

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР  
«ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА»**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Кюрчев Сергій Володимирович**

**УДК [631.362+631.56]:633.1/.8**

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ  
ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ  
ЗЕРНОВИХ І ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва  
13–механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня **доктора технічних наук**  
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ С.В. Кюрчев

Науковий консультант – **Паламарчук Ігор Павлович**  
доктор технічних, професор

Глеваха – 2019

## АНОТАЦІЯ

**Кюрчев С. В. Механіко-технологічне обґрунтування після-збиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України, Глеваха, 2019.

Дисертація присвячена вирішенню народногосподарської проблеми недостатньої техніко-технологічної ефективності структури та засобів механізації системи зберігання насіння зернових і олійних культур, що вирішується за рахунок використання іноваційних тепломасообмінних технологій та обладнання при інтенсифікації даних процесів через застосування вібраційних, хвильових, імпульсних та комбінованих фізико-механічних чинників, які забезпечують мінімізацію енерго- та матеріаловитрат при максимальному збереженні вихідних властивостей насіння сільськогосподарських культур.

Концептуальна ідея роботи полягає у пошуку можливостей підвищення площин поверхонь тепломасообміну при контакті насіння зернових та олійних культур з енергоносієм у процесах їх зберігання за рахунок неперервної зміни точок рівноваги часток сировини, швидкісного оновлення контактних поверхонь, варіювання інтервалів температур та вологовмісту у шарах технологічних середовищ за дії низькочастотних коливань, інфрачервоного опромінення, вібровідцентрових, віброхвильових, імпульсних, гравітаційних та аспіраційних силових факторів, які функціонують окремо або комплексно, забезпечуючи реалізацію поставлених вдосконалених технологічних задач.

На ефективність процесу зберігання впливають технологічні, технічні та економічні важелі. За даними міжнародних організацій з продовольства і сільського господарства, втрати зерна і зернопродуктів при зберіганні через

технічні та організаційні причини щорічно становлять 10...15 %, а такі біологічні чинники, як саморозігрівання продукції з подальшим її ураженням внаслідок перебігу небажаних мікробіологічних процесів, можуть збільшити втрати у десятки разів. При цьому вже після 5 діб неналежного зберігання різко зростають втрати сухих речовин, збільшується кислотне число жиру, знижується на 10 ... 15 % схожість насіння. Відсутність необхідної технічної бази систем зберігання та, як наслідок, пріоритетності багатьох цінних зернових продуктів для ринкової сфери на переробних і харчових підприємствах призводить до невиправданих втрат продукції, додаткових інвестицій та, в кінцевому рахунку - до зниження продовольчої безпеки країни. Відсутність системного підходу до зберігання насіння, особливо за очікування більш сприятливого ціноутворення, призводить до нераціонального формування партій сировини, зниження її якості та, як наслідок, збільшення втрат при зберіганні. Сучасні технології консервації насіння, що базуються на тепломасообмінних процесах як методом охолодження, так і нагрівання у значній мірі знижують ці втрати, обґрунтовуючи доцільність та актуальність наукового пошуку за даними напрямками. Серед основних з таких напрямків у дисертаційній роботі відзначаються проектування системи зберігання насіння зернових і олійних культур; розроблення специфічних технологій консервації даної сировини та засобів механізації для їх реалізації при використанні вібраційних, хвильових, імпульсних та комбінованих фізико-механічних інтенсифікаторів досліджуваних процесів; організація даного виробництва у поточному режимі при застосуванні розроблених схем віброконвеєрного обладнання.

При формуванні основних принципів створення системи зберігання досліджуваних культур виходили із забезпечення трьох основних схем функціонування її елементів: раціональний взаємозв'язок між базовими характеристиками системи; застосування ефективних схем зберігання; забезпечення екологічної безпеки системи.

Серед конструктивних аспектів ефективного функціонування проектованої системи зберігання насіння зернових і олійних культур були враховані: раціональне співвідношення продуктивності, прямих експлуатаційних витрат та нормативних якостей продукції; раціональне поєднання технологічних і транспортних рухів; мінімізація витрат при експлуатації техніки; комплексна механізація та автоматизація устаткування; максимальна надійність елементів конструкцій; компактність обладнання або мінімізація площі, що займає устаткування; багатовимірність технологічної дії; реалізація декількох технологічних рухів при обробці продукції; раціональне поєднання простоти конструкції та технологічної ефективності; простота та ефективність керування режимами обробки насіння зернових і олійних культур.

При розробленні та проектуванні машин і засобів механізації для післязбиральної обробки та зберігання був проведений аналіз тенденцій розвитку виробництва насіння зернових і олійних культур в Україні, та у передових країнах з розвиненою сільськогосподарською інфраструктурою, що дозволив виявити пріоритетні напрямки технологій та засобів механізації для максимального збереження властивостей насіннєвого матеріалу.

Умовами довготривалого зберігання зернових є синтез методів активного вентилявання конвективними потоками холодної, зворушення сипкої маси та використання теплового сушіння при обробці. Вибір засобів механізації при реалізації досліджуваних технологій сушіння базується на представлених вище принципах формування теплоенергетичної системи зберігання рослинної сировини. Розроблені схеми зерносховищ дають можливість реалізувати комплексну технологічну обробку продукції за рахунок ефективного розподілу охолодженого потоку повітря, що проходить крізь сировину, регулюючи його газовий склад у міжзернових проміжках, вологість, температуру та інтенсивність фізіологічно-мікробіологічних процесів у даних шарах.

Поєднання віброхвильових ефектів з інтенсивним процесом сушіння олійних культур опромінюванням дозволяє вологу із насіння видаляти без проміжного нагрівання газоподібного середовища; нівелювати такі негативні чинники, як високі термічні навантаження на поверхневі шари та, взагалі, на термолабільні структури; забезпечити нерівномірний розподіл теплоти у масі сировини, що відкриває широкі перспективи ефективної обробки насінневого матеріалу, можливості достатньо простої реалізації конвеєрних схем, забезпечуючи поточний режим обробки та зменшуючи класичне протиріччя між транспортним та технологічним рухом у технічних системах. Поряд із хвильовою стрічкою, в основу дії якої покладений ефект тиску хвиль, представляє інтерес хвильовий рушій, що переміщується за рахунок спрямованого наведення хвиль. Для реалізації цього руху за складними траєкторіями у кожному з опорних котків умонтовані механічні віброзбуджувачі, що становить рушій, який реалізує та поєднує у собі одночасно два типи когерентних джерел коливань, суперпозиція яких дозволяє здійснити необхідний технологічний рух.

