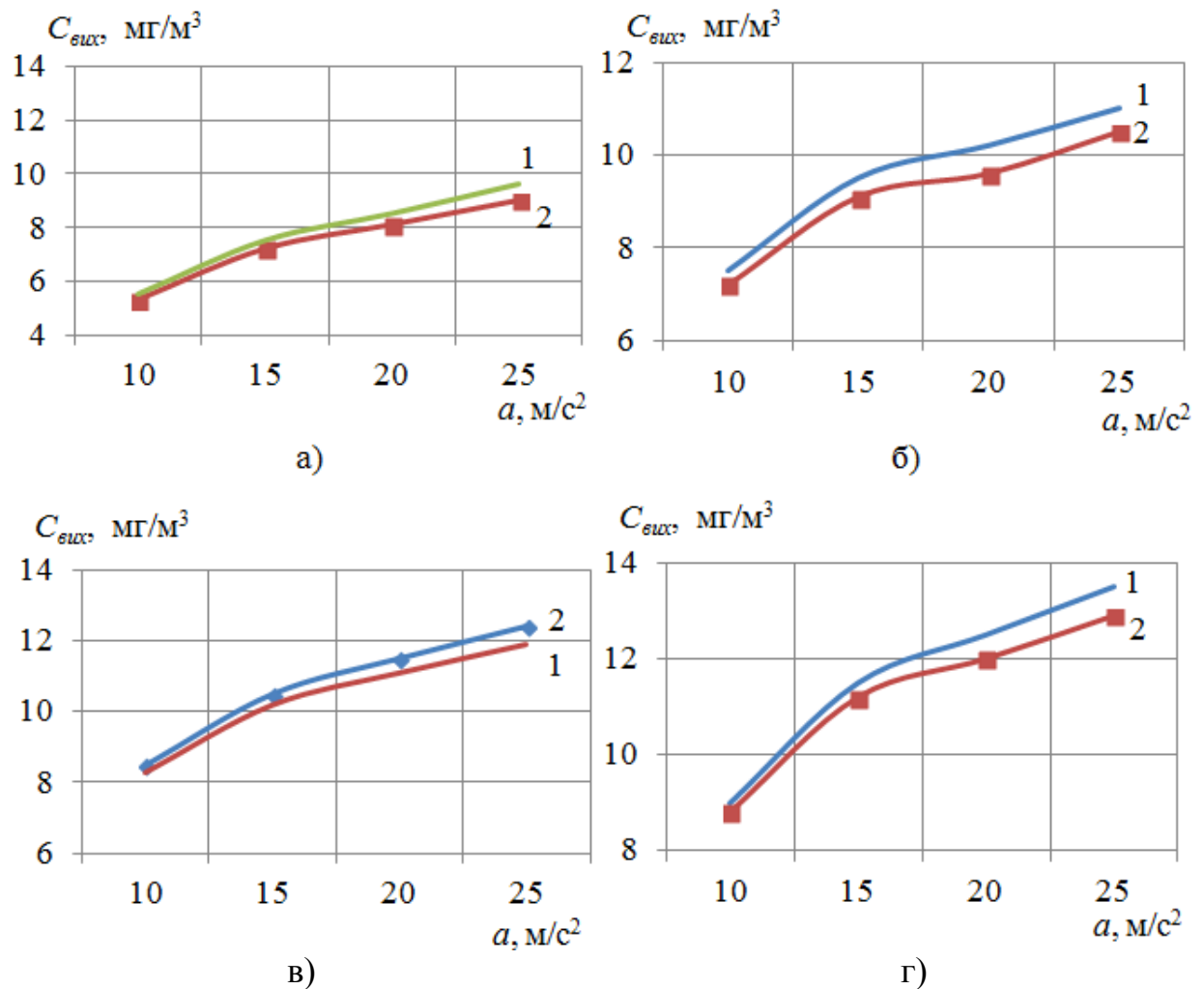
Також визначено, що за цих параметрів якісні характеристики процесу сушіння набувають своїх раціональних значень: кінцева вологість зернової сировини  $W_k = 13-14\%$ , енерговитрати на привод віброозонуючого комплексу  $N = 3-3,2$  кВт.

#### 4.5 Перевірка адекватності математичної моделі

Базуючись на результатах попередніх теоретичних досліджень, було здійснено серію експериментальних досліджень для оцінення режимних параметрів віброозонуючого комплексу.

Для встановлення достовірності отриманої математичної моделі розробленої машини та досліджуваних процесів за умови комплексного віброозонуючого впливу побудовано серію експериментальних та теоретичних кривих (рис. 4.20).

В результаті досліджень віброозонуючого комплексу порівнювались експериментальні та теоретичні залежності концентрації озону  $C_{вих}$  в озоноповітряній суміші при виході із сушарки від швидкості руху сушильного агенту  $V_{CA}$  за різних значень віброприскорення сушильної камери.



1 – теоретична залежність; 2 – експериментальна залежність; а – при швидкості руху сушильного агенту  $V_{CA} = 0,5$  м/с ; б – при швидкості руху сушильного агенту  $V_{CA} = 1,5$  м/с ; в – при швидкості руху сушильного агенту  $V_{CA} = 2,5$  м/с ; г – при швидкості руху сушильного агенту  $V_{CA} = 3,5$  м/с  
Рисунок 4.20 – Залежність концентрації озону  $C_{вих}$  в озоні повітряній суміші від віброприскорення сушильної камери  $a$

Встановлено, що середня розбіжність у діапазоні концентрації озону  $C_{вих}$  в озоні повітряній суміші при виході із сушарки становить 8-10%, що підтверджує адекватність розробленої математичної моделі та доцільність її подальшого використання.

Аналізуючи отримані залежності, зроблено висновок, що раціональним технологічним параметрам роботи віброозонуючого комплексу відповідає швидкість руху сушильного агенту  $V_{CA} = 1,5$  м/с.



#### 4.6 Висновки за 4 розділом

1. У результаті проведених пошукових експериментів визначено раціональні межі дослідження технологічного параметру процесу сушіння зернової сировини та проаналізовано статистичний характер вихідних значень отриманих результатів.

2. У ході експериментальних досліджень було отримано компромісні технологічні параметри досліджуваного процесу сушіння зернової сировини, які становлять: віброприскорення  $a=15-20$  м/с<sup>2</sup>, температура сушильного агенту  $T_{CA}=50-55$  °С, концентрація озону  $N_{O_3}=8-10$  мг/м<sup>3</sup>, час обробки  $t_o=130-160$  хв. за швидкості руху сушильного агенту  $V_{CA} = 1,5$  м/с.

3. За результатами багатofакторного експерименту одержано математичну модель у вигляді множинної регресії другого порядку, яка адекватно описує досліджуваний процес сушіння зернової сировини.

4. При порівнянні теоретичних та експериментальних досліджень виявлено розбіжність, яка становить 8-10% для робочого режиму, що дозволило прийняти побудовану математичну модель як адекватну для опису технологічних характеристик віброозонуючого комплексу.

#### Список використаних джерел до 4 розділу

1. Нормов Д.О. Электроозонные технологии в семеноводстве и пчеловодстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. Краснодар, 2009. 307 с.

**РОЗДІЛ 5**  
**ОЦІНЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОГО**  
**ВІБРООЗОНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ ТА ЙОГО ВИРОБНИЧА**  
**АПРОБАЦІЯ**

**5.1 Економічне обґрунтування розробленого віброозонуючого комплексу**

Економічна ефективність удосконаленого або розробленого зерносушильного обладнання виявляється в процесі його роботи [1, 2]. Перспективність застосування віброозонуючого комплексу, запропонованого на підставі теоретичних і експериментальних досліджень, може бути визначена виявленням економічної ефективності його використання. Дана ефективність визначається шляхом зіставлення витрат на виконання технологічного процесу сушіння зернової сировини з допомогою розробленого віброозонуючого комплексу і базових аналогічних зразків.

Економічна ефективність використання розробленого віброозонуючого комплексу розрахована з умови річного навантаження на одну зерносушарку. При цьому за базу для порівняння прийнята зерносушарка серійного виробництва СБЦ-3М.

**5.1.1 Визначення вартості розробленої машини**

Вартість 1 кг чистої маси матеріалів, що йдуть на виготовлення базової машини:

$$M = \frac{C_{mb}}{\sigma_b}, \quad (5.1)$$

де  $C_{mb}$  – вартість матеріалів у собівартості базової машини, грн;

$\sigma_b$  – чиста маса базової машини без покупних частин, кг.

Затрати на виготовлення нової машини без вартості матеріалів і покупних частин, що йдуть на 1 кг її чистої маси:

$$H = \frac{C_b - (C_{mb} + C_{pvn})}{\sigma_b}, \quad (5.2)$$

де  $C_b$  – собівартість базової машини, грн;

$C_{pvn}$  – вартість покупних виробів, що використовуються у новій машині, грн;

$\sigma_b$  – чиста маса базової машини без покупних частин, кг.

Галузева собівартість нової машини на стадії технічного завдання:

$$C_o = \sigma_n \cdot (\lambda \cdot H \cdot K_n + M) + C_{pvn} \cdot K_{tz}, \quad (5.3)$$

де  $\sigma_n$  – чиста маса нової машини без покупних частин, кг;

$\lambda$  – коефіцієнт конструктивної складності нової машини в порівнянні з технологією виготовлення базової машини;

$K_n$  – коефіцієнт зміни «Н» залежно від обсягу випуску;

$K_{tz}$  – коефіцієнт транспортно-заготівельних робіт.

Нормативний прибуток:

$$P_n = \frac{C_o \cdot P_o}{100}, \quad (5.4)$$

де  $P_o$  – норматив галузевої рентабельності, %.

Оптова ціна нової машини з урахуванням податку на додану вартість:

$$S_o = (C_o + P_n) \cdot \left(1 + \frac{P_{dv}}{100}\right), \quad (5.5)$$

де  $P_{dv}$  – податок на додану вартість, %.

Відпускна ціна нової машини з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж техніки:

$$S_n = S_o \cdot \left(1 + \frac{T_c}{100}\right), \quad (5.6)$$

де  $T_c$  – торгівельна націнка посередницької організації, %.

### 5.1.2 Визначення економічної ефективності розробленої машини

Питома продуктивність машини за добу:

– для нової машини:

$$W_{zmn} = (W_n / W_{kn}) \cdot T_n, \quad (5.7)$$

де  $W_n$  – продуктивність розробленого віброозонуючого комплексу, кг/год;

$W_{kn}$  – об'єм сушильної камери нової машини;

$T_n$  – тривалість роботи нової машини протягом доби, год;

– для базової машини:

$$W_{zmb} = (W_b / W_{kb}) \cdot T_b, \quad (5.8)$$

де  $W_b$  – продуктивність базової машини, кг/год;

$W_{kb}$  – об'єм сушильної камери базової машини;

$T_b$  – тривалість роботи базової машини протягом доби, год.

Річний обсяг роботи машини:

– для нової машини:

$$Q_n = W_{zmn} \cdot D_n, \quad (5.9)$$

де  $D_n$  – тривалість роботи нової машини протягом року, днів;

– для базової машини:

$$Q_b = W_{zmb} \cdot D_b, \quad (5.10)$$

де  $D_b$  – тривалість роботи базової машини протягом року, днів.

Збільшення річного виробітку нової машини за рахунок підвищення її продуктивності:

$$Q = Q_n - Q_b. \quad (5.11)$$

Затрати праці на сушіння зернової сировини:

– для нової машини:

$$V_{zn} = \frac{L_n}{W_{zmn}}, \quad (5.12)$$

де  $L_n$  – чисельність обслуговуючого персоналу нової машини, люд.;

– для базової машини:

$$V_{zb} = \frac{L_b}{W_{zmb}}, \quad (5.13)$$

де  $L_b$  – чисельність обслуговуючого персоналу базової машини, люд.

Річна економія затрат праці при застосуванні нової машини:

$$V = Q \cdot (V_{zb} - V_{zn}). \quad (5.14)$$

Основна заробітна плата працівників:

– для нової машини:

$$ZP_{on} = \frac{L_n \cdot f}{W_{zmn}}, \quad (5.15)$$

де  $f$  – тарифна годинна ставка працівника, грн/год;

– для базової машини:

$$ZP_{ob} = \frac{L_b \cdot f}{W_{zmb}}. \quad (5.16)$$

Відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату чергових і додаткових відпусток, часу для виконання державних і громадських обов'язків:

– для нової машини:

$$ZP_{dn} = ZP_{on} \cdot \frac{K_d}{100}, \quad (5.17)$$

де  $K_d$  – коефіцієнт, який враховує відрахування на додаткову заробітну плату, %.

– для базової машини:

$$ZP_{db} = ZP_{ob} \cdot \frac{K_d}{100}. \quad (5.18)$$

Відрахування на оплату праці працівників:

– для нової машини:

$$ZP_n = ZP_{on} + ZP_{dn}; \quad (5.19)$$

– для базової машини:

$$ZP_b = ZP_{ob} + ZP_{db}. \quad (5.20)$$

Відрахування на соціальні потреби:

– для нової машини:

$$CP_n = \frac{ZP_n \cdot K_s}{100}, \quad (5.21)$$

де  $K_s$  – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні потреби, %;

– для базової машини:

$$CP_b = \frac{ZP_b \cdot K_s}{100}. \quad (5.22)$$

Амортизаційні відрахування на реновацію машини:

– для нової машини:

$$A_n = \frac{S_n \cdot a}{100 \cdot W_{zmn} \cdot T_n \cdot D_n}, \quad (5.23)$$

де  $a$  – нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію, %;

– для базової машини:

$$A_b = \frac{S_b \cdot a}{100 \cdot W_{zmb} \cdot T_b \cdot D_b}. \quad (5.24)$$

Відрахування на капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування машини:

– для нової машини:

$$R_n = \frac{S_n \cdot a}{100 \cdot W_n \cdot T_n \cdot D_n}; \quad (5.25)$$

– для базової машини:

$$R_b = \frac{S_b \cdot a}{100 \cdot W_{zmb} \cdot T_b \cdot D_b}. \quad (5.26)$$

Витрати на енергоресурси, необхідні для приводу машини:

– для нової машини:

$$P_{zn} = \frac{N_{cn} \cdot t_{vn} \cdot C_e}{W_{zmn}}, \quad (5.27)$$

де  $N_{cn}$  – загальна потужність, що необхідна для приводу нової машини, кВт;

$t_{vn}$  – час роботи електродвигунів нової машини протягом години, год;

$C_e$  – вартість електроенергії, грн/(кВт·год);

– для базової машини:

$$P_{zb} = \frac{N_{cb} \cdot t_{vb} \cdot C_e}{W_b}. \quad (5.28)$$

де  $N_{cb}$  – загальна потужність, що необхідна для приводу базової машини, кВт;

$t_{vb}$  – час роботи електродвигунів базової машини протягом години, год.

Витрати на зберігання машини:

– для нової машини:

$$Z_n = \frac{T_{nn} \cdot T_{sn}}{Q_n}, \quad (5.29)$$

де  $T_{nn}$  – норматив витрат праці на підготовку нової машини до зберігання, люд.-год;

$T_{sn}$  – годинна тарифна ставка слюсаря, який обслуговує нову машину, грн/год;

– для базової машини:

$$Z_b = \frac{T_{nb} \cdot T_{sb}}{Q_b}, \quad (5.30)$$

де  $T_{nb}$  – норматив витрат праці на підготовку базової машини до зберігання, люд.-год;

$T_{sb}$  – годинна тарифна ставка слюсаря, який обслуговує базову машину, грн/год.



Відрахування на експлуатаційні матеріали:

– для нової машини:

$$U_{emn} = \frac{U_{mn}}{Q_n}, \quad (5.31)$$

де  $U_{mn}$  – витрата на матеріали, що використовуються при експлуатації нової машини, грн;

– для базової машини:

$$U_{emn} = \frac{U_{mb}}{Q_n}, \quad (5.32)$$

де  $U_{mb}$  – витрата на матеріали, що використовуються при експлуатації базової машини, грн.

Повна собівартість робіт:

– для нової машини:

$$C_{sn} = ZP_n + CP_n + A_n + R_n + P_{zn} + Z_n + U_{emn}; \quad (5.33)$$

– для базової машини:

$$C_{sb} = ZP_b + CP_b + A_b + R_b + P_{zb} + Z_b + U_{emb}. \quad (5.34)$$

Експлуатаційні витрати на машину:

– для нової машини:

$$U_n = ZP_n + CP_n + R_n + P_{zn} + U_{emn}; \quad (5.35)$$

– для базової машини:

$$U_b = ZP_b + CP_b + R_b + P_{zb} + U_{emb}. \quad (5.36)$$

Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації машини:

– для нової машини:

$$K_{pn} = \frac{S_n}{W_n \cdot D_n \cdot T_n}; \quad (5.37)$$

– для базової машини:

$$K_{pb} = \frac{S_b}{W_b \cdot D_b \cdot T_b}, \quad (5.38)$$

де  $S_b$  – відпускна ціна базової машини, грн.

Питома металомісткість машини:

– для нової машини:

$$M_n = \frac{\sigma_{zn}}{Q_n}, \quad (5.39)$$

де  $\sigma_{zn}$  – маса нової машини в зборі, кг;

– для базової машини:

$$M_b = \frac{\sigma_{zb}}{Q_b}, \quad (5.40)$$

де  $\sigma_{zn}$  – маса базової машини в зборі, кг.

Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах під час використання розробленого віброозонуючого комплексу:

$$E_r = (Q_n - Q_b) \cdot (U_b - U_n). \quad (5.41)$$

Термін окупності капіталовкладень на розробку віброозонуючого комплексу:

$$T_{ок} = \frac{S_n}{E_r}. \quad (5.42)$$

Отримані результати економічного розрахунку віброозонуючого комплексу в порівнянні з базовою машиною заносимо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати економічного розрахунку віброозонуючого комплексу в порівнянні з базовою машиною

Показники	Машина	
	Нова	Базова
1	2	3
Оптова ціна нової машини з урахуванням ПДВ, грн	$1,206 \cdot 10^5$	-
Відпускна ціна нової машини з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж техніки, грн	$1,35 \cdot 10^5$	-
Основна заробітна плата працівників, грн/кг	$1,667 \cdot 10^{-3}$	0,014
Відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату чергових і додаткових відпусток, часу на виконання державних і громадських обов'язків, грн	$3,333 \cdot 10^{-4}$	$2,769 \cdot 10^{-3}$
Відрахування на оплату праці працівників, грн/кг	$2 \cdot 10^{-3}$	0,017
Відрахування на соціальні потреби, грн/кг	$7,568 \cdot 10^{-4}$	$6,287 \cdot 10^{-3}$
Амортизаційні відрахування на реновацію машини, грн/кг	$2,466 \cdot 10^{-4}$	$2,488 \cdot 10^{-3}$
Витрати на енергоресурси для приводу машини, грн/кг	$6,46 \cdot 10^{-4}$	0,01
Витрати на зберігання машини, грн/кг	$1,389 \cdot 10^{-5}$	$3,846 \cdot 10^{-5}$
Відрахування на експлуатаційні матеріали, грн/кг	$3,858 \cdot 10^{-6}$	$2,051 \cdot 10^{-5}$
Повна собівартість робіт, грн/кг	$3,914 \cdot 10^{-3}$	0,038
Експлуатаційні витрати на машину, грн/кг	$3,667 \cdot 10^{-3}$	0,036
Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації машини, грн/кг	$1,737 \cdot 10^{-3}$	0,018
Питома металомісткість машини, кг/кг	$8,179 \cdot 10^{-5}$	$1,496 \cdot 10^{-3}$
Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах під час використання нової машини, кг	$6,669 \cdot 10^4$	-
Термін окупності капіталовкладень на розробку машини, р	2,02	-

## **5.2 Місце віброозонуючого комплексу в технологічній схемі післязбиральної обробки зернової сировини**

Розроблений віброозонуючий комплекс з об'ємом сушильної камери 60 дм<sup>3</sup> призначений для фермерських господарств і може використовуватися для сушіння зернової сировини під час післязбиральної обробки.

В технологічній схемі післязбиральної обробки, що включає лінії попереднього, первинного та вторинного очищення, віброозонуючий комплекс займає центральне місце.

На рис. 5.1. показана схема лінії післязбиральної обробки зернової сировини. Технологічна послідовність роботи лінії полягає в наступному. Матеріал з живильника 1 потрапляє на машину попереднього очищення 3, після якої очищене зерно потрапляє в бункери активного вентилявання 4, а відходи, що не використовуються, - у відповідний бункер. З бункерів 4 зерно надходить до віброозонуючих комплексів 5, а після них в інші два бункери 6, в яких воно відлежується. Для отримання зерна продовольчої якості і насінневого призначення його (при необхідності) обробляють на машині первинного і додатково вторинного очищення 7.

Висушене зерно насінневої якості вивантажується через вікно, яке відкривається в боковій стінці контейнера 8 і направляється на лінію безтарного зберігання і відвантаження або на лінію завантаження в мішки. Висушене фуражне зерно після відлежування у бункері 6 поступає до розвантажувального конвеєра 8, з якого також направляється на лінію безтарного зберігання і відвантаження або на лінію завантаження в мішки.

Готова продукція вивантажується через вікно, яке відкривається в боковій стінці контейнера і направляється на лінію безтарного зберігання і відвантаження комбікормів або на лінію завантаження в мішки.



1 – живильник; 2 – транспортування зернової сировини; 3 – машина попереднього очищення; 4 – бункер активного вентиляювання; 5 – віброозонуючий комплекс; 6 – бункер для відлежування; 7 – машина первинного та вторинного очищення; 8 – розвантажувальний конвеєр  
Рисунок 5.1 – Схема лінії післязбиральної обробки зернової сировини

В таблиці 5.2 наведені техніко-економічні показники розробленого віброозонуючого комплексу та базової зернової сушарки, яка використовується в даному технологічному процесі.