Подібний принцип застосовували при реалізації імпульсного пневмодинамічного зворушення зернових мас при зберіганні. Суперпозиція хвиль від опозитно розташованих пневмоімпульсних генераторів дозволила отримати стоячу хвилю, яка ефективно здійснює передачу кінетичної енергії як у повздовжньому, так і в поперечному напрямках.

При обробці насіння олійних культур комплексною проблемою разом із сушінням є також підвищення ефективності сепарації при сортуванні, що пропонується здійснювати за використання гравітаційних, аеродинамічних та вібраційних чинників. При обробці продукції у потоці повітря за рахунок використання для розділення нижньої зони кільцевого каналу, а також автоколивального руху центральної труби розподільника значно поліпшуються умови та якість розділення, зокрема для насіння соняшнику. Збільшення швидкості під дією відцентрових сил та коріолісового прискорення за автоколивального руху у процесі розділення насіння

дозволяють підвищити величину зміни траєкторій на 25 - 30 %, і тим самим, покращити якість поділу насіння на 10...15 %.

На основі аналізу закономірностей зміни властивостей зернової маси при зберіганні у сховищах, зокрема шпаруватості, вологості та щільності було розроблено фізичну модель взаємодії зернової маси з холодоагентом у процесі її активного вентилявання, що дозволило дати аналітичну оцінку її зовнішнього та внутрішнього вологообміну в залежності від технологічних параметрів обробки. Отримана поліноміальна залежність дозволяє визначити коефіцієнт теплопровідності або шпаруватості без розрахунків поточних точок та адекватно ідентифікувати процес моделювання.

Найбільш сприятливим терміном зберігання зернової сировини є 24 тижні. Показник клейковини при цьому складе 28,1 % за температури не більше 9,0 °С, показник індексу деформації клейковини – 65 % за температури 9,5 °С, а показник вологості - 12,11 % при температурі 9,54 °С, тобто інтервал температур, при яких зберігаються найкращі показники якості, складе 9,0 ... 9,5 °С.

Розроблені математичні моделі процесів руху насіння у центральному розподільнику та на виході з кільцевого каналу дозволили встановити раціональні параметри поділу насіння в каналі: швидкість частки – 0,5...0,7 м/с при швидкості повітряного потоку 5,5...6,5 м/с. Створення автоколивального режиму руху центральної частини розподільника потребує незначних конструкційних модернізацій та витрат потужності. Виконання нижньої частини розподільника у вигляді внутрішньої поверхні тору радіусом твірного кола 0,045 м забезпечує продуктивність розробленого віброаспіраційного сепаратора 120 кг/год.

Результати експериментальних досліджень процесу інфрачервоного сушіння насіння олійних культур виявили, що при збільшенні швидкості конвеєрної стрічки з 0,0015 до 0,0285 м/с інтенсивність зміни вологості за фіксований термін обробки зменшується у 3 рази ; при збільшенні у 5 разів потужності опромінення інтенсивність зміни вологості збільшується у 8 разів. Раціональні значення швидкості транспортування продукції

знаходяться у межах від 0,15 до 0,40 см/с, а потужності ІЧ випромінювачів – 300 – 800 Вт. Питоме завантаження стрічки більше 3,5 кг/м<sup>2</sup> використовувати недоцільно через труднощі забезпечення ефективної пошарової обробки сипкої маси інфрачервоними променями, особливо при достатньо великих швидкостях руху стрічки. Також є доцільним здійснювати обробку з трьома послідовно розташованими інфрачервоними випромінювачами для збільшення продуктивності вологовидалення та зменшення оптимальної потужності випромінювачів з 800 до 300 Вт.

За даними експериментальних досліджень, при використанні методу «аналізу розмірностей» та теореми Федермана-Букінгема було отримано критеріальне рівняння процесу масообміну при інфрачервоному сушінні у псевдозрідженому шарі продукції, що визначається критеріями Пекле, Стантона, Бурдо, функцією, яка характеризує енергетичні, тепломасообмінні параметри, продуктивність досліджуваного процесу; що дозволяє сформулювати рекомендований ряд при проектуванні хвильових інфрачервоних сушарок для систем зберігання насіннєвого матеріалу.

На основі аналізу динаміки руху виконавчих органів сушарки, при використанні методу Лагранжа були отримані траєкторії руху вантажонесучого механізму віброхвильової технічної системи для транспортування сипкої продукції вздовж зони обробки, що дозволило обґрунтувати основні режими роботи приводного механізму за умовами віброзахисту машини та стабілізації амплітуди робочих вібрацій у зарезонансному режимі, у межах інтервалу кутових швидкостей приводного ексцентрикового валу вібробуджувача 50 ...80 рад/с.

Для даного режиму роботи конвеєрної машини схема з комбінованим кінематичним вібробудженням дозволяє знизити енерговитрати через зменшення коливних мас майже у 3 рази порівняно з силовим або дебалансним приводом.

Реалізація нової конструкції віброаспіраційного сепаратора з науково обґрунтованими конструкційно-режимними параметрами дозволила підвищити вихід необхідного за якісними характеристиками насіння на 30 –

35 % та зменшити вміст небажаних фракцій на 30 %, що забезпечує підвищення врожайності соняшнику на 4,5 ц/га.

Технічна документація на розроблені процеси та обладнання були передані для виготовлення експериментальних зразків машин на підприємства: ПрАТ «ХМЗ» (Хорольський механічний завод), ПАТ «Карлівський машинобудівний завод», ПАТ "ГІДРОСИЛА МЗТГ" м. Мелітополь Запорізької області, ТОВ "Гідросила - Тетіс " м. Мелітополь Запорізької області, ТОВ "Мелітопольський завод турбокомпресорів" м. Мелітополь Запорізької області. Представлені у дисертації розробки пройшли успішну апробацію в умовах ТОВ "МПП–Агро" м. Мелітополь Запорізької області, СФГ «ВІТА» Якимівського району Запорізької області, ТОВ «Агрофірма Ольвія» Приазовського району Запорізької області, ТОВ «СПП ЛАНА» Михайлівського району Запорізької області.

Комплексна техніко-економічна оцінка розробленої технології та обладнання стосовно віброаспіраційного сепаратора дозволила отримати річний економічний ефект за рахунок збільшення врожайності соняшнику у 4050 грн/га, віброхвильового інфрачервоного сушіння - 197519 грн, а проектного устаткування в зерносховищі з активним вентиляванням та барботуванням сипкої продукції із застосуванням конвективного потоку холодоносія - 317600 грн за рік.

*Ключові слова:* зберігання, інфрачервоне сушіння, активне вентилявання, віброаспіраційний сепаратор, хвильовий конвеєр, холодоносії, зерносховище, насіння, імпульсний пневмодинамічний барботер.

## ANNOTATION

**Kiurchev S. Mechanical and technological substantiation of post-harvest processing and storage of seeds of grain and oilseeds.**

A dissertation for obtaining the scientific degree of doctor of technical sciences in speciality 05.05.11 – machines and facilities for mechanization of agricultural production. – National scientific center ‘IAEE’ NAAS Ukraine, Glevakha, 2019.

The thesis deals with the solution of the national economic problem of insufficient technical and technological efficiency of the structure and means for mechanization of a grains and oilseeds storage system. The problem was solved through the application of innovative heat and mass exchange technologies and equipment, while intensifying the processes by means of vibration, wave, pulsed physical and mechanical factors, which ensured the minimization of power and material consumption at the maximum retention of original properties of agricultural raw materials.

The conceptual hypothesis of the work was in the increase of the surface areas of heat-and-mass exchange during the contact of agricultural products with power supply during the storage processes due to continuous change of equilibrium points of raw material particles, quick update of contact surfaces, the variation of temperature intervals and moisture content in layers of technological environment under the influence of low frequency oscillations, infrared irradiation, vibration, wave, pulsed, gravitational and aspiration force factors that function individually or in a complex, ensuring the implementation of the technological effects presented above.

The efficiency of the storage process is influenced by technological, technical and economic levers. According to the international food and agriculture organizations, losses of grain and grain products during storage due to technical and organizational reasons make up 10...15 per cent annually and such biological factors as self-heating of products with its further affection because of unwanted microbiological processes can increase potential losses by dozens of times. In this case, after 5 days of improper storage, the loss of solids is sharply increased, the acid value of fat is increased as well, and the seed germination is reduced by 10...15%. The absence of the necessary technical basis of storage systems and as a result the lack of priority for many valuable grain products in the market sector for processing and food businesses leads to the unjustified production loss, additional investments and, ultimately, the decrease in food security of the country. The lack of the systematic approach to the storage of crop products, especially in anticipation of more favorable pricing, leads to the irrational formation of raw

materials batches, decrease in their quality and, consequently, increase in its storage loss. Modern technologies of seeds preservation are based on heat and mass exchange processes. Both by cooling and heating, they largely reduce these losses, substantiating the expediency and relevance of scientific research in these areas. Among the main areas certain aspects are outlined in the thesis: the design of a system for grains and oilseeds storage; development of specific conservation technologies for raw materials as well as mechanization means for their implementation with the use of vibration, wave, pulsed and combined physical and mechanical intensifiers of the investigated processes; production organization in an actual mode when applying the diagrams of vibration conveyor equipment.

When forming the basic principles of development of a heat-and-power storage system for studied crop production, we presume the provision of three main diagrams for the functioning of its elements: the rational interconnection between the basic characteristics of the system; the application of efficient storage diagrams; the provision of ecological system safety.

Among the constructive aspects of the effective functioning of the designed heat-and-power storage system of crop production in the studied region particular aspects have been taken into account: the rational correspondence of productivity, direct operating costs and product quality standards; the rational combination of technological and transport movements; the minimization of expenses during machinery operation; the complex mechanization and equipment automation; the maximum reliability of structural elements; the compactness of the equipment or the minimization of the area occupied by the equipment; the multidimensional technological action; the implementation of several technological movements in the product processing; the rational combination of design simplicity and technological efficiency; the simplicity and efficiency of managing product processing modes.

When developing and designing the technological equipment for the storage, we proceeded from the provision of three main diagrams of its elements functioning: rational interconnection between the basic characteristics of the system; application of effective storage diagrams; providing of ecological safety of

the system. Among the design aspects of the effective functioning of the proposed storage system for grains and oilseeds, we took into account: a ratio of productivity, direct operating costs and regulatory qualities of products; rational combination of technological and transport movements; minimization of expenses at operation of equipment; complex mechanization and equipment automation; maximum reliability of structural elements; compactness of the equipment or minimization of the area occupied by the equipment; multidimensionality of a technological action; implementation of several technological movements in the processing of products; rational combination of ease of design and technological efficiency; simplicity and efficiency of management of grain processing and oilseeds regimes.

For the development and design of machines and means of mechanization for post-harvest processing and storage, we performed the analysis of the grain and oil crop production tendency in Ukraine as well as in advanced countries with developed agricultural infrastructures. It allowed to identify the priority in technologies and machinery supply for the preservation of seed material properties.

The conditions for the long-term storage of cereals are the synthesis of active ventilation by the convective stream of the coolant, turning of loose mass and use of heat drying during processing. The choice of mechanization means during the implementation of the drying technology is based on the developed principles mentioned above for the formation of the heat-and-power storage system of grain crops. The developed diagrams of granaries give an opportunity to realize the complex technological processing of products at the expense of efficient distribution of the cooled air flow passing through the raw materials, regulating its gas composition in intergranular spaces, humidity, temperature and intensity of physiological and microbiological processes in these layers.

The combination of vibration effects with intensive drying processes for oil-bearing crops allows the removal of moisture from seeds without intermediate heating of the gas-like environment, allows the leveling of such negative factors as high thermal loads on the surface layers and, in general, on thermolabile structures, as well as providing uneven heat distribution in the mass of raw materials. That

opens wide prospects of efficient seed material processing, the possibility of simple implementation of conveyor schemes, providing the actual processing mode and reducing the classical contradiction between transport and technological movement in technical systems. Along with the wave belt, the basis of which is the effect of the wave pressure, the wave propulsion motion, which moves due to the directional wave movement, is of great interest. For realization of this movement on complex trajectories mechanical are mounted in each of the support rollers. The vibrators are used as a mover, which implements and combines simultaneously two types of coherent sources of oscillations. Their superposition allows the necessary technological movement to be carried out.

A similar principle was used in the implementation of impulse pneumodynamic movement of grains during storage. The superposition of the waves from opposite pneumatic-pulse generators allowed to obtain a standing wave that effectively transmits kinetic energy both in longitudinal and transverse directions.

When treating oilseeds, drying is a complex problem and either the increase of separation efficiency during sorting, which is proposed to be used with the application of gravity, aerodynamic and vibration factors. The conditions and quality of separation, in particular, for sunflower seeds, are significantly improved when processing products in the air stream due to the use of a ring channel for the separation of the lower zone, as well as the self-oscillating motion of the central distributor tube. The increase of the air velocity in the direction of its movement and the centrifugal forces of the separation process of seeds allow increasing the amount of trajectory changes by 25...30 per cent, and, thus, improving the quality of seed separation by 10...15 per cent.