Слід зазначити, що конструкція віброозонуючого комплексу є складнішою за існуючу схему. Тому його обслуговування, експлуатація та

ремонт вимагають відповідної кваліфікації обслуговуючого персоналу і особливого дотримання санітарних норм і правил техніки безпеки.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники сушарок

Показники	Зернова сушарка	
	Розроблена	Базова
Питома продуктивність, кг/м <sup>3</sup>	$1,08 \cdot 10^4$	$3,9 \cdot 10^3$
Середньорічне навантаження, год	300	300
Тривалість сушіння, хв.	170	80
Технологічна потужність, кВт	3	17,5
Ємкість сушильної камери, м <sup>3</sup>	0,06	4
Відпускна ціна машини, грн	$1,35 \cdot 10^5$	492000
Експлуатаційні витрати, грн/кг	$3,667 \cdot 10^{-3}$	0,036
Економічний ефект, грн	66690	-
Термін окупності, років	2,02	-

### 5.3 Виробнича апробація результатів досліджень

Згідно з договором про творчу співпрацю (додаток Г) з підприємствами ТОВ «ПК «Зоря Поділля», СТОВ «Надія» та ФГ «Столипін» за результатами теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено віброозонуючий комплекс для сушіння зернової сировини як насінневого, так і для харчового призначення.

Забезпечуючи дбайливе сушіння як насінневого, так і товарного зерна, віброозонуючий комплекс поліпшує як насінневі, так і товарні властивості зерна. Завдяки вібраційному впливі на зерновий матеріал, він перебуває у постійному русі, що унеможлиблює його перегрівання та забезпечує рівномірний обробіток зерна і його постійний контакт із сушильним агентом. У свою чергу, використання озону, який генерується з допомогою коронного розряду у озонаторі бар'єрного типу, у складі сушильного агенту інтенсифікує процес сушіння та забезпечує одночасне знезараження зерна від хвороб та шкідників. Після проходження сушильного агенту через оброблювану

сировину надлишковий озон з допомогою деструктора розкладається до рівня ГДК, який становить  $0,1 \text{ мг/м}^3$  [3].

Даний віброозонуючий комплекс може знайти застосування у дрібних фермерських господарствах.

Підігрів сушильного агента здійснюється за допомогою електричного теплогенератора, що виключає потрапляння шкідливих продуктів спалювання рідкого та газоподібного палива в зернову сировину.

#### **5.4 Висновки за 5 розділом**

1. Результати техніко-економічного оцінювання розробленого віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що провадження такого комплексу у виробництво дає змогу отримати річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

2. Визначено місце віброозонуючого комплексу в технологічній схемі післязбиральної обробки зернової сировини та виконано апробацію результатів досліджень.

#### **Список використаних джерел до 5 розділу**

1. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Москва, 1998. 219 с.

2. Калетнік Г.М., Войтюк В.Д., Бондар С.М. та ін. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. Київ, 2010. 448 с.

3. ДСТУ-НБА 3.2-1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів. Київ, 2007. 22 с.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено проблему підвищення ефективності і швидкості процесу сушіння зернової сировини із одночасним зменшенням енерговитрат на його виконання при використанні розробленого віброозонуючого комплексу.

1. Проведений аналіз особливостей виконання післязбиральної обробки зернової сировини виявив складність і високі вимоги як до самого процесу, так і до сировини, що обробляється. Огляд існуючих конструкцій серійних зернових сушарок дав змогу визначити недоліки сушильного обладнання, переважно пов'язані з неякісною обробкою зернової сировини, значними енерговитратами, складністю експлуатації, значною металоємністю та вартістю. Ґрунтуючись на сучасному рівні розвитку вібротехнологій і обладнання та використанні озону в різних галузях промисловості, було визначено ефективність їх використання для сушіння зернової сировини у процесі післязбиральної обробки.

2. Розроблена математична модель розподілу концентрації озону по глибині шару зерна під дією вібраційного впливу. Отримані графічні та теоретичні залежності вперше дають змогу визначати продуктивність озонатора та інтенсивність розподілу концентрації озону по глибині шару під дією вібраційного впливу в залежності від віброприскорення сушильної камери та швидкості руху сушильного агенту.

3. Розроблено перспективну схему та конструкцію віброозонуючого комплексу для реалізації технологічного процесу сушіння, в якому зернова сировина, що обробляється, піддається вібраційному впливу з одночасною подачею сушильного агенту, який є сумішшю підігрітого повітря та озону заданої концентрації.

4. У ході експериментальних досліджень було отримано раціональні технологічні параметри досліджуваного процесу сушіння зернової сировини: віброприскорення  $a=15-20$  м/с<sup>2</sup>, температура сушильного агенту



$T_{CA}=50-55$  °С, концентрація озону  $N_{O_3}=8-10$  мг/м<sup>3</sup>, час обробки  $t_O=130-160$  хв. за швидкості руху сушильного агенту  $V_{CA} = 1,5$  м/с.

5. Порівнянням результатів теоретичних та експериментальних досліджень встановлено розбіжність, яка становить 8-10% для робочого режиму. Це підтверджує адекватність розробленої математичної моделі.

6. За результатами досліджень розроблено технічну документацію на віброозонуючий комплекс, який впроваджено на виробничих потужностях ТОВ «ПК «Зоря Поділля», ФГ «Столипін», СТОВ «Надія». Результати техніко-економічного оцінювання розробленого віброозонуючого комплексу для реалізації сушіння зернової сировини засвідчили, що провадження такого комплексу у виробництво дає змогу отримати річний економічний ефект 66690 грн./рік в порівнянні з існуючою зерносушаркою СБЦ-3М за середнього терміну окупності 2 роки.

ДОДАТКИ

**Додаток А**  
**Комп'ютерна програма «Акселерометр LIS3DH»**

### A Тіло програми «Акселерометр MEMO LIS3DH»

```

//*****
//**** MAIN routine FOR Interfacing microSD/SD CARD ****
//*****
//Controller: ATmega8 (Clock: 8 Mhz-internal)
//Compiler: AVR-GCC
//*****
//Link to the Post: http://www.dharmanitech.com/2009/01/sd-card-interfacing-with-atmega8-fat32.html
#define F_CPU 8000000UL //freq 8 MHz
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include "SPI_routines.h"
#include "SD_routines.h"
#include "UART_routines.h"
#include "FAT32.h"
volatile unsigned long startBlock;
volatile unsigned long totalBlocks;
volatile unsigned char buffer[512];
volatile unsigned long firstDataSector, rootCluster, totalClusters;
volatile unsigned int bytesPerSector, sectorPerCluster, reservedSectorCount;
void port_init(void)
{
PORTB = 0xEF;
DDRB = 0xEF; //MISO line i/p, rest o/p
PORTC = 0x00;
DDRC = 0x00;
PORTD = 0x00;
DDRD = 0x7F;
}
//UART0 initialize
// desired baud rate: 19200
// actual: baud rate:19231 (0.2%)
// char size: 8 bit
// parity: Disabled
void uart0_init(void)
{
UCSRB = 0x00; //disable while setting baud rate
UCSRA = 0x00;
UCSRC = (1 << URSEL) | 0x06;
UBRRL = 0x19; //set baud rate lo
UBRRH = 0x00; //set baud rate hi

```

```

UCSRB = 0x18;
}
//call this routine to initialize all peripherals
void init_devices(void)
{
cli();
port_init();
spi_init();
uart0_init();
MCUCR = 0x00;
GICR = 0x00;
TIMSK = 0x00; //timer interrupt sources
//all peripherals are now initialized
}
int main(void)
{
unsigned char option, error, p, data, FAT32_active;
unsigned int i,k;
unsigned char fileName[13];
//unsigned char file_Name[13] = "FILE_ .txt";
_delay_ms(500); //delay for VCC stabilization
init_devices();
PORTD |= 0x08;//0x04; //switching ON the LED (for testing purpose only)
TX_NEWLINE;
TX_NEWLINE;
transmitString_F (PSTR("*****"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F (PSTR(" ASU_TP microSD Card Testing.."));
TX_NEWLINE;
transmitString_F (PSTR("*****"));
TX_NEWLINE;
SD_init();
SPI_HIGH_SPEED; //SCK - 4 MHz
_delay_ms(1);
FAT32_active = 1;
error = getBootSectorData (); //read boot sector and keep necessary data in global
variables
if(error)
{
transmitString_F (PSTR("FAT32 not found!")); //FAT32 incompatible drive
FAT32_active = 0;
}
while(1)
{

```

```

TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("Press any key..."));
TX_NEWLINE;
option = receiveByte();
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 0 : Erase Blocks"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 1 : Write single Block"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 2 : Read single Block"));
#ifndef FAT_TESTING_ONLY
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 3 : Write multiple Blocks"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 4 : Read multiple Blocks"));
#endif
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 5 : Get file list"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 6 : Read File"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 7 : Create File"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 8 : Delete File"));
TX_NEWLINE;
transmitString_F(PSTR("> 9 : Read SD Memory Capacity (Total/Free)"));
case '5': TX_NEWLINE;
    findFiles(GET_LIST,0);
    break;
case '6':
case '7':
case '8': TX_NEWLINE;
    TX_NEWLINE;
    transmitString_F(PSTR("Enter file name: "));
    for(i=0; i<13; i++)
        fileName[i] = 0x00;    //clearing any previously stored file name
    i=0;
    while(1)
    {
        data = receiveByte();
        if(data == '\r') break; //'"ENTER'" key pressed
        if(data == 0x08)      //'"Back Space'" key pressed
        {
            if(i != 0)

```

```

        {
            transmitByte(data);
            transmitByte(' ');
            transmitByte(data);
            i--;
        }
        continue;
    }
    if(data <0x20 || data > 0x7e) continue; //check for valid English text
character
    transmitByte(data);
    fileName[i++] = data;
    if(i==13){transmitString_F(PSTR(" file name too long..")); break;}
    }
    if(i>12) break;
    TX_NEWLINE;
    if(option == '6')
        readFile( READ, fileName);
    if(option == '7')
        createFile(fileName);
    if(option == '8')
        deleteFile(fileName);
    break;
case '9': memoryStatistics();
    break;
default: TX_NEWLINE;
        TX_NEWLINE;
        transmitString_F(PSTR(" Invalid option!"));
        TX_NEWLINE;
    }
TX_NEWLINE
}
return 0;
}

```

**Додаток Б**  
**Планування багатofакторного експерименту**



Таблиця Б. 1 – Чотирифакторна матриця для визначення оптимальних параметрів процесу сушіння

№ досліду	Фактори					Параметри					
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$F(x_1, x_2, x_3, x_4)$	$a, \text{м/с}^2$	$T_{CA}, ^\circ\text{C}$	$N_{O_3}, \text{мг/м}^3$	$t_o, \text{хв.}$	$W_k, \%$	$N, \text{кВт} \cdot \text{год}$
1	+	+	+	+	+	130	60	12	200	11,1	4,21
2	-	+	+	+	+	110	60	12	200	12,7	4,15
3	+	-	+	+	+	130	50	12	200	12,1	4
4	-	-	+	+	+	110	50	12	200	13,2	3,9
5	+	+	-	+	+	130	60	8	200	11,2	3,85
6	-	+	-	+	+	110	60	8	200	11,9	3,7
7	+	-	-	+	+	130	50	8	200	12,8	3,65
8	-	-	-	+	+	110	50	8	200	13	3,5
9	+	+	+	-	+	130	60	12	140	14	3,1
10	-	+	+	-	+	110	60	12	140	14,4	3,02
11	+	-	+	-	+	130	50	12	140	15,1	2,85
12	-	-	+	-	+	110	50	12	140	15,8	2,7
13	+	+	-	-	+	130	60	8	140	14,5	3,05
14	-	+	-	-	+	110	60	8	140	14,8	2,99
15	+	-	-	-	+	130	50	8	140	15,8	2,75
16	-	-	-	-	+	110	50	8	140	16,5	2,6
17	+A	0	0	0	+	140	55	10	170	12,9	3,3
18	-A	0	0	0	+	100	55	10	170	14,9	2,88
19	+	+A	0	0	+	120	65	10	170	12,5	3,61
20	0	-A	0	0	+	120	45	10	170	15,2	2,98
21	0	0	+A	0	+	120	55	14	170	15,1	3,3
22	0	0	-A	0	+	120	55	6	170	15,4	2,95
23	0	0	0	+A	+	120	55	10	230	11,5	3,69
24	0	0	0	-A	+	120	55	10	110	16,2	2,7
25	0	0	0	0	+	120	55	10	170	13,9	3,09
26	0	0	0	0	+	120	55	10	170	13,9	3,09

**Додаток В**  
**Патенти України на корисну модель**

## В Патенти України на корисну модель





ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 115030 (13) U  
(51) МПК  
F26B 17/30 (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки:	u 2016/11531	(72) Винахідник(и):	Цуркан Олег Васильович (UA), Присяжнюк Дмитро Володимирович (UA), Герасимов Олександр Олександрович (UA), Полєвода Юрій Анатолійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	14.11.2016	(73) Власник(и):	ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Солов'ячів, 3, м. Вінниця, 21008 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними правила нагороджу моделі:	27.03.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	27.03.2017, Бюл.№ 6		

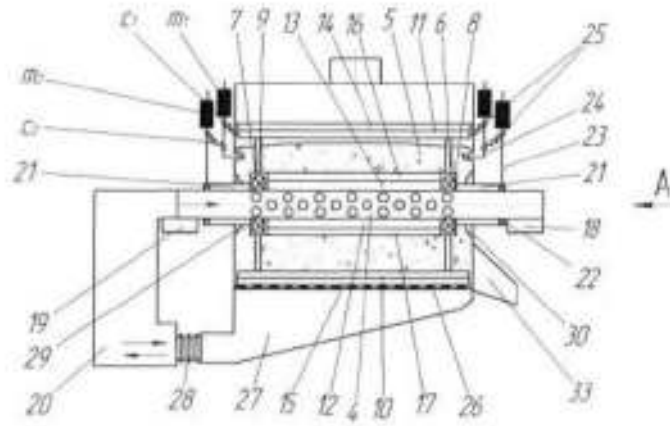
**(54) ВІБРАЦІЙНА СУШАРКА**

**(57) Резюме:**

Вібраційна сушарка складається з сушильної камери U-подібної форми з перфорованим днищем, яка оснащена пружинними підшипниками і вібратором, причому її нижня частина встановлена посередній дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що ущільнено пружинними вставками, і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, дві з яких встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а дві інших - з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах. Всі лопаті перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою, з можливістю обертання втулки від окремого електропривода. Пустотілий циліндр з однієї сторони з'єднаний з системою подачі і відбору сушильного агента. Сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір. На рівні днища розташований розвантажувальний лоток. Втулки виконані у вигляді внутрішніх обойм механізмів вільного ходу, зовнішні обойми яких з'єднані з маятниками, на яких нерухомо закріплені вантажі. До маятників приєднані через пружини додаткові маятники з вантажами, які з допомогою пружин з'єднані з колієприводом, з можливістю обертання лопатей-перемішувачів.

UA 115030 U

UA 115030 U



Фиг. 1



UA 115030 U

Корисна модель, наприклад, до техніки сушіння дисперсних високовологих, здатних до злипання і налипання матеріалів у віброциліндрному шарі, і може бути використана у сільськогосподарській, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

5 Відомі вібраційна сушарка для силючих матеріалів [а.с. № 809503, Бюл. № 8, 28.02.82 р.], яка містить корпус, на внутрішніх поверхнях якого на підвісках закріплені лопатки, з'єднані з кривошипними механізмами, котрі закріплені на бокових стінках корпусу. У верхній частині корпусу розташований засантажувальний пристрій, вентилятор і калорифер, а в нижній частині корпусу - розвантажувальний пристрій. У внутрішній частині корпусу розміщені скрапи, за допомогою яких утворюють канал для руху теплоносія.

10 Недоліком вібраційної сушарки є неможливість висушування дисперсних високовологих, здатних до злипання і налипання матеріалів.

Відомий теплообмінний апарат [а.с. № 1216000, Бюл. № 9, 07.03.86 р.], який містить циліндричний корпус, ротор у вигляді пустотливого вала із закріпленими до нього перфорованими шнековими витками, перегородки у корпусі, патрубки підведення і відведення теплоносія, 15 засантажувальний та розвантажувальний патрубки.

Недоліком тепломасообмінного апарату є значні енерговитрати, оскільки для переміщення матеріалу, що висушують, застосовують привод, який змушений транспортувати цей матеріал вертикально знизу догори, де його розвантажують.

Найбільш близьким до заявленої за технічною суттю та результатом, що досягається, є вібраційна сушарка (Патент України на винахід модель, № 64844 кл. F26B 17/30 Бюл. № 21, 2011), яка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що оснащена 20 пружними підвісками і вібратором, причому в нижній частині встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі відбору сушильного агента, і газорозподільної решітці, виконаної як пустотливий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що ущільнена пружними вставками, і на якому розміщені дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, з однієї сторони пустотливий циліндр з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній 25 частині має засантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, причому вона додатково містить дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, що встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотливого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того всі лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі швом, що розміщений 30 зовні сушильної камери.

Недоліком вібраційної сушарки є підвищені енерговитрати за рахунок приведення в 35 обертний рух лопатей перемішувачів від індивідуального зовнішнього привода.

В основу корисної моделі поставлена задача зменшення енерговитрат за рахунок 40 приведення лопатей перемішувачів в обертний рух від механізму вільного ходу.

Поставлена задача вирішується тим, що втулки виконані у вигляді внутрішніх об'ємних механізмів вільного ходу, зовнішні об'єми яких з'єднані з маятниками, на яких нерухомо 45 закріплені лопаті, а до маятників приєднані через пружини додаткові маятники з лопатками, які з допомогою пружин з'єднані з контейнером, з можливістю обертання лопатей-перемішувачів.

Суть винаходу пояснюють кресленнями. Фіг. 1 - схематичне зображення вібраційної 50 сушарки з маятниковим механізмом вільного ходу, Фіг. 2 - вид А на Фіг. 1.

Вібраційна сушарка містить сушильну камеру 1 U-подібної форми з перфорованим днищем 26, яка встановлена за допомогою пружних підвісок 2 і оснащена вібратором 3 та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотливий циліндр 4 з перфорованою боковою 55 поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери 1 і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі 10, 11 зі скребками 14, 15 встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища 26 сушильної камери 1, а третя та четверта лопаті-перемішувачі 12, 13 зі скребками 16, 17 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотливого циліндра 4, встановленого на опорах 18, 19, який з однієї 60 сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Крім цього лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17 нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які з'єднані з втулкою 21, яка з'єднується з маятниковим механізмом 22 з маятниками 23 і 24, що розміщені зовні сушильної камери 1, які через пружини 25 з'єднуються між собою та контейнером 1. Положення 5 позначений сушильний матеріал. Нижня частина сушильної камери встановлена всередині дифузора 27, який через пружне еластичне з'єднання 65 28 сполучений з системою подачі відбору сушильного агента 20. Сушильна камера 1, що

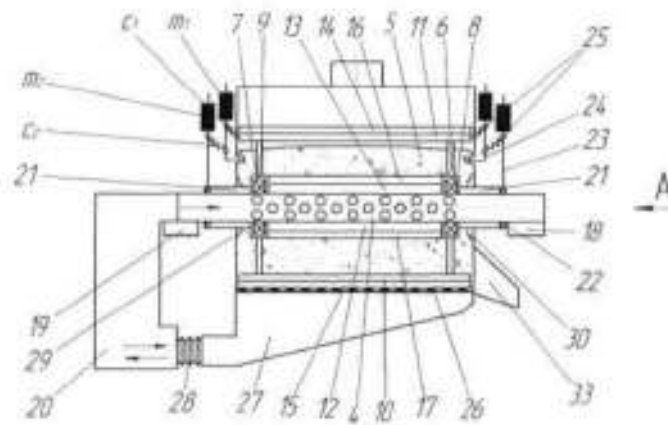
## UA 115030 U

- ущільнена пружними вставками 28, 30, у верхній панелі 31 має завантажувальний отвір 32, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток 33.
- Вібраційна сушарка працює наступним чином. Від вібратора 3, що обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ , передаються кругові коливання в вертикальній площині U-подібному контейнеру 1, в торцях якого встановлені підпружинені «лареварнуті» маятники 24. Гармонійні коливання, що генеруються приводом, кінематично збуджують крутильні коливання маятників 24. Власні частоти коливань маятників із вантажами необхідно вибрати приблизно рівними частоті коливань контейнера, але вони не повинні дорівнювати одна одній, для створення їх протифазних коливань. Через пружини, які з'єднують маятники, крутильні коливання передаються від маятників 24 до маятників 23. Останні через зовнішні обойми механізмів вільного ходу приводять в обертовий рух втулки 21, встановлені у вигляді внутрішніх обойми механізмів вільного ходу, які в свою чергу нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які нерухомо з'єднані з лопатками-перемішувачами.
- Крутильні коливання перетворюються в обертовий рух лопатей-перемішувачів. Защрки пружним вставкам 29 між втулкою та контейнером високочастотні коливання контейнера на пустотілий циліндр не передаються. Тим самим механізми вільного ходу не отримують вібрації і заклинювання роликів відбувається своєчасно. Варіюючи вапчиними мас вантажів  $m_1$  і  $m_2$  та жорсткостями  $c_1$  і  $c_2$  у широкій межі, здійснюється регулювання величини крутного моменту і кутової швидкості обертання лопатей-перемішувачів. Крім цього через з'єднувальну пружину із жорсткістю  $c_3$  не передається вібрація, а тільки пружні деформації.

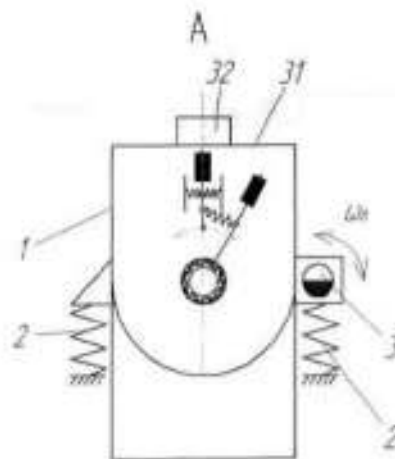
## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Вібраційна сушарка, яка складається з сушильної камери U-подібної форми з перфорованим днищем, яка оснащена пружними підшипками і вібратором, причому в нижній частині встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що ущільнена пружними вставками, і на якому розміщені чотири лопатей-перемішувачів з еластичними скребками, дві з яких встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а дві інших - з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопатей-перемішувачів з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою, з можливістю обертання втулки від окремого електропривода, а пустотілий циліндр з однієї сторони з'єднаний з системою подачі і відбору сушильного агента, крім того сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, яка відрізняється тим, що втулки виконані у вигляді внутрішніх обойми механізмів вільного ходу, зовнішні обойми яких з'єднані з маятниками, на яких нерухомо закріплені вантажі, а до маятників приєднані через пружини додаткові маятники з вантажами, які з допомогою пружин з'єднані з контейнером, з можливістю обертання лопатей-перемішувачів.