On the basis of the analysis of the relationships of grain mass influence on the investigated technological system elements, in particular, on the porosity, humidity and density, a physical model of interaction of grain mass with the coolant in the process of its active ventilation has been developed, which allows to give an analytical estimation of its external and internal moisture exchange, depending on technological parameters processing. The obtained polynomial

dependence allows to determine the thermal conductivity coefficient or sparpntness without calculating current points. The obtained polynomial dependence allows to define thermal conductivity or porosity without current points calculation and identify the modeling process adequately.

The most favourable period is 24 weeks. At a temperature of not more than 9.0°C, gluten content will make up 28.1%; the gluten deformation index is 65% at a temperature of 9.5°C. Humidity is of 12.11% at a temperature of 9.54°C, so the temperature range, which provides the best quality indicators, is 9.0 ... 9.5 ° C.

The developed mathematical models of the seed movement processes in the central distributor and in the exit from the annular channel allowed to establish rational parameters for seed separation in the channel: the particle velocity is 0.5 ... 0.7 m/s at the air flow velocity of 5.5...6.5 m/s. The creation of a self-oscillating motion mode of the central distributor part requires insignificant structural modernization and power. The execution of the lower distributor part in the form of an inner torus surface with a radius of a generating circle of 0.045 m ensures the productivity of the developed vibration aspiration separator of 120 kg/h.

The experimental analysis of the thermoradiation drying process of oil-bearing products showed that with increasing the conveyor belt speed from 0.0015 m/s to 0.0285 m/s, the change in humidity for a fixed processing period decreased 3 times; with the increase the intensity of radiation 5 times, the intensity of change in humidity increased 8 times. The most optimal values of the transportation speed of products are in the range from 0.15 cm/s to 0.40 cm/s, and the capacity of infrared emitters is 300...800 W. The specific load of the belt of more than 3.5 kg/m<sup>2</sup> is inappropriate because of the difficulty of providing effective layer processing of bulk grain mass with infrared rays, especially at high speeds of the belt. It is also advisable to process three consecutive infrared emitters to increase the effectiveness of moisture removal and reduce the optimum power of emitters from 800 to 300 watts.

According to the experimental data, when using the 'dimensional analysis' method and the Fedman-Buckingham theorem, a criterion equation has been

obtained for the mass transfer process during the infrared drying in a fluidized-bed product layer, which was determined by the criteria of Pekle, Stanton, Burdo, the function that characterizes power, heat-and-mass exchange parameters, the productivity of the investigated process. That allowed us to form recommended series of the designs for wave infrared dryers in storage systems for loose agricultural products.

On the basis of the analysis the actuating device motion dynamics of a dryer, using the Lagrange method, we defined movement trajectories of the loading device of the vibration and wave technical system for loose products transportation along the processing zone. That allowed to substantiate the basic modes of the drive mechanism operation under the conditions of the machine vibration protection and stabilization of the operation vibration amplitude in the regression mode, in the frequency range for the actuator eccentric shaft vibrator of 50...80 rad/s.

For this operation mode of the conveyor machine, the diagram with combined kinematic vibration excitation allows decreasing energy costs by reducing the volatile masses almost 3 times less compared to a power or unbalanced drive.

The implementation of the new design of the vibration aspirator separator with scientifically substantiated structural and mode parameters allowed to increase the output of the required quality seed characteristics by 30-35% and reducing the content of undesirable fractions by 30%. That increases the yield of sunflower by 4,5 c/ha.

Technical documentation for the developed processes and equipment were provided to some companies for the production of experimental models of machines: PJSC KhMZ (Khorol Mechanical Plant), PJSC Karlivskyi Machine-Building Plant, PJSC HYDROSILA MZTG in Melitopol, Zaporizhia region, Hydrosila-Tetis Ltd in Melitopol, Zaporizhia region, Melitopol Plant of Turbocompressors LLC, Zaporizhia region. The designs and developments, presented in the dissertation, were successfully tested under the conditions of LLC MPI-Agro in Melitopol, Zaporizhia region, VITA Farming company, Yakymivskyi

district, Zaporizhzhia region, Agrofirma Olvia Ltd, Pryazovskyi district, Zaporizhzhia region, SPN LANA Ltd, Mykhailivskyi district, Zaporizhzhia region.

Comprehensive technical and economic evaluation of the developed technology and equipment in relation to the vibration aspiration separator allowed to obtain an annual economic effect by increasing the yield of sunflower of 4050 UAH. Vibrating and wave infrared drying could give the annual economic effect of 197519 UAH. Application of the designed equipment with active ventilation and barbotage in a granary for loose products with the use of convection flow of refrigerant enabled the annual economic effect of 317600 UAH.

**Key words:** *storage, infrared drying, active ventilation, vibration and aspiration separator, wave conveyor, coolant, granary, grain products, pulsed pneumodynamic barboter.*

## СПИСОК

### ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

#### Публікації у фахових виданнях

1. Богданов Є. В., Кюрчев С. В. Теоретичне дослідження явища резонансу дебалансного вібраційного дозатора сипких матеріалів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10. Т. 6. С. 65 - 69. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку дебалансних вібробуджувачів.**

2. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруемого матеріалу. *Збірник наукових праць. Серія: Технічні науки / Вінницький національний аграрний університет*. Вінниця: ВНАУ, 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 322 - 327. **Внесок здобувача: розробка технології процесу післязбиральної обробки сільськогосподарських культур.**

3. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Методика дослідження раціонального діаметра патрубків постачання насіння в середині вертикального аспіраційного каналу. *Праці Таврійського державного агротехнологічного*

університету : зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т. 3. С. 146 - 150. **Внесок здобувача: обґрунтування технологічно-конструктивної схеми гравітаційно-аспіраційного сепаратора.**

4. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць.* Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т. 6. С. 204 - 212. **Внесок здобувача: кінематичний аналіз гравітаційно-аспіраційної системи розділення на фракції зернової сировини.**

5. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження раціональних розмірів вертикального аспіраційного каналу сепаратора насіння сільськогосподарських культур. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Серія: технічні науки.* Харків: ХНТУСГ, 2014. Вип. 148. С. 56 - 63. **Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень геометричних параметрів аспіраційних сепараторів.**

6. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Особенности хранения зерновых запасов. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць.* Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 3. С. 189 - 194. **Внесок здобувача: розробка технології післязбиральної обробки та зберігання зернової продукції.**

7. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Багатокритеріальний аналіз існуючих сепараторів насіння із різним робочим знаряддям. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Серія: технічні науки / ХНУТСГ ім. П. Василенка.* Харків, 2015. Вип. 156. Т. 1. С. 86 - 92. **Внесок здобувача: розробка методики багатокритеріального аналізу конструктивних схем обладнання для аспіраційної сепарації насіння зернових культур.**

8. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Визначення параметрів оптимізації процесу охолодження зерна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка /*

ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків, 2015. Вип. 163. С. 228 - 239. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку статистичних характеристик процесу охолодження зернових мас.**

9. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Конструктивные особенности установки для сушки и охлаждения зерна активным вентилярованием. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 5. Т. 1. С. 108 - 113. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>. **Внесок здобувача: розробка технології конвективного охолодження зернової продукції потоком холодоносія.**

10. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Стручаєв М. І., Верхованцева В. О. Дослідження процесу теплообміну при охолодженні шару зерна пшениці. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 166. С. 50 - 56. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесів тепломасообміну при охолодженні зернових мас потоком холодоносія.**

11. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження форми і параметрів живильно-розподільчого пристрою пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. *Інженерія природокористування*. 2016. №2(6). С. 52 - 57. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку параметрів процесу транспортування насіння олійних культур у каналі аспіраційного сепаратора.**

12. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати впровадження пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 211 - 217. **Внесок здобувача: отримані результати виробничої апробації гравітаційно-аспіраційного сепаратора насіння соняшника.**

13. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження впливу коефіцієнта теплопровідності на вологість зернового матеріалу.

*Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Харків, 2016. Вип. 179. С. 26 - 31. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу критеріїв подібності теплообмінних процесів.***

14. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження ентальпії у процесі зберігання зернової маси із застосуванням охолодження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 1. С. 62 - 67. **Внесок здобувача: розробка методики графоаналітичного аналізу теплообмінних та енергетичних характеристик процесу охолодження сипких мас.***

15. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Розробка рекомендації по храненню пшениці в зернохранилище. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 166 - 173. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень процесів зберігання пшениці у зерносховищах.***

16. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Визначення важливого фактора якості пшениці у процесі зберігання із застосуванням охолодження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 1. С. 20 - 28. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень якісних параметрів при зберіганні пшениці в умовах активного вентилявання потоком холодоносія.***

17. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Обґрунтування параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції з віброхвильовим конвеєром. *Наукові праці: наук. збірник / Одеська національна академія харчових технологій. Одеса, 2018. Вип. 82. Т. 1. С. 122 - 127. URL: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/swonaft/article/view/1024>. **Внесок здобувача: проведено аналіз теплообмінних параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції.***

18. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О., Колодій О. С. Математичне моделювання віброаспіраційного сепарування насіннєвого матеріалу. Вісник ЛНАУ: агроінженерні дослідження № 22, 2018. С. 172 - 176. **Внесок здобувача: розробка коливальної системи у віброхвильовому транспортуванні насіннєвого матеріалу.**

19. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Обґрунтування конструкції та принципу роботи віброаспіраційного сепаратора. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 99 - 108. **Внесок здобувача: розробка конструкції та принципу роботи віброаспіраційного сепаратора.**

20. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Дослідження динаміки руху насінинни при виході з живильного конуса віброаспіраційного сепаратора. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8. Т. 2., DOI:10.31388/2220-8674-2018-2-20. **Внесок здобувача: отримані результати дослідження у віброаспіраційному сепараторі.**

#### Публікації у закордонних виданнях

21. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Методики дослідження раціонального діаметра патрубків постачання насіння всередині вертикального аспіраційного каналу та раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013. Vol. 15. № 2. P. 284 - 293. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку геометричних параметрів аспіраційних сепараторів.**

22. Кюрчев С. В., Колодій А. С. Математическое описание поведения зерновок подсолнечника в воздушном потоке разделительных установок. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. № 9. P. 13 - 19. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесу аспіраційного розділення сипких мас.**

23. Кюрчев С. В., Колодій А. С. Результаты исследования

разработанного сепаратора семян с вертикальным аспирационным каналом. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2014. Vol. 16. № 2. P. 322 - 329. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень геометричних параметрів аспіраційних сепараторів для обробки насіння сільськогосподарських культур.**

24. Kiurchev S., Vercholantseva V. Linear and nonlinear relationship of wheat storage characteristics. *Canadian Scientific Journal*. ISSUE 1. 2015. VOL. 2. pp. 10 - 15. **Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень процесів зберігання зернової продукції у сховищах за її активної обробки охолодженням потоком повітря.**

25. Кюрчев С. В. Конструктивні особливості зерносховища із застосуванням охолодження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ: НУБІП, 2018. Вип. 298. С. 105 - 110. **Внесок здобувача: розробка конструкції зерносховищ із застосуванням охолодження.**

26. Кюрчев С. В. Методика дослідження впливу вологості насіння соняшника на раціональну швидкість повітряного потоку у пневмогравітаційному сепараторі. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ : НУБІП, 2018. Вип. 296 С. 139 - 141. **Внесок здобувача: розробка методики досліджень впливу вологості насіння в пневмогравітаційному сепараторі.**

#### Патенти

27. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 86300 Україна: МПК<sup>51</sup> B07B 1/28 (2006.01) / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. № 86300; заявл. 21.06.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. №24. 4с. **Внесок здобувача: проведено аналіз конструкційно-технологічних схем аспіраційних сепараторів.**

28. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 102657 Україна: МПК<sup>51</sup>(2015.01) B07B 1/00 / С. В. Кюрчев, В. М. Малкіна, О. С. Колодій. № 102657; заявл. 19.05.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл. №21. 4 с. **Внесок здобувача: розробка технології аспіраційного розділення насіння зернових культур.**

29. Пневмогравітаційний сепаратор для насіння: пат. 119052 Україна:

МПК<sup>51</sup> B07B 1/28 /С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. № 119052 ; заявл. 20.03.2017 ; опубл. 11.09.2017, Бюл. №17. 4 с. **Внесок здобувача: отримані результати аналізу конструктивного виконання машин для аспіраційно-гравітаційної сепарації сипких мас.**

30. Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів: пат. 129217 Україна: МПК<sup>51</sup> F25/08 (2006.01) / М. І. Стручаєв, Н. П. Загорко, С. В. Кюрчев, В. О. Верхоланцева, В. В. Тарасенко. № 129217 ; заявл. 17.04.2018 ; опубл. 25.10.2018, Бюл. №20. 4с. **Внесок здобувача: розробка конструкційно-технологічної схеми пристрою.**

### Матеріали доповідей на наукових конференціях

31. Кюрчев С. В., Колодій О. С., Мельник К. Л. Дослідження руху насіння в аспіраційному каналі пневмогравітаційного сепаратора методами числових експериментів. *Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доповідей XVII Міжнар. наук. конф., присвяченої 116-річчю з дня народження П. М. Василенка (17 – 18 жовтня 2016 р., м. Суми). Суми, 2016. С. 156 - 160. Внесок здобувача: отримані результати обробки експериментальних даних для оцінки процесу аспіраційної сепарації насіння сільськогосподарських культур.*

32. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на вологість зерна. *Інноваційні технології в АПК: тези V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (травень 2015 р., м. Луцьк) / Луцький НТУ. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 60 - 62. Внесок здобувача: розробка методики розрахунку теплообмінних параметрів процесу охолодження сипких мас.*

33. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Економічна оцінка ефективності зберігання зерна із застосуванням охолодження. *Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК: матеріали V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (17-18 листопада 2016 р., м. Київ). / НУХТ. Київ, 2016. С. 90 - 92. Внесок*

**здобувача: розробка методики техніко-економічної оцінки ефективних технологій зберігання зернової продукції при активному вентиляванні холодоносієм.**

34. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Візуалізація конструкції зерносховища та процесу охолодження. *Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі (18 травня 2017 р., м. Харків) / ХДУХТ. Харків, 2017. Ч. 1. С. 258 - 260. Внесок здобувача: проведено аналіз методів імітаційного моделювання процесів охолодження зерна у сховищах.*

35. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Процес теплообміну між зернівками та охолоджувальним повітрям у зерносховищі. *Сучасні проблеми холодильної техніки та технології: матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф. (21 – 22 вересня 2017 р., м. Одеса). Одеса, 2017. С. 228 - 229. Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесів тепломасообміну при охолодженні зернових мас потоком холодоносія.*

36. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Перспективний процес зберігання зерна із застосуванням охолодження у зерносховищі. *Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XVIII Міжнар. наук. конф., присвяченої 117 - й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (16 – 18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець – Подільський). Кам'янець-Подільський, 2017. С. 141 - 143. Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень процесів зберігання зернової продукції у сховищах за її активної обробки охолодженим потоком повітря.*

37. Паламарчук І., Кюрчев С., Верхоланцева В. Вібровильовий семіфлюїдизаційний процес низькотемпературної обробки рослинної сировини. *Соціально – економічний розвиток аграрної сфери : інженерно-економічне забезпечення : матеріали Міжнар. наук.- практик. конф. (19 – 20 квітня 2018 р., м. Тернопіль). Тернопіль, 2018. С. 283 - 285. Внесок здобувача:*

**аналіз процесів флюїдизаційної обробки сільськогосподарської продукції.**

38. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних сушарок. *The development of technical sciences: problems and solutions: the international research and practical conference (April, 27–28, 2018., Brno city)*. Brno, 2018. pp. 9 - 12. **Внесок здобувача: аналіз процесів вібраційного транспортування сипких мас.**

39. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції. *Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (17-18 травня 2018 р., м. Умань)*. Умань, 2018. С. 113 - 115. **Внесок здобувача: аналіз процесів створення віброзваженого шару продукції при її зберіганні.**

40. Optimization of the parameters for the process of grain cooling / Igor Palamarchuk, Sergey Kiurchev, Valentyna Verkholtantseva [et al.]. *ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII: V Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja (20 – 22 червня 2018., м. Кринниця)*. Кринниця, 2018. С. 91. **Внесок здобувача: отримані результати досліджень процесу охолодження зернової продукції при її зберіганні.**

41. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В. Застосування перспективної віброконвеєрної інфрачервоної сушарки. *Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XIX Міжнар. наук. конф., присвяченої 118 – й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (17 – 19 жовтня 2018 р., м. Київ)*. Київ, 2018. С. 84 - 85. **Внесок здобувача: розробка віброконвеєрної інфрачервоної сушарки.**

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	29
ВСТУП	30
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
1.1 Виробництво зернової продукції та обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур	39
1.2 Аналіз технологічних та конструкційних схем засобів механізації процесів післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур	53
1.2.1 Засоби сепарування	53
1.2.2 Засоби сушіння	58
1.2.3 Засоби зберігання	68
1.2.4 Застосування пневмодинамічних технологій у системах зберігання	74
1.3 Розроблення нових технологічно-конструкційних схем машин для реалізації післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур	77
1.3.1 Віброаспіраційний сепаратор	78
1.3.2 Інфрачервона сушарка	80
1.3.3 Пневмоімпульсний барботер для зворушення насіння при зберіганні	83
1.4 Обґрунтування структурної схеми системи зберігання	87
1.5 Теоретичний аналіз досліджуваних процесів зберігання з імпульсними засобами їх інтенсифікації	93

	25
1.6 Мета та задачі дослідження	98
Висновки за розділом 1	99
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСЛІДЖУВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ І ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР	102
2.1 Теоретичне обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів процесу віброаспіраційного фракціонування насіння соняшнику	102
2.1.1 Динаміка руху фракцій насіння у вертикальному розподільнику	102
2.1.2 Рух насінини при виході з живильного конуса	113
2.1.3 Графічна інтерпретація математичної моделі	119
2.2 Теоретичне обґрунтування кінематичних характеристик віброхвильового транспортування у зоні інфрачервоного опромінення	123
2.3 Теоретичне обґрунтування силових та енергетичних параметрів пневмоімпульсного барботування зернової маси холодоносієм	137
2.4 Обґрунтування технологічних параметрів пневмоімпульсного барботування зернової маси	143
Висновки за розділом 2	145
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	147
3.1 Програма експериментальних досліджень	147
3.2 Методика експериментальної оцінки параметрів процесу віброаспіраційного фракціонування насіння соняшнику	149
3.2.1 Експериментальна установка	149

3.2.2	Визначення швидкості повітряного потоку в аспіраційному каналі	150
3.2.3	Визначення довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора	152
3.2.4	Визначення діаметра аспіраційного каналу установки	153
3.2.5	Визначення діаметра патрубку постачання насіння усередині вертикального аспіраційного каналу	154
3.3	Визначення основних параметрів розроблених елементів досліджувальної віброконвеєрної інфрачервоної сушарки	155
3.3.1	Експериментальна установка	155
3.3.2	Фізико-механічні параметри процесу	157
3.3.3	Тепломасообмінні характеристики досліджуваного процесу інфрачервоного сушіння	158
3.4	Визначення основних характеристик процесу зберігання при активному вентиляванні холодоносієм	161
3.4.1	Експериментальна установка та вимірювальне оснащення	161
3.4.2	Визначення основних теплообмінних параметрів	164
3.4.3	Методика визначення вологості зерна	167
3.4.4	Визначення якісних характеристик зернової продукції, що зберігається	168
3.5	Методика обробки результатів експериментальних досліджень	169
3.5.1	Застосування теорії подібності для фізико-математичного моделювання процесу охолодження зернової продукції	169

3.5.2	Методика статистичної оптимізації досліджуваних систем	171
РОЗДІЛ 4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	174
4.1	Аналіз основних параметрів процесу віброаспіраційної сепарації насіння соняшнику	174
4.1.1	Швидкість повітряного потоку в аспіраційному каналі	174
4.1.2	Довжина вертикального аспіраційного каналу сепаратора	176
4.1.3	Діаметр основного аспіраційного каналу	177
4.1.4	Обґрунтування раціональних конструкційних параметрів парусних елементів, що монтуються на центральній трубі розподільника	178
4.2	Основні технологічні параметри процесу віброконвеєрного інфрачервоного сушіння	180
4.3	Фізико-математичне моделювання процесу віброконвеєрного інфрачервоного сушіння насіння сої	185
4.3.1	Критеріальне рівняння процесу	185
4.3.2	Оцінка швидкості сушіння насіння сої за використання віброконвеєрної інфрачервоної установки	192
4.4	Обґрунтування основних параметрів процесу зберігання зернової продукції в охолодженому стані	194
4.4.1	Вміст клейковини та індекс деформації клейковини	196
4.4.2	Вихідна вологість	203
4.5	Статистична оптимізація основних параметрів досліджуваних процесів зберігання	207
4.5.1	Процес фракціонування насіння	207
4.5.2	Процес сушіння насіння сої	221
4.5.3	Оцінка вмісту клейковини у продукції	228
4.6	Оцінка технологічних можливостей процесу	

	імпульсного пневмодинамічного барботування насінневої продукції при зберіганні	233
4.7	Перевірка адекватності математичних моделей досліджуваних процесів проектованої системи зберігання	235
	Висновки до розділу 4	237
	РОЗДІЛ 5 РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ	240
5.1	Результати лабораторно-польових досліджень, виробничих випробувань та впроваджень	240
5.2	Оцінка економічної ефективності проектованої системи зберігання	248
5.2.1	Техніко-економічна ефективність використання розробленого віброаспіраційного сепаратора насіння	248
5.2.2	Оцінка економічної ефективності застосування розробленого устаткування для віброхвильового інфрачервоного сушіння насіння	253
5.2.3	Оцінка економічної ефективності розробленої системи зберігання насіння з активним вентиляванням конвективним потоком холодоносія в умовах зерносховища	262
	Висновки за розділом 5	272
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	274
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	278
	Додатки	309
	Додаток А	310
	Додаток Б	329
	Додаток В	363

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

ІДК – індекс деформації клейковини;

ПАТ – публічне акціонерне товариство;

ТОВ – товариство з обмеженою відповідальністю;

СФГ – селянське фермерське господарство;

ОЕЗ – олійно екстакційний завод;

ВАС – віброаспіраційний сепаратор;

ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Однією з найбільш важливих умов безпеки будь-якої держави є забезпечення населення якісною продовольчою сировиною та продукцією, що передбачає розвиток технічної бази зберігання і первинної переробки сільськогосподарської продукції. Лише невелика частина сільськогосподарської продукції безпосередньо надходить від виробника до індивідуального споживача, а значний або переважний її відсоток підлягає спочатку зберіганню, а далі – первинній переробці у різних ланках господарства. Можна підвищувати врожайність усіх культур і різко збільшувати їхні валові збори, але не одержати потрібного ефекту, якщо на різних етапах просування продуктів до споживача відбудуться великі втрати маси і погіршення якості. За даними міжнародних організацій з продовольства і сільського господарства втрати зерна і зернопродуктів при зберіганні через технічні та організаційні причини щорічно становлять 5...8 %, а такі біологічні чинники, як самозигрівання продукції з подальшим її ураженням унаслідок перебігу небажаних мікробіологічних процесів можуть збільшити потенційні втрати у десятки разів. При цьому уже після 5 діб неналежного зберігання, різко зростають втрати сухих речовин, збільшується кислотне число жиру, знижується на 10...15 % схожість насіння.

Виробництво зернових та олійних культур нині упевнено займає лідируючі позиції в Україні. На хлібоприймальні підприємства країни надходить зерно і насіння більш ніж 100 партій різних культур, у тому числі зернових (пшениця, жито, ячмінь, овес, рис, кукурудза, просо, гречка, сорго та ін.), бобових (горох, квасоля, соя, сочевиця та ін.), олійних (соняшник, ріцина, ріпак і ін.). Тому розвиток та наукове обґрунтування системи зберігання даної продукції, засобів інтенсифікації її механізованих комплексів становить актуальну та відповідальну проблему на державному рівні, визначаючи національну безпеку країни.

Наукові школи та досягнення відомих вчених, зокрема, Агрономова Є. О., Демьяненко М. П., Дідуха В. Ф., Казакова Є. Д.,

Адамчука В. В., Клеєва І. О., Котова Б. І., Козьміної Н. П., Макарова В. В., Сергунова В. С., Некрасова Б. П., Трисвятського Л. О., Уколова В. С., Чурсінова Ю. О., Станкевича Г. М., Лукіна Г. Д., Кирпи М. Я., Afzal T. M., Brooker D. V., Prvulovic S., Tolmac D., Lambic M. стосувались досліджень післязбиральної обробки та зберігання різної сільськогосподарської продукції. Подальший пошук та розвиток систем післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур відбувається шляхом інтенсифікації процесів при використанні фізико-механічних чинників. Зокрема, вібраційних, хвильових та імпульсних ефектів для максимального збереження вихідних властивостей сировини при помірних енергетичних та матеріальних витратах в умовах підприємств малої та середньої потужності, фермерських господарств, що становить основу досліджень даної наукової роботи та зумовлює її актуальність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота проводилась у рамках науково-дослідної роботи в Таврійському державному агротехнологічному університеті відповідно до таких програм науково-дослідних робіт, як “Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції” (№ ДР 0111U002551), “Розробка наукових основ систем технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки Південного регіону України” (підпрограма 1.6 “Розробка наукових систем технологій і технічних засобів для переробки сільськогосподарської продукції” (№ ДР 0102U000680); за напрямом “Інтенсифікація процесів харчових, фармацевтичних та мікробіологічних виробництв шляхом механічної та теплофізичної технологічної дії” (№ ДР0112U006704), 1.6 “Розробка технологій і технічних засобів для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції та процесів і обладнання харчових виробництв на період 2016...2020 рр.” (№ ДР 0116U002730).

**Концептуальна ідея роботи** полягає у пошуку фізико-механічних чинників підвищення площин поверхонь тепломасообміну при контакті насіння зернової та олійної культури з енергоносієм у процесах її зберігання за рахунок неперервної зміни точок рівноваги часток сировини, швидкого

оновлення контактних поверхонь, варіювання інтервалів температур та вологовмісту у шарах технологічних середовищ за дії гравітаційних та аспіраційних чинників, низькочастотних коливань, інфрачервоного опромінення, вібровідцентрових, віброхвильових, імпульсних силових факторів, які функціонують окремо або комплексно, забезпечуючи реалізацію поставлених технологічних задач.