UA 115030 U



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка Д. Шеварун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601







УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122236** (13) **U**  
(51) МПК  
**F26B 17/30** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2017 07619</b>	(72) Виявлювач(и): <b>Цуркан Олег Васильович (UA), Приймаков Дмитро Володимирович (UA), Гудзенко Наталія Миколаївна (UA), Герасимов Олександр Олексійович (UA), Філіпченко Василь Володимирович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>18.07.2017</b>	
(24) Дата, з якої є чинним права на корисну модель: <b>26.12.2017</b>	
(46) Публікація власності про видачу патенту: <b>26.12.2017, Бюл.№ 24</b>	
	(73) Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008 (UA)</b>

**(54) ВІБРАЦІЙНА СУШАРКА****(57) Реферат.**

Вібруюча сушарка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена на декількох пружних підставках і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, при цьому перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена посередній дифузора, який сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній панелі має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний потік. При цьому верхня панель сушильної камери містить окрему горловину для виведення відпрацьованого сушильного агента.

UA 122236 U

UA 122236 U

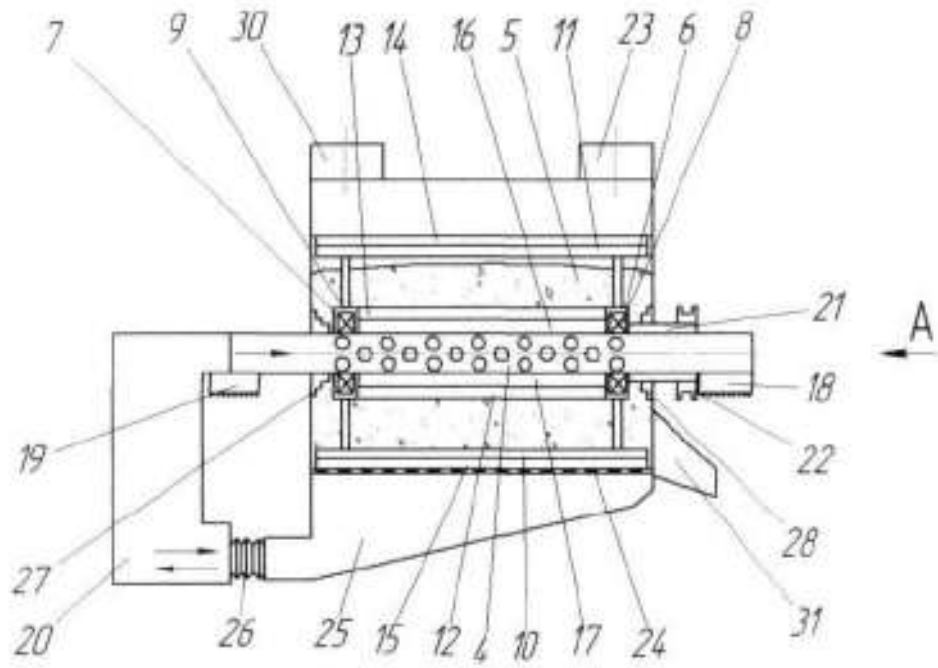


Fig. 1



UA 122236 U

Корисна модель належить до техніки сушіння дисперсних високволеглих, здатних до злипання і налипання матеріалів у віброкивничому шарі і може бути використана у сільськогосподарській, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

Відомо сушарка-гранулятор [Патент України № 54954 кл. F26H11/04, 2003 р.], яка містить обертовий корпус із завантажувальною частиною у вигляді приймально-глинзової насадки із лопаток та ланцюгових полатей, середньою частиною з ланцюговими полатями, закріпленими на кронштейнах, та розвантажувальною частиною, причому у середній частині за ланцюговими полатями встановлені групи лопатей з оберненими кутами нахилу по ходу обертання, між якими закріплені відрізки ланцюгів, після груп лопатей встановлені підйомні листові полатки, які мають у перерізі трикутники з вершиною, оберненою до центра, та розташовані між ними поперечні ланцюгові підійски, перед розвантажувальною частиною закріплені поздовжні ребра, а в розвантажувальній частині - розсікачі, причому у кожній групі листові лопаті встановлено під кутом нахилу до радіуса корпусу, який зменшується по ходу обертання, однойменні лопаті у кожній групі встановлено під однаковими кутами.

Недоліком вібраційної сушарки є неможливість висушування дисперсних високволеглих, здатних до злипання і налипання матеріалів.

Відомий теплообмінний апарат [з.с. № 1218800, Бюл. № 9,07.03.06 р.], який містить циліндричний корпус, ротор у вигляді пустотілого вала із закріпленими до нього перфорованими шнековими витками, перегородки у корпусі, патрубки підведення і відведення теплоносія, завантажувальний та розвантажувальний патрубки.

Недоліком тепломасообмінного апарата є значні енерговитрати, оскільки для переміщення матеріалу, що висушується, застосовують привод, який змушений транспортувати цей матеріал вертикально знизу догори, де його розвантажують.

Найбільш близькою до заявленої сушарки за технічною суттю та досягнутому результату є вібраційна сушарка (Патент України на корисну модель № 61644.кл. F26B 17/30, Бюл. № 21, 2011), яка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що оснащена пружними підійсками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільною решіткою, виконаною як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що уцільнена пружними вставками, і на якому розміщені дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, з однієї сторони пустотілий циліндр з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний потік, причому вала додатково містить дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, що встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі швом, що розміщений зовні сушильної камери.

Недоліком вібраційної сушарки є низька продуктивність процесу сушіння матеріалу, оскільки завантаження сушильної камери і виведення відпрацьованого сушильного агента відбувається через завантажувальний отвір.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити продуктивність процесу сушіння за рахунок використання окремого виходу для виведення відпрацьованого сушильного агента.

Поставлена задача вирішується тим, що на верхній панелі сушильної камери встановлюється окрема горловина для виведення відпрацьованого сушильного агента.

Суть корисної моделі пояснюють креслення. Фіг. 1 - схематичне зображення віброозонуючої сушарки, Фіг. 2 - вигляд А на Фіг. 1.

Вібраційна сушарка містить сушильну камеру 1 U-подібної форми з перфорованим днищем 24, яка встановлена за допомогою пружних підійсок 2 і оснащена вібратором 3 та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр 4 з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери 1 і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі 10, 13 з еластичними скребками 14, 17. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі 10, 11 зі скребками 14, 15 встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища 24 сушильної камери 1, а третя та четверта лопаті-перемішувачі 12, 13 зі скребками 16, 17 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра 4, який встановлений на опорах 18, 19 і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Крім того, лопаті-перемішувачі 10, 13 з еластичними скребками 14, 17 нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7

## UA 122236 U

підшипник 8, 9, які з'єднані з втулкою 21 зі шпильою 22, що розміщений зовні сушильної сушильної камери. Позначено 5 позначений сушильний матеріал.

Нижня частина сушильної камери встановлена всередині дифузора 25, який через пружне еластичне з'єднання 26 сполучений з системою подачі/відбору сушильного агента 20. Сушильна камера 1, що ущільнена пружними вставками 27, 28, у верхній панелі 29 має завантажувальний отвір 30 і горловину 23 для виведення відпрацьованого сушильного агента, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток 31.

Вібруюча сушарка працює наступним чином. На першому етапі процесу сушильний агент температурою +30 °C з системи подачі/відбору сушильного агента 20 надходить у внутрішню частину порожнього циліндра 4 з перфорованою боковою поверхнею, через яку подається в шар оброблюваного матеріалу 5, проходить через нього зверху вниз і проникає через перфороване днище 24 сушильної камери 1 в дифузор 25, в якому створюється розрідження. Відпрацьований вологий охолоджений сушильний агент виводиться з дифузора 25 через еластичне з'єднання 26 системою подачі/відбору сушильного агента 20.

На другому етапі сушильний агент температурою +50 °C з системи подачі/відбору сушильного агента 20 через дифузор 25, перфороване днище 24 сушильної камери 1 подається в шар матеріалу 5, проходить через нього знизу-вверх і видаляється з сушильної камери 1 через горловину 23 у верхній панелі 29.

Матеріал 5 потрапляє в сушильну камеру 1 через завантажувальний отвір 30. Під дією вібратора 3, який створює коливання сушильної камери 1 і потоку сушильного агента, насіння 5 переходить у віброактивний стан і рівномірним шаром заповнює сушильну камеру 1.

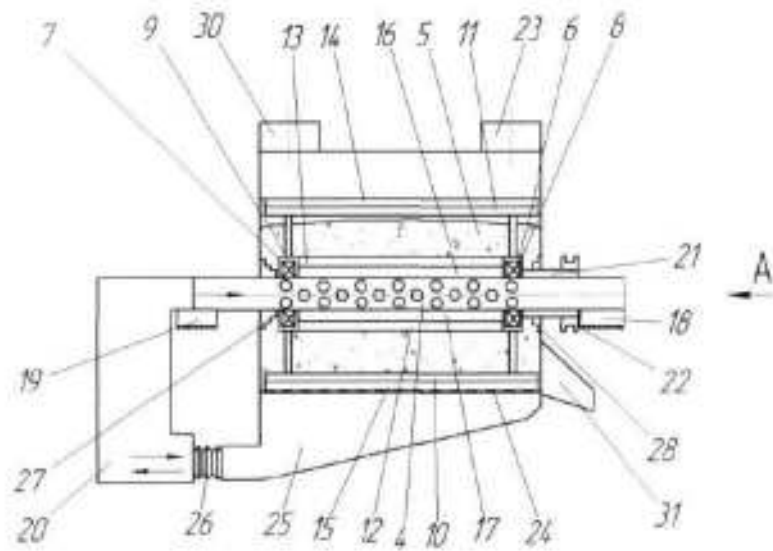
## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

25 Вібруюча сушарка, яка містить сушильну камеру U подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як порожній циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з

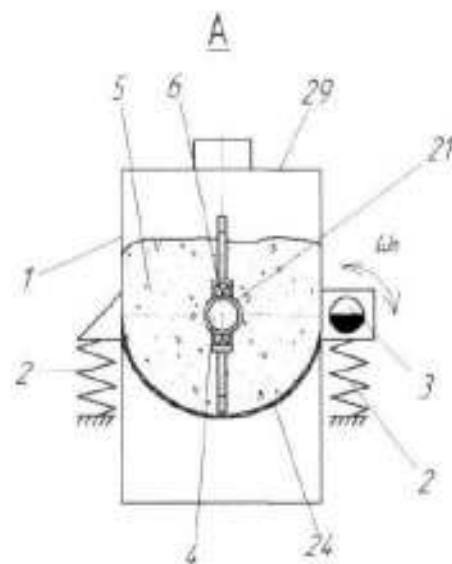
30 з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею порожнього циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі/відбору сушильного агента, крім того, лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нарухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шпильою, що розміщений зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який через пружне еластичне з'єднання сполучений з системою подачі/відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера, що ущільнена пружними вставками, у верхній панелі має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, який відрізняється тим, що верхня панель сушильної камери містить окрему горловину для

40 виведення відпрацьованого сушильного агента

UA 122236 U



Фиг. 1



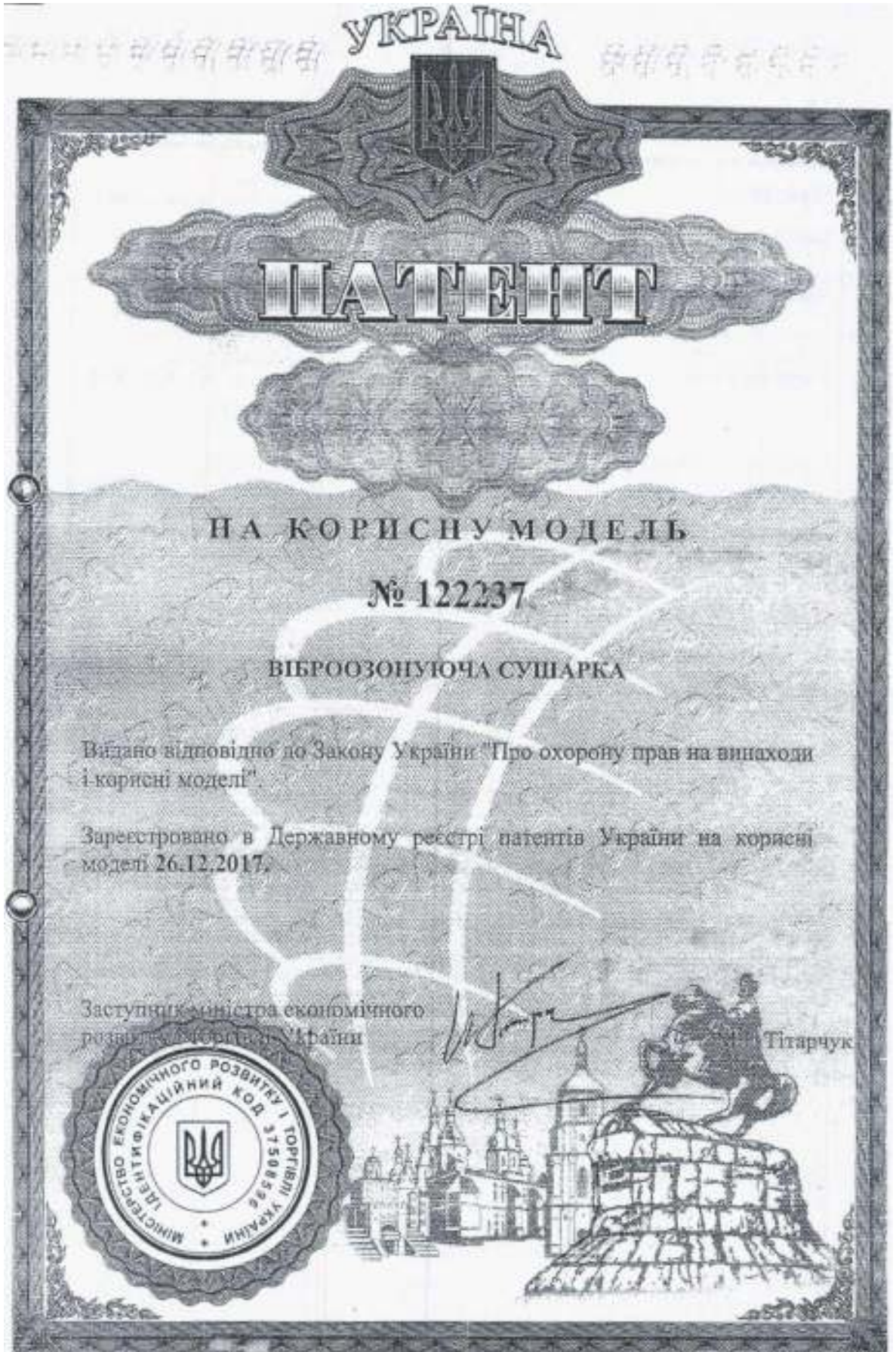
Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Г. Палышова

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 132, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601





УКРАЇНА

# ПАТЕНТ

## НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

### № 122237

#### ВІБРООЗОНУЮЧА СУШАРКА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 26.12.2017.

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України

*[Signature]*  
Тітарчук





МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **122237** (13) **U**  
(51) МПК  
*F26B 17/30* (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2017 07620</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>18.07.2017</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>26.12.2017</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>26.12.2017, Бюл.№ 24</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Цуркан Олег Васильович (UA), Присяжнюк Дмитро Володимирович (UA), Гудзенко Наталія Миколаївна (UA), Герасимов Олександр Олексійович (UA), Волошиненко Володимир Михайлович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008 (UA)</b></p>
--	--

**(54) ВІБРООЗОНУЮЧА СУШАРКА**

**(57) Реферат:**

Віброозонуюча сушарка має сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками. Перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери. Третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента. Лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який через пружне еластичне з'єднання сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента. Сушильна камера, що ущільнена пружними вставками, у верхній панелі має завантажувальний отвір. На рівні днища розташований розвантажувальний лоток. На рамі сушарки встановлено озонатор, який генерує озон за допомогою коронного розряду і на другому етапі сушіння подає його через окремий повітропровід до системи подачі-відбору сушильного агента.

**UA 122237 U**



UA 122237 U

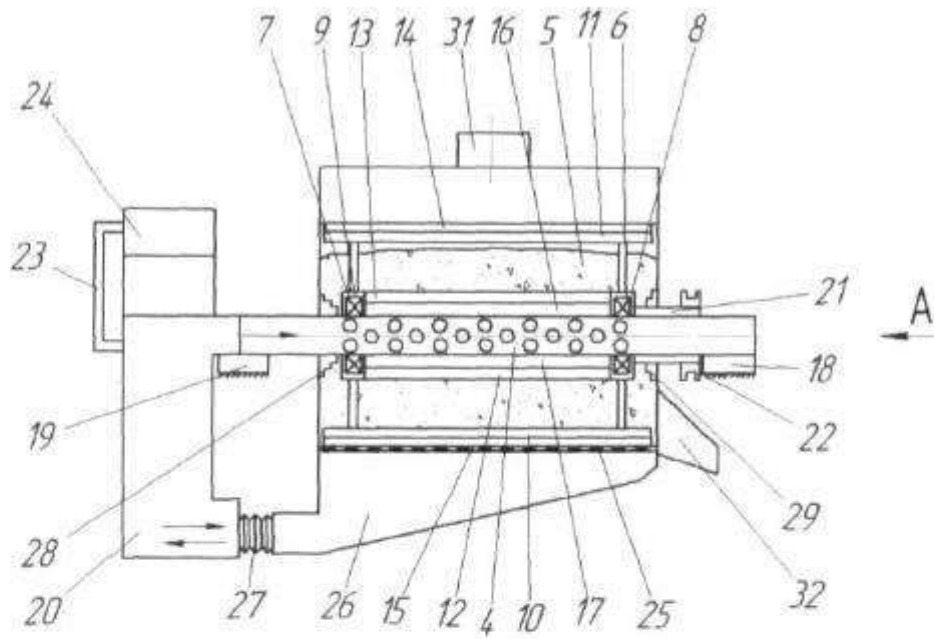


Fig. 1

## UA 122237 U

Корисна модель належить до техніки сушіння дисперсних високовологих, здатних до злипання і налипання матеріалів у віброкиплячому шарі і може бути використана у сільськогосподарській, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

5 Відома вібраційна сушарка для сипучих матеріалів [а.с. № 909503, Бюл. № 8, 28.02.82 р.], яка містить корпус, на внутрішніх поверхнях якого на підвісках закріплені лотки, з'єднані з кривошипними механізмами, котрі закріплені на бокових стінках корпусу. У верхній частині корпусу розташований завантажувальний пристрій, вентилятор і калорифер, а в нижній частині корпусу розвантажувальний пристрій. У внутрішній частині корпусу розміщені екрани, за допомогою яких утворюють канал для руху теплоносія.

10 Недоліком вібраційної сушарки є неможливість висушування дисперсних високовологих, здатних до злипання і налипання матеріалів.

Відомий теплообмінний апарат [а.с. № 1216600, Бюл. № 9, 07.03.86 р.], який містить циліндричний корпус, ротор у вигляді пустотілого вала із закріпленими до нього перфорованими шнековими витками, перегородки у корпусі, патрубки підведення і відведення теплоносія, завантажувальний та розвантажувальний патрубки.

15 Недоліком тепломасообмінного апарата є значні енерговитрати, оскільки для переміщення матеріалу, що висушують, застосовують привод, який змушений транспортувати цей матеріал вертикально знизу догори, де його розвантажують.

Найбільш близькою до заявленої сушарки за технічною суттю та досягнутому результату є вібраційна сушарка (Патент України на корисну модель № 64644, МПК F26B 17/30, Бюл. № 21, 2011), яка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що оснащена пружними підвісками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що ущільнена пружними вставками, і на якому розміщені 25 дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, з однієї сторони пустотілий циліндр з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, причому вона додатково містить дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, що встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопаті-перемішувачі з еластичними скребками 30 нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери.

35 Недоліком вібраційної сушарки є низька інтенсивність процесу сушіння матеріалу.

В основу корисної моделі поставлена задача інтенсифікувати процес сушіння за рахунок використання як сушильного агента суміші підігрітого повітря з озоном певної концентрації, що в свою чергу дасть змогу понизити енергетичні рівні зв'язків вологи і пришвидшити її видалення з матеріалу, що висушується.

40 Поставлена задача вирішується тим, що у систему подачі-відбору сушильного агента на другому етапі сушіння через окремий повітропровід подається озон певної концентрації, який генерує озонатор за допомогою коронного розряду.

Суть корисної моделі пояснюють креслення:

45 Фіг. 1 - схематичне зображення віброозонуючої сушарки,

Фіг. 2 - вигляд А на фіг. 1.

Віброозонуюча сушарка містить сушильну камеру 1 U-подібної форми з перфорованим днищем 25, яка встановлена за допомогою пружних підвісок 2 і оснащена вібратором 3 та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр 4 з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери 1 і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі 10, 11 зі скребками 14, 15 встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища 25 сушильної камери 1, а третя та четверта лопаті-перемішувачі 12, 13 зі скребками 16, 17 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра 4, який встановлений на опорах 18, 19 і з однієї 55 сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента 20, до якої через окремий повітропровід 23 подається озон певної концентрації, який генерує озонатор 24 за допомогою коронного розряду. Крім того, лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17 нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які з'єднані з втулкою 21 зі шківом 22, що розміщений зовні сушильної камери 1. Позицією 5 позначений сушильний матеріал.

## UA 122237 U

Нижня частина сушильної камери встановлена всередині дифузора 26, який через пружне еластичне з'єднання 27 сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Сушильна камера 1, що ущільнена пружними вставками 28, 29, у верхній панелі 30 має завантажувальний отвір 31, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток 32.

5 Віброозонуюча сушарка працює наступним чином. На першому етапі процесу сушильний агент температурою +30 °С з системи подачі-відбору сушильного агента 20 надходить у внутрішню частину пустотілого циліндра 4 з перфорованою боковою поверхнею, через яку подається в шар оброблюваного матеріалу 5, проходить через нього зверху-вниз і проникає через перфороване днище 25 сушильної камери 1 в дифузор 26, в якому створюється розрідження. Відпрацьований вологий охолоджений сушильний агент виводиться з дифузора 26  
10 через еластичне з'єднання 27 системою подачі-відбору сушильного агента 20.

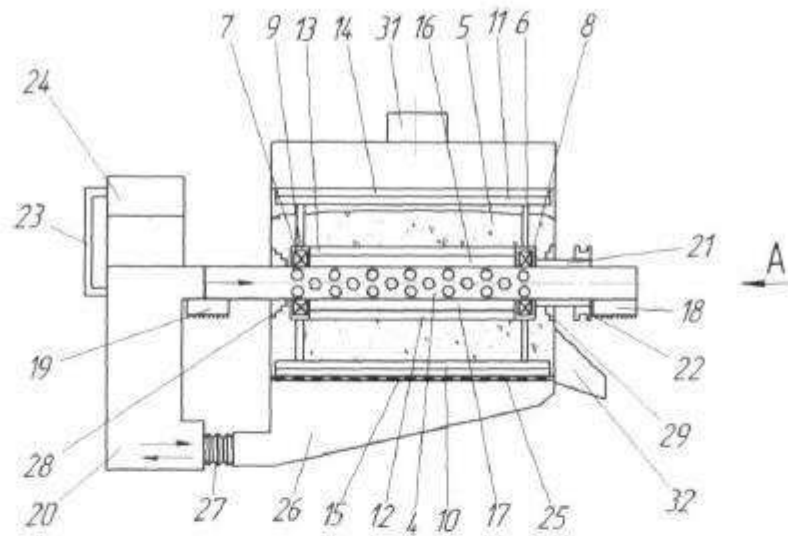
На другому етапі сушильний агент температурою +50 °С, насичений озonom певної концентрації, який генерує озонатор 24 за допомогою коронного розряду, з системи подачі-відбору сушильного агента 20 через дифузор 26, перфороване днище 25 сушильної камери 1 подається в шар матеріалу 5, проходить через нього знизу-вверх і видаляється з сушильної камери 1 через завантажувальний отвір 31 у верхній панелі 30.  
15

Матеріал 5 потрапляє в сушильну камеру 1 через завантажувальний отвір 31. Під дією вібратора 3, який створює коливання сушильної камери 1 і потоку сушильного агента, насіння 5 переходить у віброкиплячий стан і рівномірним шаром заповнює сушильну камеру 1.  
20

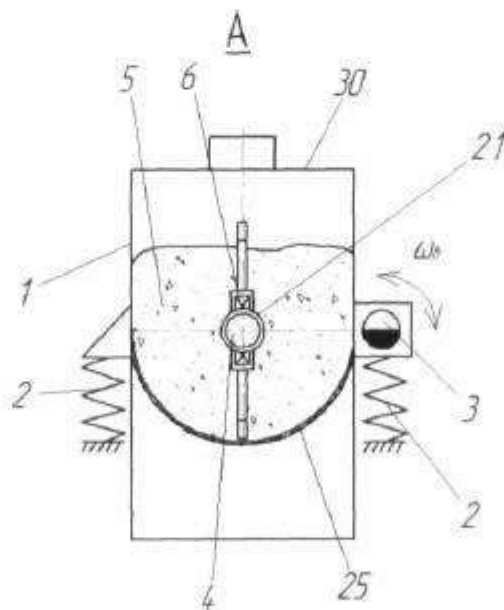
## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Віброозонуюча сушарка, яка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр з перфорованою боковою  
25 поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, при цьому перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з  
30 можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який через пружне еластичне з'єднання  
35 сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера, що ущільнена пружними вставками, у верхній панелі має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, яка відрізняється тим, що на її рамі встановлено озонатор, який генерує озон за допомогою коронного розряду і на другому етапі сушіння подає його через окремий повітропровід до системи подачі-відбору сушильного агента.

UA 122237 U



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601





УКРАЇНА

# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 124005

ВІБРАЦІЙНА СУШАРКА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 12.03.2018.

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України

*[Signature]* Титарчук





УКРАЇНА

(19) UA (11) 124005 (13) U  
(51) МПК  
F26B 17/30 (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

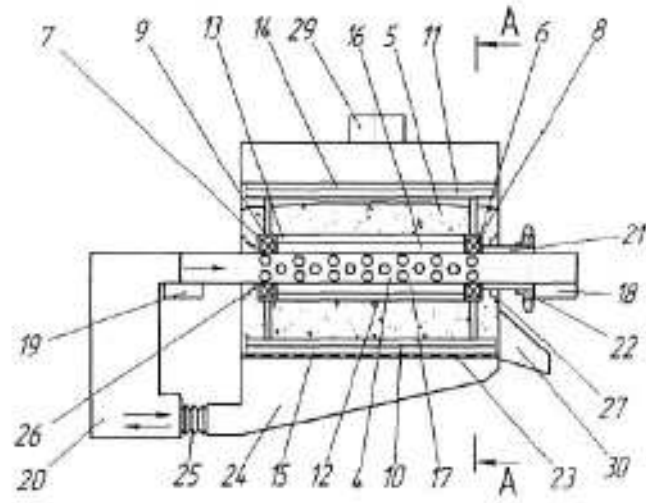
(21) Номер заявки: <b>u 2017 11053</b>	(72) Винахідник(и): <b>Цуркан Олег Васильович (UA), Присижнюк Дмитро Володимирович (UA), Гудренко Наталія Миколаївна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>13.11.2017</b>	(73) Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>12.03.2018</b>	
(46) Публікація відомостей про видатку патенту: <b>12.03.2018, Бюл.№ 5</b>	

**(34) ВІБРАЦІЙНА СУШАРКА****(67) Реферат**

Вібраційна сушарка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, при цьому перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того лопаті-перемішувачі з еластичними скребками перухою з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою, що розміщена зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який через пружне еластичне з'єднання сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того ушійна камера, що ушійнена пружними вставками, у верхній панелі має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток. Додатково втулку розміщено зовні сушильної камери, з'єднують із зрочкою, яка є елементом ланцюгової передачі.

UA 124005 U

UA 124005 U





UA 124005 U

Корисна модель належить до техніки сушіння дисперсних високочислених, здатних до злипання і налипання матеріалів у віброкапильному шарі, і може бути використана у сільськогосподарській, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

Відомі сушарка гранулятор (Патент України №51951 кл. F26B 11/04, 2003 р.), яка містить 5 обертовий корпус із завантажувальною частиною у вигляді прийнятно гвинтової насадки із листових та ланцюгових лопатей, середньою частиною з ланцюговими лопатями, закріпленими на крапінотійках, та розвантажувальною частиною, при чому у середній частині за ланцюговими лопатями встановлені групи лопатей з обертовими кутами нахилу по ходу обертання, між якими 10 закріплені підвіски ланцюгів, після груп лопатей встановлені підіймані лопаті лопатки, які мають у перерізі трикутники з вершиною, оберненою до центра, та розташовані між ними поперемінно ланцюгові підвіски, перед розвантажувальною частиною закріплені поєздовжні ребра, а в розвантажувальній частині розсікачі, причому у кожній групі листові лопаті встановлено під кутом нахилу до радіусу корпусу, який зменшується по ходу обертання, однойменні лопаті у кожній групі встановлено під однаковими кутами.

Недоліком вібраційної сушарки є неможливість висушування дисперсних високочислених, здатних до злипання і налипання матеріалів.

Відомий тепломасообмінний апарат (а. с. № 1218800, Бол. №9, 07.03.88 р.), який містить 20 циліндричний корпус, ротор у вигляді пустотілого шара із закріпленими до нього перфорованими шнековими витками, перегородки у корпусі, патрубки підведення і відведення теплоносія, завантажувальний та розвантажувальний патрубки.

Недоліком тепломасообмінного апарату є значні енерговитрати, оскільки для переміщення матеріалу, що висушують, застосовують привод, який змушений транспортувати цей матеріал 25 вертикально знизу дотори, де його розвантажують.

Найбільш близькою до заявленої сушарки за технічною суттю та досягаемому результату є 30 вібраційна сушарка (Патент України на корисну модель № 64644.кл. F26B 17/30. Бол. № 21, 2011), яка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим дном, що оснащена пружними підвісками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі 35 сушильної камери, що укріплена пружними вставками, і на якому розміщені дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого дна сушильної камери, з однієї сторони пустотілий циліндр з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні дна розташований розвантажувальний лоток, причому вона додатково містить дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, що 40 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, перухою встановленої на опорі, крім того всі лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з шпindelю, що розміщений зовні сушильної камери.

Недоліком вібраційної сушарки є можливість пробуксовування між пасом і шківом, який 45 з'єднаний з втулкою і розміщений зовні сушильної камери, що в свою чергу призведе до зниження продуктивності та якості перемішування насіння і очистки перфорованих поверхонь сушильної камери та пустотілого циліндра.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення продуктивності та якості 50 перемішування насіння і очистки перфорованих поверхонь сушильної камери та пустотілого циліндра.

Поставлена задача вирішується тим, що замість шківів, який з'єднаний з втулкою і 55 розміщений зовні сушильної камери, встановлюється зрочка, яка є елементом ланцюгової передачі.

Суть корисної моделі пояснюють креслення: фіг. 1 - схематичне зображення вібраційної сушарки, фіг. 2 - переріз А-А фіг. 1.

Вібраційна сушарка містить сушильну камеру 1 U-подібної форми з перфорованим дном 23, 60 яка встановлена за допомогою пружних підвісок 2 і оснащена вібратором 3 та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр 4 з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери 1 і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі 10, 11 зі скребками 14, 15 встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого дна 23 сушильної камери 1, а третя та четверта лопаті-перемішувачі 12, 13 зі скребками 16, 17 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра 4, який встановлений на опорах 18, 19 і з'єднані



## UA 124005 U

сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Крім цього лопаті перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17 нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які з'єднані з втулкою 21 із зрізкою 22, що розміщена зовні сушильної камери. Положення 5 позначений сушильний матеріал.

5 Нижня частина сушильної камери встановлена всередині дифузора 24, який через пружне еластичне з'єднання 25 сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Сушильна камера 1, що укріплена пружними вставками 26, 27, у верхній панелі 28 має деаертаційний отвір 29, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток 30.

10 Вібруюча сушарка працює наступним чином. На першому етапі процесу сушильний агент температурою +30 °С з системи подачі-відбору сушильного агента 20 надходить у внутрішню частину пустотливого циліндра 4 з перфорованою боковою поверхнею, через яку подається в шар оброблюваного матеріалу 5, проходить через нього зверху вниз і проникає через перфороване днище 23 сушильної камери 1 в дифузор 24, в якому створюється розрідження. Відпрацьований вологий охолоджений сушильний агент виводиться з дифузора 24 через еластичне з'єднання 25 системою подачі-відбору сушильного агента 20.

15 На другому етапі сушильний агент температурою +50 °С з системи подачі-відбору сушильного агента 20 через дифузор 24, перфороване днище 23 сушильної камери 1 подається в шар матеріалу 5, проходить через нього знизу-вверх і видаляється з сушильної камери 1 через деаертаційний отвір 29 у верхній панелі 28.

20 Матеріал 5 потрапляє в сушильну камеру 1 через деаертаційний отвір 29. Під дією вібратора 3, який створює коливання сушильної камери 1 і потоку сушильного агента, насіння 5 переходить у вібровапильний стан і рівномірним шаром заповнює сушильну камеру 1.

25 Лопаті перемішувачі 10-13, які приводяться в обертальний рух через втулку 21 із зрізкою 22 зовнішнім окремим приводом, забезпечують очистку перфорованих поверхонь сушильної камери 1, пустотливого циліндра 4 і перемішують насіння 5.

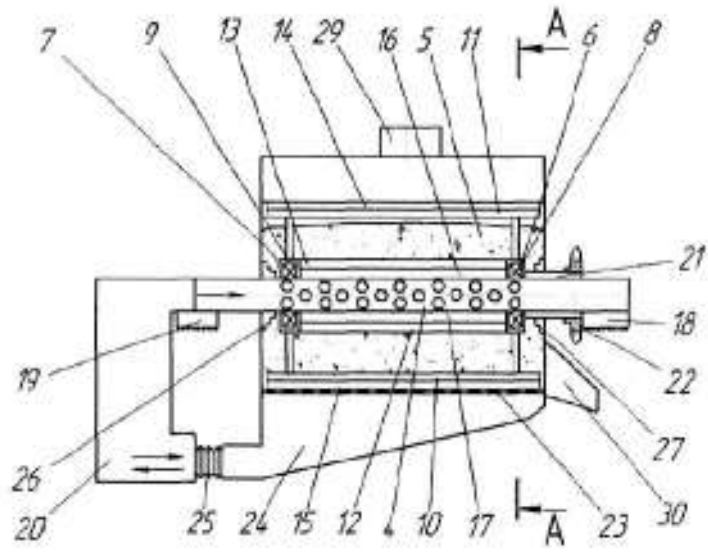
## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 Вібруюча сушарка, що містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотливий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, при цьому перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками становлять

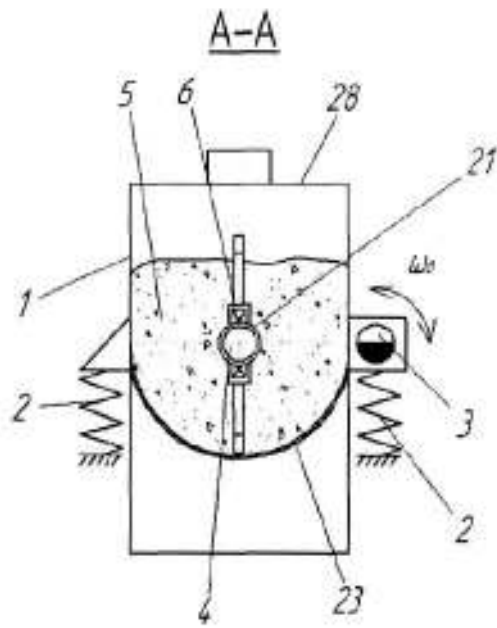
35 з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотливого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою, що розміщена зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який

40 через пружне еластичне з'єднання сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того сушильна камера, що укріплена пружними вставками, у верхній панелі має деаертаційний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, яка відрізняється тим, що втулка, яку розміщено зовні сушильної камери, з'єднується із зрізкою, яка є елементом ланцюгової передачі.

UA 124005 U



Фиг. 1



Фиг. 2

UA 124005 U

---

Комп'ютерна верстка О. Рибко

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



УКРАЇНА

# ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 124870

ВІБРАЦІЙНА СУШАРКА

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.04.2018.

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України

*[Signature]* Тітарчук







УКРАЇНА

(19) UA (11) 124870 (13) U  
(51) МПК  
F26B 17/30 (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

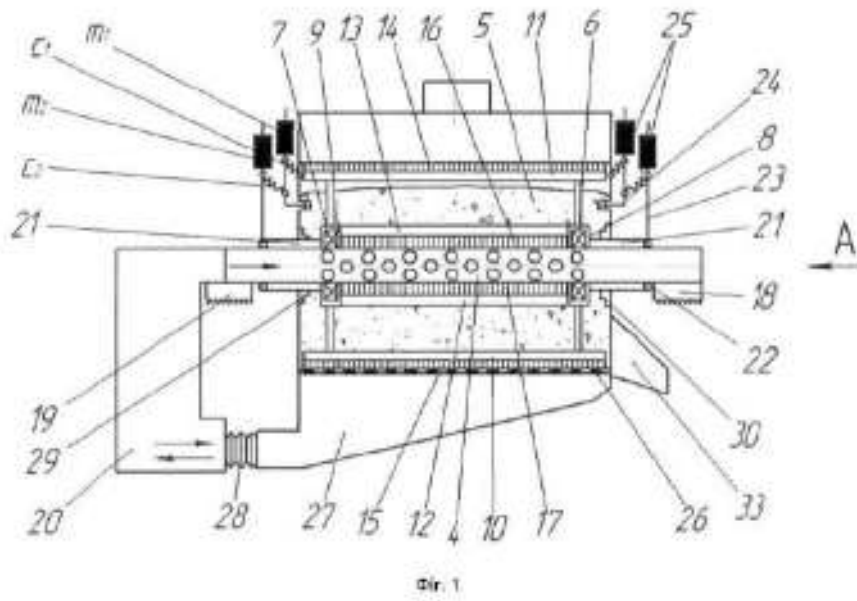
(21) Номер заявки	м 2017 11072	(72) Винахідник(и): Цуркан Олег Васильович (UA), Присяжнюк Дмитро Володимирович (UA), Гуданко Наталія Миколаївна (UA)
(22) Дата подання заявки	13.11.2017	(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008 (UA)
(24) Дата, з якої є чинним права на корисну модель:	25.04.2018	
(46) Публікація міжнародної при наявності патенту	25.04.2018, Бюл.№ 8	

**(54) ВІБРАЦІЙНА СУШАРКА****(57) Резюме:**

Вібраційна сушарка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, яка оснащена пружними підвісками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що уціільнена пружними вставками, і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі, дві з яких встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а дві інших - з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопаті-перемішувачі нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втупкою, з можливістю обертання втупки, яка з'єднується з маятниковими механізмами з маятниками, що розміщені зовні сушильної камери, які через пружини з'єднуються між собою та контейнером, а пустотілий циліндр з однієї сторони з'єднаний з системою подачі і відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток. Як скребок встановлено щітки з ворсу.

UA 124870 U

UA 124870 U



UA 124870 U

Корисна модель належить до сушіння дисперсних високовологих, здатних до злипання і налипання матеріалів у віброкиплячому шарі, і може бути використана у сільськогосподарській, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

Відомий теплообмінний апарат (А.С. № 1218600, Бюл. № 9, 07.03.86 р.), який містить циліндричний корпус, ротор у вигляді пустотілого диска із закріпленими до нього перфорованими шківками вставками, перфоровані у корпусі, патрубкі підведення і відведення теплоносія, завантажувальний та розвантажувальний патрубкі.

Недоліком теплообмінного апарата є значні енерговитрати, оскільки для переміщення матеріалу, що висушують, застосовують привод, який змушений транспортувати цей матеріал вертикально знизу догори, де його розвантажують.

Відомі вібраційна сушарка (Патент України № 64844 кл. F26B 17/30, Бюл. № 21, 2011), яка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що оснащена пружними підвісками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що уцільнена пружними вставками, і на якому розміщені дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, з однієї сторони пустотілий циліндр з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, причому вона додатково містить дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, що встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери.

Недоліком вібраційної сушарки є підвищені енерговитрати за рахунок приведення в обертний рух лопатей-перемішувачів від індивідуального зовнішнього привода.

Найбільш близьким аналогом є вібраційна сушарка (Патент України № 115030, кл. F26B 17/30, Бюл. № 6, 2017 р.), що містить з сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, яка оснащена пружними підвісками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що уцільнена пружними вставками, і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, дві з яких встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а дві інших - з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою, з можливістю обертання втулки, а пустотілий циліндр з однієї сторони з'єднаний з системою подачі і відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток. Втулки виконані у вигляді внутрішніх обоєм механізмів вільного ходу, зовнішні обидві яких з'єднані з маятниками, на яких нерухомо закріплені вантажі, а до маятників приєднані через пружини додаткові маятники з вантажами, які з допомогою пружин з'єднані з шківним валом, з можливістю обертання лопатей-перемішувачів.

Недоліком вібраційної сушарки є швидке спрацювання еластичних скребків, низька якість очищення ними поверхні перфорованого днища сушильної камери та перфорованої поверхні пустотілого циліндра, втрача потужності привода на подолання сил тертя між еластичними скребками та перфорованими поверхнями днища сушильної камери і пустотілого циліндра.

В основу корисної моделі поставлена задача зменшення спрацювання очищувальних елементів, підвищення якості очищення ними поверхні перфорованого днища сушильної камери та перфорованої поверхні пустотілого циліндра, зниження втрат потужності на їх привід.

Поставлена задача вирішується тим, що як скребки встановлено щіпки з ворсу.

Суть корисної моделі пояснюють креслення: Фіг. 1 - схематичне зображення вібраційної сушарки, Фіг. 2 - вигляд А на Фіг. 1.

Вібраційна сушарка містить сушильну камеру 1 U-подібної форми з перфорованим днищем 26, яка встановлена за допомогою пружних підвісок 2 і оснащена вібратором 3 та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр 4 з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери 1 і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі 10-13 з щіпками із ворсу 14-17. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі 10,



## UA 124870 U

11 із щітками 14, 15 встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища 26 сушильної камери 1, а третя та четверта лопаті-перемішувачі 12, 13 із щітками 16, 17 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотливого циліндра 4, який встановлений на опорах 18, 19 і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Крім того, лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17 нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які з'єднані з втулкою 21, яка з'єднується з маятниковими механізмами 22 з маятниками 23 і 24, що розміщені зовні сушильної камери 1, які через пружини 25 з'єднуються між собою та контейнером 1. Пластина 5 позначений сушильний матеріал. Нижня частина сушильної камери встановлена всередині дифузора 27, який через пружне еластичне з'єднання 28 сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Сушильна камера 1, що ущільнена пружними вставками 29, 30, у верхній кришці 31 має завантажувальний отвір 32, а на рівні днища розташований розвантажувальний потік 33.

Вібраційна сушарка працює наступним чином. На першому етапі процесу сушильний агент температурою +30 °C з системи подачі-відбору сушильного агента 20 надходить у внутрішню частину пустотливого циліндра 4 з перфорованою боковою поверхнею, через яку подається в шар оброблюваного матеріалу 5, проходить через нього зверху-вниз і проникає через перфороване днище 26 сушильної камери 1 в дифузор 27, в якому створюється розрідження. Відрацьований вологий охолоджений сушильний агент виводиться з дифузора 27 через еластичне з'єднання 28 системою подачі-відбору сушильного агента 20.

На другому етапі сушильний агент температурою +50 °C з системи подачі-відбору сушильного агента 20 через дифузор 27, перфороване днище 26 сушильної камери 1 подається в шар матеріалу 5, проходить через нього знизу-вверх і видається з сушильної камери 1 через завантажувальний отвір 32 у верхній панелі 31.

Матеріал 5 потрапляє в сушильну камеру 1 через завантажувальний отвір 32. Під дією вібратора 3, який створює коливання сушильної камери 1 і потоку сушильного агента, насіння 5 переходить у віброкільний стан і рівномірним шаром заповнює сушильну камеру 1.

Від вібратора 3, що обертається з кутовою швидкістю  $\omega$ , передаються кутові коливання в вертикальній площині U-подібному контейнеру 1, в торцях якого встановлені підпружинені "перевертнуті" маятники 24. Гармонійні коливання, що генеруються приводом, кінематично збуджують крутильні коливання маятників 24. Власні частоти коливань маятників із вантажами необхідно вибрати приблизно рівними частоті коливань контейнера, але вони не повинні дорівнювати одна одній, для створення їх протифазних коливань. Через пружини, які з'єднують маятники, крутильні коливання передаються від маятників 24 до маятників 23. Останні через зовнішні обойми механізмів вільного ходу приводить в обертовий рух втулки 21, виконані у вигляді внутрішніх обойми механізмів вільного ходу, які в свою чергу нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які нерухомо з'єднані з лопатями-перемішувачами.

Крутильні коливання перетворюються в обертаний рух лопатей-перемішувачів. Завдяки пружним вставкам 29 між втулкою та контейнером високочастотні коливання контейнера на пустотливий циліндр не передаються. Тим самим механізми вільного ходу не отримують вібрації і заклинювання роликів відбувається своєчасно. Варіюючи величинами мас вантажів  $m_1$  і  $m_2$  та жорсткостями  $c_1$  і  $c_2$  у широких межах здійснюється регулювання величин крутного моменту і кутової швидкості обертання лопатей перемішувачів, які забезпечують очистку перфорованих поверхонь сушильної камери 1, пустотливого циліндра 4 і перемішують насіння 5.

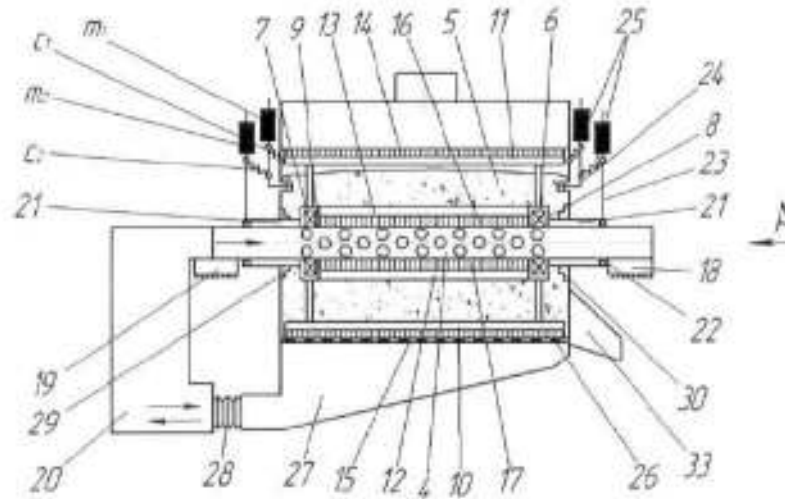
## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Вібраційна сушарка, що містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, яка оснащена пружними підвісками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотливий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що ущільнена пружними вставками, і на якому розміщені чотири лопаті перемішувачів, дві з яких встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а дві інших з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотливого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопаті перемішувачів нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою, з можливістю обертання втулки, яка з'єднується з маятниковими механізмами з маятниками, що розміщені зовні сушильної камери, які через пружини з'єднуються між собою та контейнером, а пустотливий циліндр з однієї сторони з'єднаний з системою подачі і відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має

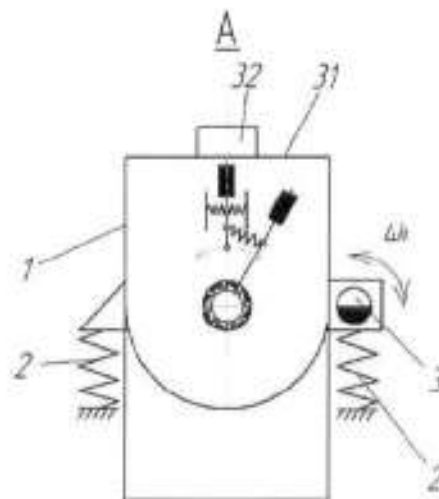


UA 124870 U

завантажувальний отвір, а на рівні дна розташований розвантажувальний лоток, яка відрізняється тим, що як скребки встановлено щітки з ворсу.



Фиг. 1

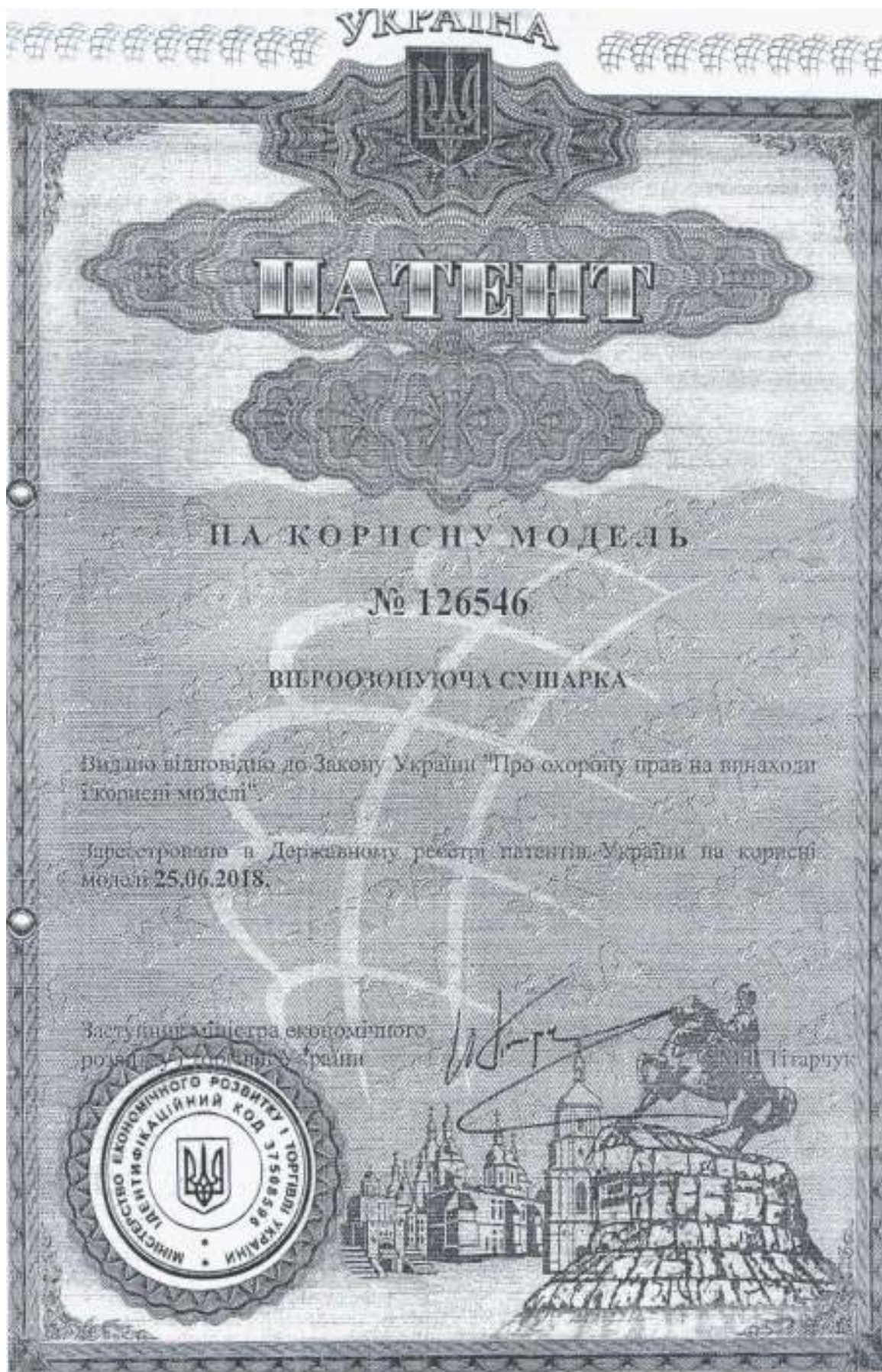


Фиг. 2

Комп'ютерна версія О. Рабіо

Міс: перше незалежного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ - 42, 01601





МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **126546** (13) **U**  
(51) МПК  
*F26B 17/30* (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2018 00517</b>	(72) Винахідник(и): <b>Мазур Віктор Анатолійович (UA), Янович Віталій Петрович (UA), Цуркан Олег Васильович (UA), Присяжнюк Дмитро Володимирович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>18.01.2018</b>	(73) Власник(и): <b>ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.06.2018</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.06.2018, Бюл.№ 12</b>	

## (54) ВІБРООЗОНУЮЧА СУШАРКА

### (57) Реферат:

Віброозонуюча сушарка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, до якої через окремих повітропровід приєднано озонатор, що встановлений на рамі сушарки. Лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників які з'єднані з втулкою зі шківом. Сушильна камера, що ущільнена пружними вставками, у верхній панелі має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток. В завантажувальний отвір встановлено каталітичний деструктор озону, який на другому етапі сушіння при видаленні відпрацьованого сушильного агента із сушарки буде розкладати залишковий озон, що знаходиться в складі сушильного агента, до концентрації, яка менша за гранично допустиму.

UA 126546 U

UA 126546 U

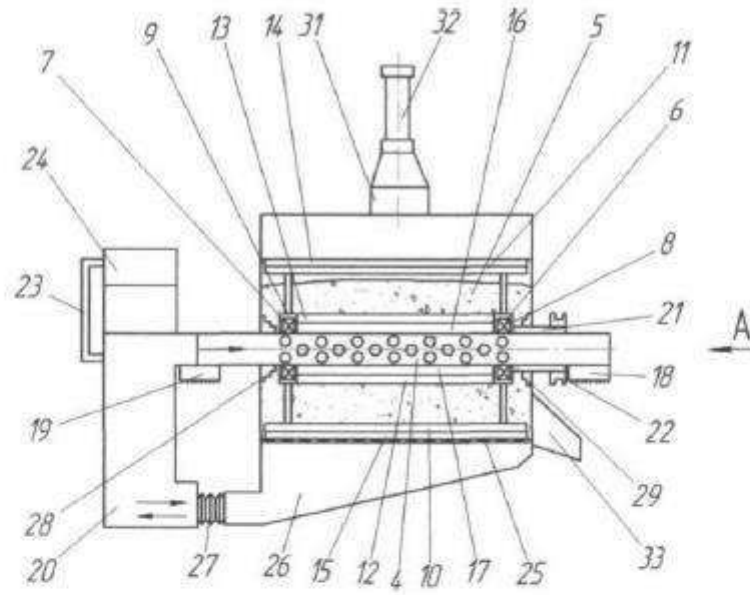


Fig. 1



## UA 126546 U

Корисна модель належить до галузі сушіння дисперсних високовологих, здатних до злипання і налипання матеріалів у віброкиплячому шарі і може бути використана у сільськогосподарській, харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

Відомий теплообмінний апарат [а.с. № 1216600, Бюл. № 9, 07.03.86 р.], який містить 5 циліндричний корпус, ротор у вигляді пустотілого вала із закріпленими до нього перфорованими шнековими витками, перегородки у корпусі, патрубки підведення і відведення теплоносія, завантажувальний та розвантажувальний патрубки.

Недоліком тепломасообмінного апарату є значні енерговитрати, оскільки для переміщення 10 матеріалу, що висушують, застосовують привод, який змушений транспортувати цей матеріал вертикально знизу догори, де його розвантажують.

Відома вібраційна сушарка (Патент України на корисну модель № 64644, кл. F26B 17/30, Бюл. № 21, 2011), яка містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що 15 оснащена пружними підвісками і вібратором, причому її нижня частина встановлена всередині дифузора, який під'єднаний до системи подачі-відбору сушильного агента, і газорозподільної решітки, виконаної як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери, що ущільнена пружними вставками, і на якому розміщені дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, з однієї сторони пустотілий циліндр 20 з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того, сушильна камера у верхній частині має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, причому вона додатково містить дві лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, що встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, нерухомо встановленого на опорах, крім того, всі лопаті-перемішувачі з еластичними скребками 25 нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери.

Недоліком вібраційної сушарки є низька інтенсивність процесу сушіння матеріалу.

Найближчим аналогом є віброозонуюча сушарка (Патент України на корисну модель № 122237, МПК F26B 17/30, Бюл. № 24, 2017), яка має сушильну камеру U-подібної форми з 30 перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками. Перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери. Третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю 35 рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента. Лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який через пружне еластичне з'єднання сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента. Сушильна камера, що ущільнена пружними вставками, у верхній 40 панелі має завантажувальний отвір. На рівні днища розташований розвантажувальний лоток. На рамі сушарки встановлено озонатор, який генерує озон за допомогою коронного розряду і на другому етапі сушіння подає його через окремий повітропровід до системи подачі-відбору сушильного агента.

Недоліком віброозонуючої сушарки є те, що у складі відпрацьованого сушильного агента, який видаляється через завантажувальний отвір, міститься озон, концентрація якого може 45 перевищувати гранично допустиму.

В основу корисної моделі поставлена задача зменшити концентрацію озону у відпрацьованому сушильному агенті до значень, які не перевищують гранично допустиму 50 концентрацію.

Поставлена задача вирішується тим, що у віброозонуючій сушарці, що містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий 55 циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, при цьому перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору 60 сушильного агента, до якої через окремий повітропровід приєднано озонатор, що встановлений

## UA 126546 U

на рамі сушарки, крім того лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який через пружне еластичне з'єднання сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того сушильна камера, що

5

10

ущільнена пружними вставками, у верхній панелі має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, згідно з корисною моделлю, в завантажувальний отвір встановлено каталітичний деструктор озону, який на другому етапі сушіння при видаленні відпрацьованого сушильного агента із сушарки буде розкладати залишковий озон, що знаходиться в складі сушильного агента, до концентрації, яка менша за гранично допустиму.

Суть корисної моделі пояснюють креслення: Фіг. 1 - схематичне зображення віброозонуючої сушарки, Фіг. 2 - вид А на Фіг. 1.

15

20

25

Віброозонуюча сушарка містить сушильну камеру 1 U-подібної форми з перфорованим днищем 25, яка встановлена за допомогою пружних підвісок 2 і оснащена вібратором 3 та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр 4 з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери 1 і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17. При цьому перша і друга лопаті-перемішувачі 10, 11 зі скребками 14, 15 встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища 25 сушильної камери 1, а третя та четверта лопаті-перемішувачі 12, 13 зі скребками 16, 17 встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра 4, який встановлений на опорах 18, 19 і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента 20, до якої через окремий повітропровід 23 подається озон певної концентрації, який генерує озонатор 24 за допомогою коронного розряду. Крім цього лопаті-перемішувачі 10-13 з еластичними скребками 14-17 нерухомо з'єднані з корпусами 6, 7 підшипників 8, 9, які з'єднані з втулкою 21 зі шківом 22, що

30

розміщений зовні сушильної камери 1. Положення 5 позначений сушильний матеріал.

Нижня частина сушильної камери встановлена всередині дифузора 26, який через пружне еластичне з'єднання 27 сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента 20. Сушильна камера 1, що ущільнена пружними вставками 28, 29, у верхній панелі 30 має завантажувальний отвір 31, в який встановлено каталітичний деструктор озону 32, а на рівні

35

40

45

днища розташований розвантажувальний лоток 33.

Віброозонуюча сушарка працює наступним чином. На першому етапі процесу сушильний агент температурою +30 °С з системи подачі-відбору сушильного агента 20 надходить у внутрішню частину пустотілого циліндра 4 з перфорованою боковою поверхнею, через яку подається в шар оброблюваного матеріалу 5, проходить через нього зверху-вниз і проникає через перфороване днище 25 сушильної камери 1 в дифузор 26, в якому створюється розрідження. Відпрацьований вологий охолоджений сушильний агент виводиться з дифузора 26 через еластичне з'єднання 27 системою подачі-відбору сушильного агента 20.

На другому етапі сушильний агент температурою +50 °С, насичений озоном певної концентрації, який генерує озонатор 24 за допомогою коронного розряду, з системи подачі-відбору сушильного агента 20 через дифузор 26, перфороване днище 25 сушильної камери 1 подається в шар матеріалу 5, проходить через нього знизу-вверх і видалється з сушильної камери 1 через завантажувальний отвір 31 у верхній панелі 30, проходячи через каталітичний деструктор озону 32, в якому залишковий озон, що знаходиться у складі сушильного агента, розкладається до концентрації, яка менша за гранично допустиму.

Матеріал 5 потрапляє в сушильну камеру 1 через завантажувальний отвір 31. Під дією вібратора 3, який створює коливання сушильної камери 1 і потоку сушильного агента, насіння 5 переходить у віброкиплячий стан і рівномірним шаром заповнює сушильну камеру 1.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

50

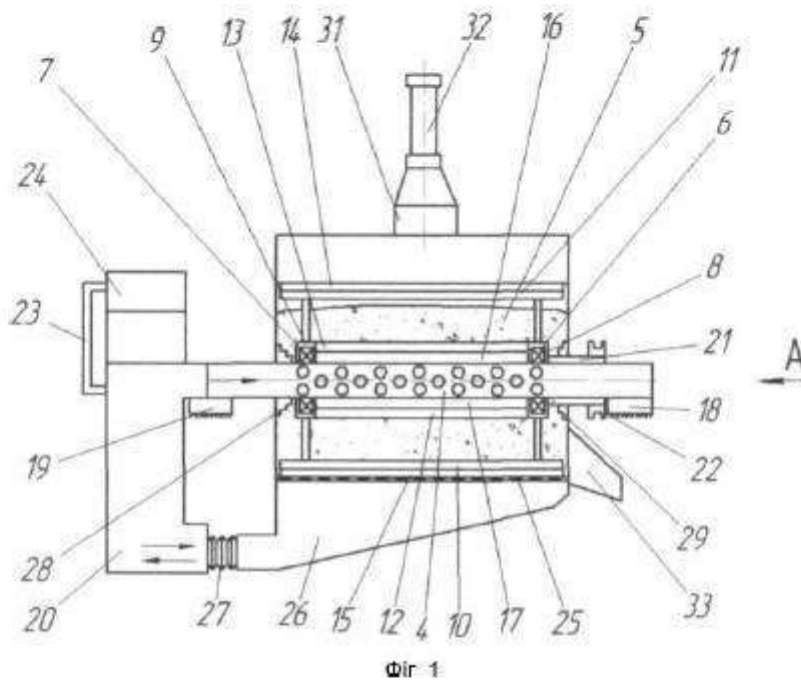
55

60

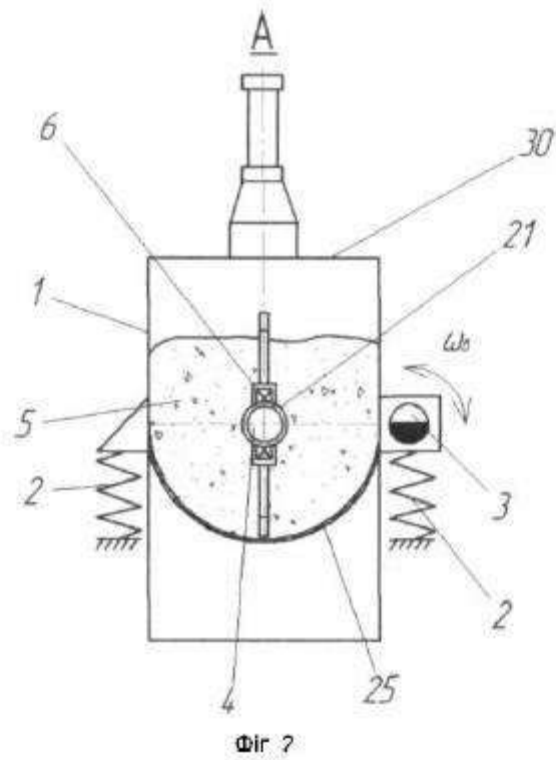
Віброозонуюча сушарка, що містить сушильну камеру U-подібної форми з перфорованим днищем, що встановлена за допомогою пружних підвісок і оснащена вібратором та газорозподільною решіткою, що виконана як пустотілий циліндр з перфорованою боковою поверхнею, який розміщений по осі сушильної камери і на якому розміщені чотири лопаті-перемішувачі з еластичними скребками, при цьому перша і друга лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з поверхнею перфорованого днища сушильної камери, а третя та четверта лопаті-перемішувачі зі скребками встановлені з можливістю рухомого контакту з перфорованою поверхнею пустотілого циліндра, який встановлений на опорах і з однієї сторони з'єднаний з системою подачі-відбору сушильного агента, до якої через окремий повітропровід приєднано озонатор, що встановлений на рамі

UA 126546 U

- сушарки, крім того лопаті-перемішувачі з еластичними скребками нерухомо з'єднані з корпусами підшипників, які з'єднані з втулкою зі шківом, що розміщений зовні сушильної камери, нижня частина якої встановлена всередині дифузора, який через пружне еластичне з'єднання сполучений з системою подачі-відбору сушильного агента, крім того сушильна камера, що ущільнена пружними вставками, у верхній панелі має завантажувальний отвір, а на рівні днища розташований розвантажувальний лоток, яка відрізняється тим, що в завантажувальний отвір встановлено каталітичний деструктор озону, який на другому етапі сушіння при видаленні відпрацьованого сушильного агента із сушарки буде розкладати залишковий озон, що знаходиться в складі сушильного агента, до концентрації, яка менша за гранично допустиму.



UA 126546 U



---

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

---

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



**Додаток Д**  
**Договори про творчу співпрацю.**  
**Акти виробничих випробувань технології та обладнання для сушіння**  
**зернової сировини під час її післязбиральної обробки.**  
**Оцінка економічної ефективності.**  
**Акти впровадження науково-дослідної та дослідно-конструкторської**  
**роботи**

## Д 1. Договір про творчу співпрацю з ТОВ «ПК «Зоря Поділля»

ЗАТВЕРДЖУЮ	ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Вінницького національного аграрного університету	Директор товариства з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля»
Мазур Віктор Анатолійович	Таранашин Олександр Віталійович
	
	
2018 р.	2018 р.

### ДОГОВІР про творчу співпрацю

З метою розширення, закріплення та підвищення дієвості співпраці між науковими працівниками вищих навчальних закладів освіти та виробничими структурами; поліпшення якості отримання та обробки результатів досліджень; виявлення нових напрямків та граней наукових розробок; прискорення впровадження високоефективної техніки та її базових вузлів у виробництвах агропромислового комплексу, зокрема в процесах виробництва та первинної переробки сільськогосподарської продукції Вінницький національний аграрний університет (ВНАУ) з однієї сторони та товариство з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля» з іншої уклали між собою договір про творчу співпрацю.

Сторони, що домовляються між собою, беруть на себе відповідальність щодо виконання робіт за темою „Розробка, дослідження та впровадження у виробництво вібраційної техніки для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки” у відповідності з об’ємом і строками, зазначеними у план-графіку (табл. 1). Робота в межах договору про співпрацю проводиться без взаємних грошових розрахунків, а результати досліджень можуть використовувати обидві сторони.

Таблиця 1

## План-графік робіт в межах договору про творчу співпрацю

№ п/п	Зміст роботи	Строки		Виконавці
		Початок	Кінець	
1	Розробка раціональних схем для реалізації процесу зневоднення насіння сільськогосподарських культур у процесі його післязбиральної обробки	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
2	Розробка робочих креслень деталей та вузлів	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
3	Виготовлення експериментально-промислової моделі вібраційної сушарки	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
4	Дослідження основних характеристик та обґрунтування параметрів робочого режиму	01.09.2018	03.11.2018	ТОВ «ПК «Зоря Поділля» ВНАУ
5	Випробування розробленої установки в виробничих процесах	01.09.2018	03.11.2018	ТОВ «ПК «Зоря Поділля» ВНАУ
6	Оцінка розробленої вібраційної сушарки за основними техніко-економічними показниками	04.11.2018	06.11.18	ВНАУ

По закінченню терміну дії договору результати наукової співпраці оформлюються у вигляді звіту, актів промислових випробувань, впровадження, розрахунку економічного ефекту від впровадження розробок та інші необхідні документи, які затверджують обидві сторони.

Обов'язки сторін:

1. ВНАУ забезпечує проведення необхідних досліджень та підготовку робочих креслень вузлів експериментально-промислових моделей розробок.
2. Товариство з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля» забезпечує проведення досліджень і випробувань розробленого обладнання у виробничих умовах.



3. ВНАУ та товариство з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля» повинні обмінюватись інформацією про хід досліджень та випробувань розроблених машин.
4. Результати досліджень можуть бути використані у сумісних або односторонніх розробках та публікаціях при погодженні з керівниками теми від обох сторін.
5. При отриманні позитивного результату та економічного ефекту впровадження та широке застосування розроблених машин забезпечується шляхом створення спільного тимчасового творчого колективу по договору з адміністрацією відповідних закладів.

Договір затверджується:

від ВНАУ

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент

В.П. Янович

від ТОВ «ПК «Зоря Поділля»



О.В. Таранишин

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент

О.В. Цуркан

головний інженер

В.А. Максименко

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки  
к.е.н., доцент

Н.М. Гудзенко

головний бухгалтер

Т.М. Івашенко

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

Д.В. Присяжнюк

## Д 2. Договір про творчу співпрацю з ФГ «Століпін»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Ректор Вінницького національного  
аграрного університету

Мазур Віктор Анатолійович



20 червня 2014 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директор фермерського  
господарства «Століпін»

Ніколяк Дмитро Олександрович



20 червня 2014 р.

### ДОГОВІР

#### про творчу співпрацю

З метою розширення, закріплення та підвищення дієвості співпраці між науковими працівниками вищих навчальних закладів освіти та виробничими структурами; поліпшення якості отримання та обробки результатів досліджень; виявлення нових напрямків та гралей наукових розробок; прискорення впровадження високоєфективної техніки та її базових вузлів у виробництвах агропромислового комплексу, зокрема в процесах виробництва та первинної переробки сільськогосподарської продукції Вінницький національний аграрний університет (ВНАУ) з однієї сторони та фермерського господарства «Століпін» з іншої уклали між собою договір про творчу співпрацю.

Сторони, що домовляються між собою, беруть на себе відповідальність щодо виконання робіт за темою „Розробка, дослідження та впровадження у виробництво вібраційної техніки для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки” у відповідності з об’ємом і строками, зазначеними у план-графіку (табл. 1). Робота в межах договору про співпрацю проводиться без взаємних грошових розрахунків, а результати досліджень можуть використовувати обидві сторони.



Таблиця 1

## План-графік робіт в межах договору про творчу співпрацю

№ п/п	Зміст роботи	Строки		Виконавці
		Початок	Кінець	
1	Розробка раціональних схем для реалізації процесу зневоднення насіння сільськогосподарських культур у процесі його післязбиральної обробки	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
2	Розробка робочих креслень деталей та вузлів	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
3	Виготовлення експериментально-промислової моделі вібраційної сушарки	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
4	Дослідження основних характеристик та обґрунтування параметрів робочого режиму	01.09.2018	03.11.2018	ФГ «Столишнін» ВНАУ
5	Випробування розробленої установки в виробничих процесах	01.09.2018	03.11.2018	ФГ «Столишнін» ВНАУ
6	Оцінка розробленої вібраційної сушарки за основними техніко-економічними показниками	04.11.2018	06.11.18	ВНАУ

По закінченню терміну дії договору результати наукової співпраці оформлюються у вигляді звіту, актів промислових випробувань, впровадження, розрахунку економічного ефекту від впровадження розробок та інші необхідні документи, які затверджують обидві сторони.

Обов'язки сторін:

1. ВНАУ забезпечує проведення необхідних досліджень та підготовку робочих креслень вузлів експериментально-промислових моделей розробок.
2. Фермерське господарство «Столишнін» забезпечує проведення досліджень і випробувань розробленого обладнання у виробничих умовах.
3. ВНАУ та фермерське господарство «Столишнін» повинні обмінюватись інформацією про хід досліджень та випробувань розроблених машин.
4. Результати досліджень можуть бути використані у сумісних або

односторонніх розробках та публікаціях при погодженні з керівниками теми від обох сторін.

5. При отриманні позитивного результату та економічного ефекту впровадження та широке застосування розроблених машин забезпечується шляхом створення спільного тимчасового творчого колективу по договору з адміністрацією відповідних закладів.

Договір затверджується:

від ВНАУ

від ФГ «Століція»

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв

ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент

 В.П. Янович

директор



Д.О. Ніколяк

доцент кафедри процесів та обладнання

переробних і харчових виробництв

ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент

 О.В. Цуркан

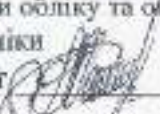
головний інженер



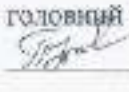
В.Д. Панчук

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки

к.е.н., доцент

 Н.М. Гудзенко

головний бухгалтер



І.І. Петришина

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв

ім. проф. П.С. Берника

 Д.В. Присяжнюк

### Д 3. Договір про творчу співпрацю з СТОВ «Надія»

<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>	<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>
Ректор Вінницького національного аграрного університету	Директор сільськогосподарського товариства з обмеженою
Мазур Віктор Анатолійович	відповідальністю «Надія»
	Гончар Василь Іванович
	
20__ р.	20__ р.

### ДОГОВІР про творчу співпрацю

З метою розширення, закріплення та підвищення дієвості співпраці між науковими працівниками вищих навчальних закладів освіти та виробничими структурами; поліпшення якості отримання та обробки результатів досліджень; виявлення нових напрямків та граней наукових розробок; прискорення впровадження високоефективної техніки та її базових вузлів у виробництвах агропромислового комплексу, зокрема в процесах виробництва та первинної переробки сільськогосподарської продукції Вінницький національний аграрний університет (ВНАУ) з однієї сторони та сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю «Надія» з іншої уклали між собою договір про творчу співпрацю.

Сторони, що домовляються між собою, беруть на себе відповідальність щодо виконання робіт за темою „Розробка, дослідження та впровадження у виробництво вібраційної техніки для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки“ у відповідності з об'ємом і строками, зазначеними у план-графіку (табл. 1). Робота в межах договору про співпрацю проводиться без взаємних грошових розрахунків, а результати досліджень можуть використовувати обидві сторони.



Таблиця 1

## План-графік робіт в межах договору про творчу співпрацю

№ п/п	Зміст роботи	Строки		Виконавці
		Початок	Кінець	
1	Розробка раціональних схем для реалізації процесу зневоднення насіння сільськогосподарських культур у процесі його післязбиральної обробки	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
2	Розробка робочих креслень деталей та вузлів	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
3	Виготовлення експериментально-промислової моделі вібраційної сушарки	21.08.2018	31.08.2018	ВНАУ
4	Дослідження основних характеристик та обґрунтування параметрів робочого режиму	01.09.2018	03.11.2018	СТОВ «Надія» ВНАУ
5	Випробування розробленої установки в виробничих процесах	01.09.2018	03.11.2018	СТОВ «Надія» ВНАУ
6	Оцінка розробленої вібраційної сушарки за основними техніко-економічними показниками	04.11.2018	06.11.18	ВНАУ

По закінченню терміну дії договору результати наукової співпраці оформлюються у вигляді звіту, актів промислових випробувань, впровадження, розрахунку економічного ефекту від впровадження розробок та інші необхідні документи, які затверджують обидві сторони.

Обов'язки сторін:

1. ВНАУ забезпечує проведення необхідних досліджень та підготовку робочих креслень вузлів експериментально-промислових моделей розробок.
2. Сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю «Надія» забезпечує проведення досліджень і випробувань розробленого обладнання у виробничих умовах.
3. ВНАУ та сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю «Надія» повинні обмішуватись інформацією про хід

досліджень та випробувань розроблених машин.

4. Результати досліджень можуть бути використані у сумісних або односторонніх розробках та публікаціях при погодженні з керівниками теми від обох сторін.
5. При отриманні позитивного результату та економічного ефекту впровадження та широке застосування розроблених машин забезпечується шляхом створення спільного тимчасового творчого колективу по договору з адміністрацією відповідних закладів.

Договір затверджується:

**від ВНАУ**

**від СТОВ «Надія»**

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент

директор

 В.Л. Янович

 В.І. Гелета

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент

головний інженер

 О.В. Шуркан

 І.Д. Бондаренко

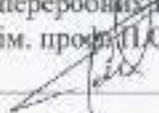
доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки  
к.е.н., доцент

головний бухгалтер





 Н.М. Гудзенко

 Н.В. Гелета

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

 Д.В. Присяжнюк

#### Д 4. Акт виробничих випробувань технології та обладнання для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки

<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>	<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>
Ректор Вінницького національного аграрного університету	Директор товариства з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля»
Мазур Віктор Анатолійович	Таранишин Олександр Віталійович
	
	
08 листопада 2018 р.	08 листопада 2018 р.
<b>АКТ</b>	
виробничих випробувань технології та обладнання для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки	
Комісія в складі:	
директора ТОВ «ПК «Зоря Поділля» О.В. Таранишина,	
головного інженера ТОВ «ПК «Зоря Поділля» В.А. Максименка,	
головного бухгалтера ТОВ «ПК «Зоря Поділля» Т.М. Івашенко,	
завідувача кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента В.П. Яновича,	
доцента кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента О.В. Цуркана,	
доцента кафедри обліку та оподаткування в галузях економіки, к.е.п., доцента Н.М. Гудзенко,	
аспіранта кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника Д.В. Присяжпока	
провела виробничі випробування технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для його реалізації.	
<b>1. Об'єкт випробування.</b>	
Досліджувалась технологія сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу, який складається:	
1 – дослідно-промисловий зразок віброозонуючої сушарки;	



2 – електронний пристрій синтезу озону бар'єрного типу;

3 – каталітичний деструктор озону.

Також в процесі досліджень були задіяні засоби відбору, вимірювання та автоматичного регулювання:

1 – частотні перетворювачі Altivar 312HU22N4 та Micro Drive FC51 (132F0003);

2 – термоанемометр AM 831 з виносним датчиком вимірювання швидкості руху та температури повітря;

3 – терморегулятор TPM-10;

4 – термометр-вологомір з виносним датчиком;

5 – ватметри Д 365 та Ц 301;

6 – трьохфазний лічильник електроенергії СА4У-И672М;

7 – реле часу MZA 94;

8 – вологоміра РМ 650;

9 – акселерометр LIS3DH;

10 – тахометр UNI-T UT 372.

Даний технологічний процес сушіння зернової сировини був розроблений у лабораторії кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника Вінницького національного аграрного університету.

## **2. Мета випробувань.**

Провести виробниче дослідження технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації запропонованої технології.

## **3. Сутність технології сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу**

Одним з можливих шляхів суттєвого удосконалення процесу сушіння зернової сировини є впровадження новітніх технологій, заснованих на використанні віброкиплячого шару, який забезпечує неперервний технологічний процес з можливістю регулювання його основних параметрів. Вібращійні

коливання збільшують і оновлюють поверхню теплообміну (насінини), процес відбувається рівномірно по всьому об'єму, виключаючи зони локального перегріву матеріалу.

Також процес зневоднення у вібраційній сушарці можна поєднати з одночасною подачею сушильного агента, який складається з підігрітого повітря та озону певної концентрації, з метою інтенсифікації даного технологічного процесу та підвищення якості отриманої кінцевої сировини.

Досліджуваний віброозонуючий комплекс забезпечує ефективний процес сушіння зернової, яке має підвищену схильність до налипання та злипання, потребує ощадних режимів зневоднення, що виключають втрату посівних та харчових якостей.

Процес сушіння зернової сировини проходив з циклічною подачею у коливальну сушильну камеру озону в складі сушильного агента при поступовому збільшенні його температури з наступним зниженням до температури навколишнього середовища. Даний технологічний процес відбувався доти, доки вологість зернової сировини не набуде значень – 13-14%.

#### **4. Проведення випробувань.**

В ході виробничих випробувань технології сушіння зернової сировини та обладнання, яке реалізовує дану технологію, визначались амплітудно-частотні характеристики віброозонуючого комплексу, оцінювався вплив параметрів сушильного агента (температури, швидкості подачі), зерна (початкова вологість) і параметрів технологічного процесу (тривалості подачі сушильного агента, концентрації озону у складі сушильного агента, параметрів вібрації) в широких діапазонах зміни їх значень, а також витрати енергії.

Вимірювання основного параметра процесу – вологості насіння здійснювалось двома методами. Перший – за допомогою вимірювача вологості діелькометричного типу. Такі експрес-вимірювання дозволяли оперативно контролювати хід процесу. Другий – гравіметричний метод, для вимірювання вологості проб насіння, відібраних синхронно з експрес-вимірюваннями, здійснювався в лабораторних умовах, для підтвердження надійності та



достовірності результатів. Також в лабораторних умовах, згідно з діючими методиками, було проведено дослідження посівних якостей насіння та стану зараженості спорами грибків та фузаріуму.

Вимірювання температури продукції здійснювалось логометрами з термоелектричними перетворювачами; швидкості руху сушильного агенту – термоанемометром АМ 831; вологості сушильного агенту – термометрами-вологомірами з виносними датчиками; споживаної потужності на привод дебалансного валу та вентилятора – ватметрами Д 365 та Ц 301; амплітудно-частотних характеристик – акселерометричним аналізатором на основі акселерометра LIS3DH. Витрати енергії фіксувались лічильником електроенергії СА4У-И672М.

Механічні характеристики вібраційного сушильного обладнання і витрати енергії на здійснення процесу замірялись безпосередньо або визначались із відомих залежностей із застосуванням стандартних методик. При визначенні даних характеристик на промислових випробуваннях запропонованої технології та обладнання був проведений порівняльний аналіз процесу зневоднення із застосуванням віброозонуючого комплексу, а також технології конвективного сушіння.

## 5. Результати випробувань.

1. В результаті досліджень встановлено, що питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю  $W_k=14\%$  становлять: за використання класичної технології з подачею теплоагента температурою  $50\text{ }^\circ\text{C}$  при тривалості обробки 240хв. – 114 Вт·год/кг або 19 Вт·год/кг на 1% випаруваної вологи (405,72 КДж/кг або 67,62 КДж/кг на 1% випаруваної вологи); за використання комплексного теплофізичного впливу при тривалості обробки 165 хв. – 94 Вт·год/кг або 15,7 Вт·год/кг на 1% випаруваної вологи (338,3 КДж/кг або 56,38 КДж/кг на 1 % випаруваної вологи).

2. Вважати за доцільне продовження роботи по удосконаленню віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини.

Комісія:

від ВНАУ

від ТОВ «ПК «Зоря Поділля»

завідуючий кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент В.П. Яношич О.В. Таранишин

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент О.В. Цуркан В.А. Максименко

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки  
к.с.н., доцент Н.М. Гудзенко Т.М. Іващенко

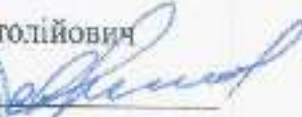



аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника  
Д.В. Присяжнюк

ГОЛОВНИЙ ДИРЕКТОР

ГОЛОВНИЙ БУХГАЛТЕР



## Д 5. Акт виробничих випробувань технології та обладнання для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки

ЗАТВЕРДЖУЮ	ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Вінницького національного аграрного університету	Директор фермерського господарства «Столипін»
Мазур Віктор Анатолійович	Ніколяк Дмитро Олександрович
  «08» листопада 2018 р.	  «08» листопада 2018 р.
<b>АКТ</b>	
виробничих випробувань технології та обладнання для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки	
Комісія в складі:	
<p>директора ФГ «Столипін» Д.О. Ніколяка,            головного інженера ФГ «Столипін» В.Д. Панчука,            головного бухгалтера ФГ «Столипін» І.І. Петришиної,            завідувача кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента В.П. Яновича,            доцента кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента О.В. Цуркана,            доцента кафедри обліку та оподаткування в галузях економіки, к.е.н., доцента Н.М. Гудзенко,            аспіранта кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника Д.В. Присяжнюка</p>	
<p>провела виробничі випробування технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для його реалізації.</p>	
<p><b>1. Об'єкт випробування.</b></p>	
<p>Досліджувалась технологія сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу, який складається:</p>	
<p>1 – дослідно-промисловий зразок віброозонуючої сушарки;</p>	



2 – електронний пристрій синтезу озону бар'єрного типу;

3 – каталітичний деструктор озону.

Також в процесі досліджень були задіяні засоби відбору, вимірювання та автоматичного регулювання:

1 – частотні перетворювачі Altivar 312HU22N4 та Micro Drive FC51 (132F0003);

2 – термоанемометр AM 831 з виносним датчиком вимірювання швидкості руху та температури повітря;

3 – терморегулятор TPM-10;

4 – термометр-вологомір з виносним датчиком;

5 – ватметри Д 365 та Ц 301;

6 – трьохфазний лічильник електроенергії СА4У-И672М;

7 – реле часу MZA 94;

8 – вологоміра РМ 650;

9 – акселерометр LIS3DH;

10 – тахометр UNI-T UT 372.

Даний технологічний процес сушіння зернової сировини був розроблений у лабораторії кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника Вінницького національного аграрного університету.

## **2. Мета випробувань.**

Провести виробниче дослідження технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації запропонованої технології.

## **3. Сутність технології сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу**

Одним з можливих шляхів суттєвого удосконалення процесу сушіння зернової сировини є впровадження новітніх технологій, заснованих на використанні віброкиплячого шару, який забезпечує неперервний технологічний процес з можливістю регулювання його основних параметрів. Вібращійні

коливання збільшують і оновлюють поверхню теплообміну (насінини), процес відбувається рівномірно по всьому об'єму, виключаючи зони локального перегріву матеріалу.

Також процес зневоднення у вібраційній сушарці можна поєднати з одночасною подачею сушильного агента, який складається з підігрітого повітря та озону певної концентрації, з метою інтенсифікації даного технологічного процесу та підвищення якості отриманої кінцевої сировини.

Досліджуваний віброозонуючий комплекс забезпечує ефективний процес сушіння зернової, яке має підвищену схильність до налипання та злипання, потребує ощадних режимів зневоднення, що виключають втрату посівних та харчових якостей.

Процес сушіння зернової сировини проходив з циклічною подачею у коливальну сушильну камеру озону в складі сушильного агента при поступовому збільшенні його температури з наступним зниженням до температури навколишнього середовища. Даний технологічний процес відбувався доти, доки вологість зернової сировини не набуде значень – 13-14%.

#### **4. Проведення випробувань.**

В ході виробничих випробувань технології сушіння зернової сировини та обладнання, яке реалізовує дану технологію, визначались амплітудно-частотні характеристики віброозонуючого комплексу, оцінювався вплив параметрів сушильного агента (температури, швидкості подачі), зерна (початкова вологість) і параметрів технологічного процесу (тривалості подачі сушильного агента, концентрації озону у складі сушильного агента, параметрів вібрації) в широких діапазонах зміни їх значень, а також витрати енергії.

Вимірювання основного параметра процесу – вологості насіння здійснювалось двома методами. Перший – за допомогою вимірювача вологості діелькометричного типу. Такі експрес-вимірювання дозволяли оперативно контролювати хід процесу. Другий – гравіметричний метод, для вимірювання вологості проб насіння, відібраних синхронно з експрес-вимірюваннями, здійснювався в лабораторних умовах, для підтвердження надійності та



достовірності результатів. Також в лабораторних умовах, згідно з діючими методиками, було проведено дослідження посівних якостей насіння та стану зараженості спорами грибків та фузаріуму.

Вимірювання температури продукції здійснювалось логометрами з термоелектричними перетворювачами; швидкості руху сушильного агенту – термоанемометром АМ 831; вологості сушильного агенту – термометрами-вологомірами з виносними датчиками; споживаної потужності на привод дебалансного валу та вентилятора – ватметрами Д 365 та Ц 301; амплітудно-частотних характеристик – акселерометричним аналізатором на основі акселерометра LIS3DH. Витрати енергії фіксувались лічильником електроенергії СА4У-И672М.

Механічні характеристики вібраційного сушильного обладнання і витрати енергії на здійснення процесу замірялись безпосередньо або визначались із відомих залежностей із застосуванням стандартних методик. При визначенні даних характеристик на промислових випробуваннях запропонованої технології та обладнання був проведений порівняльний аналіз процесу зневоднення із застосуванням віброозонуючого комплексу, а також технології конвективного сушіння.

## 5. Результати випробувань.

1. В результаті досліджень встановлено, що питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю  $W_n=14\%$  становлять: за використання класичної технології з подачею теплоагенту температурою  $50\text{ }^\circ\text{C}$  при тривалості обробки 240хв. – 112,93 Вт·год/кг або 18,82 Вт·год/кг на 1% випаруваної вологи (406,54 КДж/кг або 67,75 КДж/кг на 1% випаруваної вологи); за використання комплексного теплофізичного впливу при тривалості обробки 160 хв. – 91,01 Вт·год/кг або 15,16 Вт·год/кг на 1% випаруваної вологи (327,63 КДж/кг або 54,6 КДж/кг на 1 % випаруваної вологи).

2. Вважати за доцільне продовження роботи по удосконаленню віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини.

Комісія:

від ВНАУ

від ФГ «Століпін»

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент

директор

В.П. Янович



Д.О. Ніколяк

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,  
к.т.н., доцент

головний інженер

О.В. Цуркан

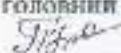


В.Д. Панчук

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки  
к.е.н., доцент

головний бухгалтер

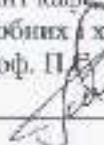
Н.М. Гудзенко



І.І. Петришина

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

Д.В. Присяжнюк



## Д 6. Акт виробничих випробувань технології та обладнання для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки

<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>	<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>
Ректор Вінницького національного аграрного університету	Директор сільськогосподарського товариства з обмеженою
Мазур Віктор Анатолійович	відповідальністю «Надія»
	Гелета Василь Іванович
«06» листопада 2018 р.	«06» листопада 2018 р.
	
<b>АКТ</b>	
виробничих випробувань технології та обладнання для сушіння зернової сировини під час її післязбиральної обробки	
Комісія в складі:	
директора СТОВ «Надія» В.І. Гелети,	
головного інженера СТОВ «Надія» І.Д. Бондаренка,	
головного бухгалтера СТОВ «Надія» Н.В. Гелети,	
завідувача кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента В.П. Яновича,	
доцента кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента О.В. Цуркана,	
доцента кафедри обліку та оподаткування в галузях економіки, к.е.н., доцента Н.М. Гудзенко,	
аспіранта кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника Д.В. Присяжнюка	
провела виробничі випробування технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для його реалізації.	
<b>1. Об'єкт випробування.</b>	
Досліджувалась технологія сушіння зернової сировини з використанням	



віброозонуючого комплексу, який складається:

- 1 – дослідно-промисловий зразок віброозонуючої сушарки;
- 2 – електронний пристрій синтезу озону бар'єрного типу;
- 3 – каталітичний деструктор озону.

Також в процесі досліджень були задіяні засоби відбору, вимірювання та автоматичного регулювання:

- 1 – частотні перетворювачі Altivar 312HU22N4 та Micro Drive FC51 (132F0003);
- 2 – термоанемометр AM 831 з виносним датчиком вимірювання швидкості руху та температури повітря;
- 3 – терморегулятор TPM-10;
- 4 – термометр-вологомір з виносним датчиком;
- 5 – ватметри Д 365 та Ц 301;
- 6 – трьохфазний лічильник електроенергії СА4У-И672М;
- 7 – реле часу MZA 94;
- 8 – вологоміра РМ 650;
- 9 – акселерометр LIS3DH;
- 10 – тахометр UNI-T UT 372.

Даний технологічний процес сушіння зернової сировини був розроблений у лабораторії кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника Вінницького національного аграрного університету.

## **2. Мета випробувань.**

Провести виробниче дослідження технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації запропонованої технології.

## **3. Сутність технології сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу**

Одним з можливих шляхів суттєвого удосконалення процесу сушіння зернової сировини є впровадження новітніх технологій, заснованих на

вологості проб насіння, відібраних синхронно з експрес-вимірюваннями, здійснювався в лабораторних умовах, для підтвердження надійності та достовірності результатів. Також в лабораторних умовах, згідно з діючими методиками, було проведено дослідження посівних якостей насіння та стану зараженості спорами грибків та фузаріуму.

Вимірювання температури продукції здійснювалось логометрами з термоелектричними перетворювачами; швидкості руху сушильного агенту – термоанемометром АМ 831; вологості сушильного агенту – термометрами-вологомірами з виносними датчиками; споживаної потужності на привод дебалансного валу та вентилятора – ватметрами Д 365 та Ц 301; амплітудно-частотних характеристик – акселерометром LIS3DH. Витрати енергії фіксувались лічильником електроенергії СА4У-И672М.

Механічні характеристики вібраційного сушильного обладнання і витрати енергії на здійснення процесу замірялись безпосередньо або визначались із відомих залежностей із застосуванням стандартних методик. При визначенні даних характеристик на промислових випробуваннях запропонованої технології та обладнання був проведений порівняльний аналіз процесу зневоднення із застосуванням віброозонуючого комплексу, а також технології конвективного сушіння.

## **5. Результати випробувань.**

1. В результаті досліджень встановлено, що питомі енерговитрати на одиницю готової продукції з вологістю  $W_k=14\%$  становлять: за використання класичної технології з подачею теплоагенту температурою  $50\text{ }^\circ\text{C}$  при тривалості обробки 240хв. –  $100,5\text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{кг}$  або  $16,75\text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{кг}$  на 1% випаруваної вологи ( $361,69\text{ КДж}/\text{кг}$  або  $60,28\text{ КДж}/\text{кг}$  на 1% випаруваної вологи); за використання комплексного теплофізичного впливу при тривалості обробки 155 хв. –  $87,6\text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{кг}$  або  $14,6\text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{кг}$  на 1% випаруваної вологи ( $315,27\text{ КДж}/\text{кг}$  або  $52,54\text{ КДж}/\text{кг}$  на 1% випаруваної вологи).

2. Вважати за доцільне продовження роботи по удосконаленню віброозонуючого комплексу для сушіння зернової сировини.

Комісія:

від ВНАУ

від СТОВ «Надія»

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв імпрофПС.  
Берника

к.т.н., доцент  В.П. Янович

директор

 В.І. Гелета

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв імпрофПС.  
Берника

к.т.н., доцент  О.В. Шуркан

головний інженер

 І.Д. Бондаренко

доцент кафедри обліку та оподаткування в галузях  
еканоміки

к.е.н., доцент  Н.М. Гудзенко

головний бухгалтер

 Н.В. Гелета

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв імпрофПС.  
Берника

 Д.В. Присяжнюк



## Д 7. Оцінка економічної ефективності



### ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

від впровадження у виробництво технології сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу у товаристві з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля»

При оцінці економічної ефективності впровадження у товаристві з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля» технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації даної технології був проведений порівняльний аналіз основних техніко-економічних показників даної технології та технології конвективного сушіння в насипу, яка застосовується у більшості господарств.

З метою забезпечення регламенту проведення ремонтних робіт та технічного обслуговування, а також збільшення пропускної здатності в період масового надходження сировини допільно використання двох зразків обладнання. Результати проведених розрахунків наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Техніко-економічні показники впровадження

№ з/п	Показники	Обладнання	
		Установка для конвективного сушіння зернової сировини в насипу	Вібро-озонуючий комплекс
1	2	3	4
1	Питомі енерговитрати, Дж/кг	$11,1 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^6$
2	Швидкість сушіння, %/год	2,1	7,3

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
3	Оптова ціна нової машини з урахуванням ПДВ, грн	-	$1,25 \cdot 10^5$
4	Відпускна ціна нової машини з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж техніки, грн	-	$1,4 \cdot 10^5$
5	Основна заробітна плата працівників, грн/кг	0,014	$1,7 \cdot 10^{-3}$
6	Відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату чергових і додаткових відпусток, часу на виконання державних і громадських обов'язків, грн	$2,769 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
7	Відрахування на оплату праці працівників, грн/кг	0,017	$2,1 \cdot 10^{-3}$
8	Відрахування на соціальні потреби, грн/кг	$6,287 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$
9	Амортизаційні відрахування на реновацію машини, грн/кг	$2,488 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$
10	Витрати на енергоресурси для приводу машини, грн/кг	0,01	$6,5 \cdot 10^{-4}$
11	Витрати на зберігання машини, грн/кг	$3,846 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$
12	Відрахування на експлуатаційні матеріали, грн/кг	$2,051 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
13	Повна собівартість робіт, грн/кг	0,038	$3,95 \cdot 10^{-3}$
14	Експлуатаційні витрати на машину, грн/кг	0,036	$3,7 \cdot 10^{-3}$
15	Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації машини, грн/кг	0,018	$1,737 \cdot 10^{-3}$
16	Питома металомісткість машини, кг/кг	$1,496 \cdot 10^{-3}$	$8,25 \cdot 10^{-5}$
17	Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах під час	-	$6,71 \cdot 10^4$
18	Термін окупності капіталовкладень на розробку машини, р	-	2,2

Проведена оцінка свідчить про техніко-економічну ефективність та доцільність впровадження розробленої технології сушіння зернової сировини

та віброозонуючого комплексу для реалізації даної технології в процесі післязбиральної обробки.

Комісія:

**від ВНАУ**

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

к.т.н., доцент  В.П. Ялович

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

к.т.н., доцент  О.В. Цуркан

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки

к.е.н., доцент  Н.М. Гудзенко

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

 Д.В. Присяжнюк

**від ТОВ «ПК «Зоря Поділля»**

директор

 О.В. Таранишин

головний інженер

 В.А. Максименко

головний бухгалтер

 Т.М. Івашенко



## Д 8. Оцінка економічної ефективності

<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Ректор Вінницького національного аграрного університету</p> <p>Мазур Віктор Анастасійович</p>  <p>„ 06 ” листопада 2018 р.</p> 	<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Директор фермерського господарства «Столипін»</p> <p>Ніколяк Дмитро Олександрович</p>  <p>„ 08 ” листопада 2018 р.</p> 		
<p><b>ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ</b></p> <p>від впровадження у виробництво технології сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу у фермерському господарстві «Столипін»</p>			
<p>При оцінці економічної ефективності впровадження у фермерському господарстві «Столипін» технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації даної технології був проведений порівняльний аналіз основних техніко-економічних показників даної технології та технології конвективного сушіння в насипу, яка застосовується у більшості господарств.</p> <p>З метою забезпечення регламенту проведення ремонтних робіт та технічного обслуговування, а також збільшення пропускної здатності в період масового надходження сировини доцільно використання двох зразків обладнання. Результати проведених розрахунків наведені у табл. 1.</p>			
Таблиця 1			
Техніко-економічні показники впровадження			
№ з/п	Показники	Обладнання	
		Установка для конвективного сушіння зернової сировини в насипу	Вібро-озонуючий комплекс
1	2	3	4
1	Питомі енергозатрати, Дж/кг	$11,1 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^6$
2	Швидкість сушіння, % год.	2,1	7,3

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
3	Оптова ціна нової машини з урахуванням ПДВ, грн	-	$1,206 \cdot 10^5$
4	Відпускна ціна нової машини з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж техніки, грн	-	$1,35 \cdot 10^5$
5	Основна заробітна плата працівників, грн/кг	0,014	$1,667 \cdot 10^{-3}$
6	Відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату чергових і додаткових відпусток, часу на виконання державних і громадських обов'язків, грн	$2,769 \cdot 10^{-3}$	$3,333 \cdot 10^{-4}$
7	Відрахування на оплату праці працівників, грн/кг	0,017	$2 \cdot 10^{-3}$
8	Відрахування на соціальні потреби, грн/кг	$6,287 \cdot 10^{-3}$	$7,568 \cdot 10^{-4}$
9	Амортизаційні відрахування на реновацію машини, грн/кг	$2,488 \cdot 10^{-3}$	$2,466 \cdot 10^{-4}$
10	Витрати на енергоресурси для приводу машини, грн/кг	0,01	$6,46 \cdot 10^{-4}$
11	Витрати на зберігання машини, грн/кг	$3,846 \cdot 10^{-5}$	$1,389 \cdot 10^{-5}$
12	Відрахування на експлуатаційні матеріали, грн/кг	$2,051 \cdot 10^{-5}$	$3,858 \cdot 10^{-6}$
13	Повна собівартість робіт, грн/кг	0,038	$3,914 \cdot 10^{-3}$
14	Експлуатаційні витрати на машину, грн/кг	0,036	$3,667 \cdot 10^{-3}$
15	Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації машини, грн/кг	0,018	$1,737 \cdot 10^{-3}$
16	Питома металомісткість машини, кг/кг	$1,496 \cdot 10^{-3}$	$8,179 \cdot 10^{-5}$
17	Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах під час	-	$6,669 \cdot 10^4$
18	Термін окупності капіталовкладень на розробку машини, р	-	2,02

Проведена оцінка свідчить про техніко-економічну ефективність та доцільність впровадження розробленої технології сушіння зернової сировини

та віброозонуючого комплексу для реалізації даної технології в процесі післязбиральної обробки.

Комісія:

від ВНАУ

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

к.т.н., доцент  В.П. Янович

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент  О.В. Цуркан

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки

к.е.н., доцент  Н.М. Гудзенко

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

 Д.В. Присяжнюк

від ФГ «Століпін»

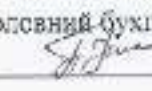
директор

 Д.О. Ніколяк

головний інженер

 В.Д. Панчук

головний бухгалтер

 І.І. Петришина



## Д 9. Оцінка економічної ефективності

<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Ректор Вінницького національного аграрного університету</p> <p>Мазур Віктор Анатолійович</p> <p>„06” листопада 2018 р.</p> 	<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Директор сільськогосподарського товариства з обмеженою відповідальністю «Надія»</p> <p>Гелета Василь Іванович</p> <p>1 листопада 2018 р.</p> 
--	---

### ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

від впровадження у виробництво технології сушіння зернової сировини з використанням віброозонуючого комплексу у сільськогосподарському товаристві з обмеженою відповідальністю «Надія»

При оцінці економічної ефективності впровадження у сільськогосподарському товаристві з обмеженою відповідальністю «Надія» технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації даної технології був проведений порівняльний аналіз основних техніко-економічних показників даної технології та технології конвективного сушіння в насипу, яка застосовується у більшості господарств.

З метою забезпечення регламенту проведення ремонтних робіт та технічного обслуговування, а також збільшення пропускної здатності в період масового надходження сировини доцільно використання двох зразків обладнання. Результати проведених розрахунків наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Техніко-економічні показники впровадження

№ з/п	Показники	Обладнання	
		Установка для конвективного сушіння зернової сировини в насипу	Вібро-озонуючий комплекс
1	2	3	4
1	Питомі енергозатрати, Дж/кг	$11,1 \cdot 10^6$	$4,4 \cdot 10^6$



Продовження таблиці 1

1	2	3	4
2	Швидкість сушіння, % год.	2,1	7,45
3	Оптова ціна нової машини з урахуванням ПДВ, грн	-	$1,15 \cdot 10^5$
4	Відпускна ціна нової машини з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж техніки, грн	-	$1,25 \cdot 10^5$
5	Основна заробітна плата працівників, грн/кг	0,014	$1,5 \cdot 10^{-3}$
6	Відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату чергових і додаткових відпусток, часу на виконання державних і громадських обов'язків, грн	$2,769 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
7	Відрахування на оплату праці працівників, грн/кг	0,017	$1,95 \cdot 10^{-3}$
8	Відрахування на соціальні потреби, грн/кг	$6,287 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
9	Амортизаційні відрахування на реновацію машини, грн/кг	$2,488 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$
10	Витрати на енергоресурси для приводу машини, грн/кг	0,01	$6,25 \cdot 10^{-4}$
11	Витрати на зберігання машини, грн/кг	$3,846 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
12	Відрахування на експлуатаційні матеріали, грн/кг	$2,051 \cdot 10^{-5}$	$3,56 \cdot 10^{-6}$
13	Повна собівартість робіт, грн/кг	0,038	$3,7 \cdot 10^{-3}$
14	Експлуатаційні витрати на машину, грн/кг	0,036	$3,45 \cdot 10^{-3}$
15	Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації машини, грн/кг	0,018	$1,43 \cdot 10^{-3}$
16	Питома металомісткість машини, кг/кг	$1,496 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-5}$
17	Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах під час	-	$6,1 \cdot 10^4$
18	Термін окупності капіталовкладень на розробку машини, р	-	1,9

Проведена оцінка свідчить про техніко-економічну ефективність та доцільність впровадження розробленої технології сушіння зернової сировини

та віброозонуючого комплексу для реалізації даної технології в процесі післязбиральної обробки.

Комісія:

від ВНАУ

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент  В.П. Янович

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент  О.В. Цуркан

доцент кафедри обліку та оподаткування з  
галузях економіки

к.с.н., доцент  Н.М. Гудзенко

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

 Д.В. Присяжнюк

від СТОВ «Надія»

директор

 В.І. Гелета


головний інженер

 І.Д. Бондаренко

головний бухгалтер

 Н.В. Гелета

## Д 10. Акт впровадження науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи

<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Ректор Вінницького національного аграрного університету</p> <p>Мазур Віктор Анатолійович</p>   <p>_____ 2018 р.</p>	<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Директор товариства з обмеженою відповідальністю «ПК «Зоря Поділля»</p> <p>Таранішкін Олександр Віталійович</p>   <p>_____ 2018 р.</p>
<p><b>АКТ</b></p> <p>про впровадження науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи</p>	
<p>Комісія у складі:</p> <p>директора ТОВ «ПК «Зоря Поділля» О.В. Таранішина,</p> <p>головного інженера ТОВ «ПК «Зоря Поділля» В.А. Максименка,</p> <p>головного бухгалтера ТОВ «ПК «Зоря Поділля» Т.М. Іващенко,</p> <p>завідувача кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента В.П. Яновича,</p> <p>доцента кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента О.В. Цуркана,</p> <p>доцента кафедри обліку та оподаткування в галузях економіки, к.е.н., доцента Н.М. Гудзенко,</p> <p>аспіранта кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника Д.В. Присяжнюка</p>	
<p>склала даний акт про впровадження у виробництво технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації запропонованої технології.</p> <p>Віброозонуючий комплекс являє собою закінчену конструкцію, що використовується для сушіння зернової сировини. Запропонована машина вібраційного типу дозволяє реалізувати при сушінні зернового матеріалу дію</p>	



вібраційного поля з одночасною подачею сушильного агента та озону.

Досліджуваний віброозонуючий комплекс забезпечує ефективний процес сушіння зернової, що виключає втрату посівних та харчових якостей.

Процес сушіння зернової сировини проходив з циклічною подачею у коливальну сушильну камеру озону в складі сушильного агенту при поступовому збільшенні його температури з наступним зниженням до температури навколишнього середовища. Даний технологічний процес відбувався доти, доки вологість зернової сировини не набуде значень – 13-14%.

Наявність пружних елементів робочої камери покращує умови роботи опорних вузлів приводного валу, на порядок підвищуючи термін їх експлуатації. Рівень шуму під час роботи машини відповідає нормам СНиП.

До складу вібраційної сушарки входять засоби вимірювання та автоматичного регулювання параметрів процесу сушіння.

Розроблена технологія та обладнання інтенсифікує процес сушіння зернової сировини, зменшує питомі енерговитрати, покращує економічні показники при дотриманні діючих вимог до посівних та харчових якостей висушеного зерна.

Таблиця 1

Техніко-економічні показники віброозонуючого комплексу

Показники	Значення
Питома продуктивність, кг/м <sup>3</sup>	1,1 · 10 <sup>4</sup>
Середньорічне навантаження, год	300
Тривалість сушіння, хв.	165
Технологічна потужність, кВт	3,1
Смкість сушильної камери, м <sup>3</sup>	0,07
Відпускна ціна машини, грн	1,4 · 10 <sup>5</sup>
Експлуатаційні витрати, грн/кг	3,4 · 10 <sup>-3</sup>
Економічний ефект, грн	72150
Термін окупності, років	2,2

<b>від ВНАУ</b>	<b>від ТОВ «ПК «Зоря Поділья»</b>
завідувач кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництва ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцент	 О.В. Таранишин
доцент кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництва ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцент	В.А. Максименко головний інженер
доцент кафедри обліку та оподаткування в галузях економіки к.е.н., доцент	Т.М. Івашенко головний бухгалтер
аспірант кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництва ім. проф. П.С. Берника	
Д.В. Приєжнюк	

## Д 11. Акт впровадження науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи

<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Ректор Вінницького національного аграрного університету</p> <p>Мазур Віктор Анатолійович</p>  <p>„06” листопада 2017 р.</p> 	<p><b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b></p> <p>Директор фермерського господарства «Столипін»</p> <p>Ніколяк Дмитро Олександрович</p>  <p>„06” листопада 2017 р.</p> 
<p><b>АКТ</b></p> <p>про впровадження науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи</p>	
<p>Комісія у складі:</p> <p>директора ФГ «Столипін» Д.О. Ніколяка,</p> <p>головного інженера ФГ «Столипін» В.Д. Панчука,</p> <p>головного бухгалтера ФГ «Столипін» І.І. Петришиної,</p> <p>завідувача кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента В.П. Яновича,</p> <p>доцента кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента О.В. Цуркана,</p> <p>доцента кафедри обліку та оподаткування в галузях економіки, к.е.н., доцента Н.М. Гудзенко,</p> <p>аспіранта кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника Д.В. Присяжнюка</p>	
<p>склала даний акт про впровадження у виробництво технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації запропонованої технології.</p> <p>Віброозонуючий комплекс являє собою закінчену конструкцію, що використовується для сушіння зернової сировини. Запропонована машинна вібраційного типу дозволяє реалізувати при сушінні зернового матеріалу дію</p>	



вібраційного поля з одночасною подачею сушильного агента та озону.

Досліджуваний віброозонуючий комплекс забезпечує ефективний процес сушіння зернової, що виключає втрату посівних та харчових якостей.

Процес сушіння зернової сировини проходив з циклічною подачею у коливаюльну сушильну камеру озону в складі сушильного агенту при поступовому збільшенні його температури з наступним зниженням до температури навколишнього середовища. Даний технологічний процес відбувався доти, доки вологість зернової сировини не набуде значень – 13-14%.

Нааявність пружних елементів робочої камери покращує умови роботи опорних вузлів приводного валу, на порядок підвищуючи термін їх експлуатації. Рівень шуму під час роботи машини відповідає нормам СНиП.

До складу вібраційної сушарки входять засоби вимірювання та автоматичного регулювання параметрів процесу сушіння.

Розроблена технологія та обладнання інтенсифікує процес сушіння зернової сировини, зменшує питомі енерговитрати, покращує економічні показники при дотриманні діючих вимог до посівних та харчових якостей висушеного зерна.

Таблиця 1

Техніко-економічні показники віброозонуючого комплексу

Показники	Значення
Питома продуктивність, кг/м <sup>3</sup>	$1,08 \cdot 10^4$
Середньорічне навантаження, год	300
Тривалість сушіння, хв.	170
Технологічна потужність, кВт	3
Ємкість сушильної камери, м <sup>3</sup>	0,06
Відпускна ціна машини, грн	$1,35 \cdot 10^7$
Експлуатаційні витрати, грн/кг	$3,667 \cdot 10^{-3}$
Економічний ефект, грн	66690
Термін окупності, років	2,02



Комісія:

від ВНАУ

від ФГ «Століпін»

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент

В.П. Янович

директор



Д.О. Ніколяк

доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент

О.В. Цуркан

головний інженер



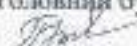
В.Д. Панчук

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки

к.е.н., доцент

Н.М. Гудзенко

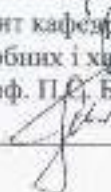
головний бухгалтер



І.І. Петришина

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

Д.В. Присяжнюк



## Д 12. Акт впровадження науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи

<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>	<b>ЗАТВЕРДЖУЮ</b>
Ректор Вінницького національного аграрного університету	Директор сільськогосподарського товариства з обмеженою відповідальністю «Надія»
Мазур Віктор Анатолійович	Гелета Василь Іванович
 _____	 _____
 06 листопада 2018 р.	 06 листопада 2018 р.

**АКТ**  
про впровадження науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи

Комісія у складі:

директора СТОВ «Надія» В.І. Гелети,  
 головного інженера СТОВ «Надія» І.Д. Бондаренка,  
 головного бухгалтера СТОВ «Надія» Н.В. Гелети,  
 завідувача кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента В.П. Яшовича,  
 доцента кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника, к.т.н., доцента О.В. Цуркана,  
 доцента кафедри обліку та оподаткування в галузях економіки, к.е.н., доцента Н.М. Гудзенко,  
 аспіранта кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв ім. проф. П.С. Берника Д.В. Присяжнюка

склала даний акт про впровадження у виробництво технології сушіння зернової сировини та віброозонуючого комплексу для реалізації запропонованої технології.

Віброозонуючий комплекс являє собою закінчену конструкцію, що використовується для сушіння зернової сировини. Запропонована машина вібраційного типу дозволяє реалізувати при сушінні зернового матеріалу дію

вібраційного поля з одночасною подачею сушильного агента та озону.

Досліджуваний віброозонуючий комплекс забезпечує ефективний процес сушіння зернової, що виключає втрату посівних та харчових якостей.

Процес сушіння зернової сировини проходив з циклічною подачею у коливальну сушильну камеру озону в складі сушильного агента при поступовому збільшенні його температури з наступним зниженням до температури навколишнього середовища. Даний технологічний процес відбувався доти, доки вологість зернової сировини не набуде значень – 13-14%.

Наявність пружних елементів робочої камери покращує умови роботи опорних вузлів приводного валу, на порядок підвищуючи термін їх експлуатації. Рівень шуму під час роботи машини відповідає нормам СНиП.

До складу вібраційної сушарки входять засоби вимірювання та автоматичного регулювання параметрів процесу сушіння.

Розроблена технологія та обладнання інтенсифікує процес сушіння зернової сировини, зменшує питомі енерговитрати, покращує економічні показники при дотриманні діючих вимог до посівних та харчових якостей висушеного зерна.

Таблиця 1

## Техніко-економічні показники віброозонуючого комплексу

Показники	Значення
Питома продуктивність, кг/м <sup>3</sup>	$1,25 \cdot 10^4$
Середньорічне навантаження, год	300
Тривалість сушіння, хв.	155
Технологічна потужність, кВт	3
Ємкість сушильної камери, м <sup>3</sup>	0,055
Відпускна ціна машини, грн	$1,25 \cdot 10^5$
Експлуатаційні витрати, грн/кг	$3,45 \cdot 10^{-3}$
Економічний ефект, грн	74520
Термін окупності, років	1,9

## від ВНАУ

завідувач кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент  В.П. Янович

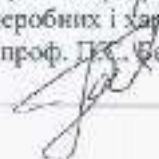
доцент кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника,

к.т.н., доцент  О.В. Цуркан

доцент кафедри обліку та оподаткування в  
галузях економіки

к.е.н., доцент  Н.М. Гудзенко

аспірант кафедри процесів та обладнання  
переробних і харчових виробництв  
ім. проф. П.С. Берника

 Д.В. Присяжнюк

## від СТОВ «Надія»

директор

 В.І. Гелета

головний інженер

 І.Д. Бондаренко

головний бухгалтер

 Н.В. Гелета

**Додаток Е**  
**Договір із «Державним центром сертифікації і експертизи**  
**сільськогосподарської продукції» про надання послуг щодо**  
**випробування обробленої зернової сировини на схожість та енергію**  
**проростання**



## Е. Договір із «Державним центром сертифікації і експертизи сільськогосподарської продукції» про надання послуг щодо випробування обробленої зернової сировини на схожість та енергію проростання

ДОГОВІР № 0315  
про надання послуг

м. Київ

«04» квітня 2019 р.

Державне підприємство «Державний центр сертифікації і експертизи сільськогосподарської продукції», надалі «Виконавець», в особі заступника начальника Вінницької обласної філії Бурячка Анатолія Івановича, що діє на підставі довіреності №231 від 22.12.18 р. та Статуту, з одного боку, та фізична особа надалі «Замовник», в особі Арсенія Івановича Дашера Володимировича, що діє на підставі паспорта СТ № 093025 виданий Шереметівським РВ ЧМВС України у Вінницькій області, з іншого боку, надалі разом «Сторони», уклали цей Договір про наступне.

### 1. Предмет договору

1.1. Замовник доручає, а Виконавець зобов'язується надати послуги з проведення визначення сортових і посівних якостей насіння та сортових і товарних якостей саджаного матеріалу (далі – Послуги), на підставі заявки Замовника, відповідно до Специфікацій, які є невід'ємною частиною цього Договору.

1.2. Замовник зобов'язується прийняти та оплатити послуги на умовах цього Договору.

### 2. Вартість послуг і порядок розрахунку

2.1. За надані послуги, згідно даного договору та рахунку Замовник перераховує Виконавцю вартість послуг.

Крім того, в рахунку зазначається сума податку на додану вартість, визначена чинним законодавством України.

2.2. Розрахунки за здійснення послуг, визначених цим Договором, здійснюється у вигляді 100% попередньої оплати на поточний рахунок Виконавця. Оплата послуг проводиться на підставі рахунку Виконавця протягом 3-х днів з дати складання рахунку.

Датою оплати вартості послуг є дата зарахування коштів на поточний рахунок Виконавця.

2.3. У випадку ненадходження суми оплати послуг (оплати суми не повному обсязі) на рахунок Виконавця оригінали протоколів з дослідження зразків Замовнику не надаються до сплати боргу.

2.4. У разі, якщо Виконавець не може виконати свої зобов'язання за договором з вини Замовника, отримані кошти не повертаються.

2.5. Вартість послуг зазначених у Специфікації до цього Договору до моменту здійснення їх оплати Замовником може змінюватися (індексуватися) у разі:

зміни складових витрат цієї вартості;  
затвердження або зміни у встановленому законодавством України порядку розрахунку вартості сертифікації насіння та формування вартості послуг у сфері насінництва та розсадництва.

У випадках зміни вартості послуг укладається додаткова угода до цього Договору та складається новий рахунок.

2.6. При проведенні випробувань арбітражних проб, випробування проводиться двічі згідно діючих ГОСТ, ДСТУ, Методик на відповідні показники.

2.7. Виконавець є платником податку на додану вартість.

2.8. Загальна сума Договору складається із загальної кількості оплачених рахунків відповідно до Специфікацій.

### 3. Права та обов'язки сторін

3.1. Виконавець має право почати випробування проби з моменту здійснення 100% попередньої оплати вартості послуг, визначених у кожному окремому рахунку Виконавця, за умови своєчасного надання зразків сільськогосподарської продукції.

3.2. Кожна проба (зразок) супроводжується документом, згідно якого можна ідентифікувати пробу (зразок) (актом відбору проб (зразків), заявкою тощо).

3.3. Строк надання послуг за даним договором обумовлюється під час передачі проб з урахуванням передбачених строків виконання випробувань згідно нормативних документів на методи випробувань (ГОСТ, ДСТУ, ...).

3.4. Виконавець має право не повертати зразки Замовнику, якщо методи випробувань передбачають їх руйнування.

3.5. При завершенні випробувань Виконавець надає Замовнику Акт про надання послуг, а також один екземпляр Протоколу випробувань на кожний зразок (пробу) з посиланням на акти відбору проб (зразків) або заявку, завірені підписом і печаткою виконавця.

3.6. Замовник протягом 3-х днів від дня закінчення випробувань та складання акту про надання послуг, зобов'язаний направити Виконавцю другий примірник підписаного акту про надання послуг. Якщо на думку Замовника надані послуги не відповідають встановленим вимогам, то протягом трьох днів після надання Виконавцем акту про надання послуг Замовник повинен подати вмотивовану відповідь про невідповідність послуг встановленим вимогам у формі акта із обов'язковим зазначенням причин невідповідності. У випадку коли в установлений термін Виконавець не одержить підписаний акт про надання послуг або вмотивований акт про невідповідність послуг встановленим вимогам, послуги вважають прийнятими з виконанням усіх умов договору.

3.7. Сторони зобов'язуються дотримуватись конфіденційності щодо інформації, наданої кожною зі Сторін і пов'язаною з виконанням зобов'язань за цим Договором, не розкривати і не розголошувати факти або інформацію, отриману при наданні послуг третій стороні без попередньої письмової згоди Сторін, якщо це не суперечить законодавству України.

#### **4. Відповідальність сторін**

4.1. Відповідальність за ідентичність (відповідність) доставлених на випробування зразків (проб) згідно документації, що їх супроводжують, несе Замовник.

4.2. За несвоєчасне виконання своїх зобов'язань за даним Договором, Виконавець сплачує пеню у розмірі подвійної облікової ставки НБУ від суми вартості послуги за кожний день затримки.

4.3. Сплата штрафних санкцій не звільняє Сторону, яка їх сплатила, від виконання зобов'язань за цим Договором.

4.4. У випадках, не передбачених цим Договором, Сторони несуть відповідальність, передбачену законодавством України.

4.5. У разі виникнення спорів сторони вживають усіх заходів для їх вирішення шляхом переговорів. Якщо згоди не буде досягнуто шляхом переговорів, усі спори, розбіжності і конфлікти, що виникли у зв'язку з виконанням цього Договору, а також у разі його порушення чи розірвання, будуть вирішуватися у порядку визначеному законодавством України.

#### **5. Обставини непереборної сили**

5.1. Сторони звільняються від відповідальності за часткове, або повне невиконання зобов'язань за цим Договором у разі виникнення обставин непереборної сили, які не існували під час укладання Договору та виникли поза волею Сторін (масові заворушення, громадські безпорядки, надзвичайний стан, рішення відповідних органів, пожежа, повінь, землетрус, війни, катастрофа, аварія тощо).

5.2. Сторона, для якої склалися вказані обставини, зобов'язана терміново сповістити іншу Сторону про настання та припинення таких обставин в письмовій формі. Несвоєчасне повідомлення про настання обставин нездоланної сили виключає можливість посилатись на них у майбутньому у разі виникнення спорів.

#### **6. Терміни дії договору**

6.1. Цей договір набуває чинності в день підписання його обома сторонами і діє до 31 грудня 2018 року, але в будь-якому разі до повного виконання сторонами своїх зобов'язань по ньому.

6.2. Якщо протягом строку дії цього договору жодна зі Сторін за 30 календарних днів до дати припинення дії договору не звернулася до іншої Сторони з приводу розірвання Договору, даний Договір вважається продовженим до 31 грудня наступного календарного року.



7.2. **Замовник:** Григоренко Дмитро Володимирович

### 8. Особливі умови

8.1. Після підписання цього Договору всі попередні переговори, листування, попередні договори, протоколи про наміри та будь-які інші усні або письмові домовленості Сторін з питань, що так чи інакше стосуються цього Договору, втрачають юридичну силу.

8.2. Усі зміни та доповнення до Договору, а також його дострокове розірвання за згодою сторін є чинними лише у тому випадку, якщо вони оформлені письмово у вигляді додаткових угод, які підписуються обома Сторонами. Усі додаткові угоди є невід'ємними частинами Договору. Сторони домовилися, що даний договір і всі документи, що складаються до цього Договору і є його невід'ємною частиною в обов'язковому порядку скріплюються печатками Сторін.

8.3. Жодна з Сторін не має права передавати свої права та обов'язки за даним Договором третім особам без письмової згоди іншої Сторони.

8.4. Всі повідомлення, вимоги, заяви та заявки, що надходять від однієї з Сторін на адресу іншої, мають силу лише в випадку, якщо вони зроблені в письмовій формі та підписані вповноваженими на те представниками Сторін. Сторони також визнають належним повідомлення, що було відправлено факсимільним зв'язком або електронною поштою, за умови що друга Сторона підтвердила факт отримання повідомлення.

8.5. Текст цього Договору складено українською мовою в двох дійсних (оригінальних) примірниках, що мають однакову юридичну силу, - по одному примірнику для кожної із Сторін.

8.6. Сторони зобов'язуються повідомляти одна одній про зміни своїх платіжних реквізитів, адресу місцезнаходження, номерів телефонів, статусів платників податків на прибуток у 10-ти денний строк з моменту виникнення відповідних змін.

8.7. Закінчення строку дії Договору, так само, як і його розірвання або припинення через обставини, визначені Договором або чинним законодавством, не звільняє Сторони від відповідальності за невиконання чи неналежне виконання зобов'язань, що виникли в період дії Договору.

8.8. У випадках, що не передбачені даним Договором, Сторони керуються чинним законодавством України.

8.9. Представники Сторін підтверджують, що мають всі необхідні повноваження для здійснення дій щодо підписання Договору.

### 9. Юридичні адреси і банківські реквізити сторін

#### Виконавець:

Державне підприємство «Державний центр сертифікації і експертизи сільськогосподарської продукції»

Адреса місцезнаходження: 03040, М. Київ  
вул. Стельмаха, 6а; тел. (044) 257-89-91,  
тел./факс (044) 257-00-80; р/р 26003052656361  
в ПАТ КБ «ПРИВАТБАНК» м. Київ;  
МФО 320649; код за ЄДРПОУ: 39394238;  
ПІН: 393942326506

#### Замовник:

Фізична особа  
Григоренко Дмитро Володимирович  
Серія та номер паспорта:  
СТ 093025 р.н.: 23.06.1992 б.  
Виданий Швейцарським РВ ПАВС  
України у Вінницькій області  
Ресурсний номер облікової  
картки платника податків:  
3377719339  
моб. тел. 097 077 2917



А.І.Бурячок

Фіз. особа  
М.П. Григоренко Д.В.

**Додаток Ж**  
**Протоколи випробування обробленої зернової сировини на схожість та енергію проростання**

# Ж 1. Протокол випробування обробленої зернової сировини на схожість та енергію проростання

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ДЕРЖАВНИЙ ЦЕНТР СЕРТИФІКАЦІЇ І ЕКСПЕРТИЗИ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ»



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заступник начальника Вінницької обласної філії  
Державного підприємства «Державний центр сертифікації і експертизи сільськогосподарської продукції»

Бурачок А. І.

## ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАННЯ

Випробувальної лабораторії Вінницької обласної філії Державного підприємства  
«Державний центр сертифікації і експертизи сільськогосподарської продукції»

смт Тростянець, вул. Спортивна, 57

назва, адреса ООБ

№ 037585 від 12 квітня 2019 р.

Замовник фіз. особа Присяжнюк Д. В. м. Ладизжин Тростянецький район, Вінницька область  
назва, адреса

Відбирання здійснено фізична особа Присяжнюк Д. В. акт відбору від 04.04.2019 № 1  
Об'єкт випробувань Насіння пшениця озима СНи (масова), сорт Царіпка  
Вироблено  
Рік урожаю 2018  
Протокол польового обстеження від -  
Партія - маса партії 500 (кг)  
Кількість міщ 10  
Відомості про маркування

Нормативні документи на об'єкт випробувань ДСТУ 2240-93  
Дата одержання зразка 04.04.2019 Дата проведення випробувань 04.04.2019 - 12.04.2019

Регістраційний номер зразка (проби) 120 -19

Лабораторія, яка проводила випробування ВЛ Вінницької обласної філії

Фактори навколишнього середовища призначень відповідають вимогам методик виконання випробувань та зафіксовані у відповідних журналах.

### Результати випробувань

Найменування показника, одиниці вимірювання	Значення і допуск показника за Стандартом	Результати випробувань	Нормативний документ та метод випробувань	Розширена невизначеність k=2
Зовнішній вигляд (відхилення від норми): колір запах		нормальний нормальний	ДСТУ 4138-2002	--
Схожість, % (НП; 20°C; 4-8 дн.) нормально пророслого насіння (енергія проростання), % аномальних проростків, % твердого насіння, % у тому числі: життєздатного, % згітлого, %	87	96 92 2 2	ДСТУ 4138-2002	--

Висновок: схожість насіння відповідає вимогам ДСТУ 2240-93

Відповідальні виконавці: Технік-лаборант  \_\_\_\_\_ Гарник Г. П.

Відповідальний за складання та видачу протоколу:  \_\_\_\_\_ Гарник Г. П.

Примітка:

1. Протокол випробувань продукції стосується тільки зразків, які представлені на випробування.
  2. Перелік обладнання, на якому проводились випробування, при необхідності, може бути представленим.
  3. Інформація про об'єкт випробувань вказана згідно акту відбору зразків
  3. Протокол випробувань може бути повністю або частково скопійовано лише за письмового дозволу ДП «Державний центр сертифікації і експертизи сільськогосподарської продукції».
  4. Зазначені невизначеності вимірювань – це фактичні значення, виражені в одиницях вимірюваної величини, отримані шляхом множення стандартних невизначеностей на фактор покриття  $k=2$ , що передбачає нормальний розподіл невизначеності і приблизно відповідає 95% ймовірності покриття.
  5. \*- Випробування проводили за методиками, які не входять в сферу акредитації НААУ.
- Кінець Протоколу випробувань.



## Ж 2. Протокол випробування обробленої зернової сировини на схожість та енергію проростання

### НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ ІНСТИТУТ КОРМІВ ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПОДІЛЛЯ НААН

ЛАБОРАТОРІЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ КОРМІВ І СИРОВИНИ  
СВИДОЦТВО ПРО АТЕСТАЦІЮ № ПУ-0068/17 НА ПІДТВЕРДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИМІРЮВАНЬ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ВИМОГ ДСТУ ISO 10012:2005 «СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВИМІРЮВАННЯМ. ВИМОГИ ДО ПРОЦЕСІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ»  
видане 31 липня 2017 року чинне до 28 липня 2020 року

Адреса: 21100, м. Вінниця  
пр. Юності, 16  
тел./факс 46-41-16  
тел. лабор. 43-81-94  
ел.пошта: [zoolab@ukr.net](mailto:zoolab@ukr.net)  
<http://www.fri.vin.ua>



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інституту  
кормів та сільського  
господарства Поділля НААН

*О.В. Дорнійчук*  
18 вересня 2018 р.

### ПРОТОКОЛ № 276 ВИЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ НАСІННЯ

Заявник: ФО Цуркан Олег Васильович

Об'єкт випробувань: зразок насіння

Культура - ОЗИМА ПШЕНИЦЯ Сорт - ЦАРІВНА

Мета випробувань: визначення якісних показників насіння

Дата надходження зразка до випробувальної лабораторії: 10.09.2018 р.  
реєстр. № 3429

Дата проведення визначень: 10-18.09.2018 р.

Результати визначень:

#### Показники якості насіння

Вологість, %	Вміст насіння основної культури, %	Вміст насіння інших видів, шт/кг		Енергія проростання, %	Схожість, %	Маса 1000 насіння, г	Зараженість, %
		насіння культурних рослин	насіння бур'янів				
1	2	3	4	5	6	7	8
10,69	99,90	0	0	97,00	98,00	45,70	Не виявлено

Завідувач відділу оцінки якості, безпеки кормів і сировини, кандидат с.-г. наук

Л.П. Чорнолата