Дія даних інтенсифікуючих факторів була реалізована у процесах сепарації насіння олійних культур із застосуванням вібрації, інфрачервоного сушіння сипких мас при їх транспортуванні віброхвильовим конвеєром у зоні обробки та активного вентилявання шарів сипкої продукції холодоносієм у зерносховищах, а також при барботуванні імпульсними пневмодинамічними хвилями.

При виборі об'єкта обробки виходили з основного асортименту зернових і олійних культур, які істотно різняться за своїми фізико-механічними властивостями, дозволяючи реалізувати комплексний підхід при виборі засобів механізації для ефективного функціонування досліджуваної системи зберігання сільськогосподарської продукції. Серед таких культур можна відзначити олійні та зернові, а саме соняшник, ріпак та сою; зернові 1 категорії, а саме пшеницю, жито та ячмінь.

**Метою роботи** є мінімізація втрат насіння зернових і олійних культур, забезпечення матеріало- та енергоощадності при його зберіганні шляхом наукового обґрунтування системи реалізації низько- та високотемпературної консервації продукції у зерносховищах при використанні розроблених машин віброаспіраційної, віброхвильової, імпульсної пневмодинамічної дій для обробки насіння зернових і олійних культур.

Відповідно до поставленої мети були **сформульовані такі задачі досліджень:**

– на основі аналізу досвіду сучасних технологій та засобів механізації процесів зберігання насіння зернових і олійних культур розробити основні принципи формування системи їх зберігання;

– обґрунтувати закономірності перебігу процесу сепарації насіння соняшнику віброаспіраційним сепаратором, визначити його раціональні технологічні, конструкційні, кінематичні, силові та енергетичні параметри технічного засобу;

– провести аналіз закономірностей руху маси насіння олійних культур при її фракціонуванні за комплексної дії вібрації, пневмодинамічних та гравітаційних сил і на його основі зробити стохастичне оптимізаційне моделювання процесу віброаспіраційного пневмодинамічного фракціонування;

– на основі моделювання робочого процесу віброхвильової системи для реалізації транспортування сипкої маси уздовж зони обробки за одночасного безперервного перемішування її шарів обґрунтувати режимні параметри віброзбуджувача;

– на основі експериментального аналізу перебігу інфрачервоного сушіння насіння сої здійснити фізико-математичне моделювання даного процесу при використанні теорії подібності, отримати критеріальне рівняння процесу із врахуванням його віброхвильової інтенсифікації, обґрунтувати швидкість просування продукції у робочій зоні та на основі стохастичного оптимізаційного моделювання визначити раціональні технологічні характеристики процесу віброконвеєрного інфрачервоного сушіння з віброхвильовим транспортуванням;

– розробити фізико-математичні моделі і обґрунтувати режимні параметри процесу конвекційного вентилявання холодоносієм, імпульсного пневмодинамічного барботування зернової культури при її зберіганні у сховищах;

– на основі експериментального аналізу зміни основних фізико-механічних властивостей зернової культури при її низькотемпературній консервації провести якісну оцінку параметрів досліджуваного процесу охолодження, та зробити стохастичне оптимізаційне моделювання процесу активного вентилявання конвективним потоком холодоносія та обґрунтувати їх основні режимні параметри, провести виробничу апробацію

проектованого обладнання на підприємствах агропромислового комплексу і на основі техніко-економічного аналізу розроблених процесів та обладнання провести оцінку їх економічної ефективності та конкурентоспроможності.

*Об'єкт дослідження:* процеси післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур, інтенсифікація яких визначається вібраційною, хвильовою та імпульсною дією.

*Предмет дослідження:* закономірності зміни конструкційно-технологічних та якісних параметрів процесів та обладнання для віброаспіраційного фракціонування, віброхвильового інфрачервоного сушіння, пневмоімпульсного барботування та низькотемпературної обробки конвекційним потоком холодоносія у зерносховищах.

**Методи досліджень.** Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізики, методах диференціального обчислення та теорії імовірності, математичного моделювання, теорії подібності, механіки коливальних систем, прикладного програмування. Експериментальну частину досліджень проводили згідно чинних методик та галузевих стандартів для оцінки фізико-механічних, біохімічних та мікробіологічних змін у зерновій та олійній сировині на спеціально розроблених дослідних установках при використанні розробленого експериментального оснащення і застосування методів математичної статистики та планування багатофакторних експериментів. Обробку результатів досліджень проводили за допомогою IBM-сумісного ПК з використанням табличного процесора Microsoft Excel, програмного забезпечення MathCAD, MATLAB, Statistika.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

На підставі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень уперше:

– встановлено закономірності протікання процесу віброаспіраційної сепарації насінневого матеріалу з використанням автоколивального режиму руху ротаційного елемента, який забезпечує підвищення величини рушійної сили та відповідно якості розщеплення потоку насінневого матеріалу за його аеродинамічними та фізико-механічними властивостями на фракції;

– встановлено закономірності забезпечення комбінованої незрівноваженості коливальної системи для одночасної реалізації операцій транспортування та перемішування шарів насіннєвого матеріалу у робочій зоні його сушіння інфрачервоними променями;

– отримано залежності кінематичних, силових та енергетичних параметрів дорезонансного режиму віброхвильової коливальної системи для забезпечення безперервності технологічного руху насіннєвої маси без додаткових механічних пристроїв;

– встановлено закономірності процесу імпульсного пневмодинамічного барботування з використанням стоячої хвилі для зворушення насіннєвого матеріалу у повздовжньому та поперечному напрямках при його зберіганні у зернохранищі.

*Набули подальшого розвитку:*

– закономірності руху компонентів насіння соняшнику у повітряному потоці по поверхні розподільника-живильника аспіраційного каналу змінного поперечного перерізу з нижнім розподілом насіннєвої маси;

– закономірності коливального руху робочих органів вібраційних транспортно-технологічних машин у процесі інфрачервоного сушіння насіння;

– закономірності зміни швидкості сушіння насіння сої інфрачервоними променями в умовах віброзваженого шару продукції;

– теоретичні залежності, які враховують зміни характеристик конвекційного потоку повітря у процесі активного вентилявання насіння холодоносієм;

– основні закономірності зміни фізико-механічних характеристик насіння з урахуванням рекомендованих режимів її зберігання.

**Практичне значення отриманих результатів полягає у:**

– розробленні принципів та технологічних схем, конструкції та технічної документації обладнання для віброаспіраційного фракціонування насіння соняшнику, віброконвеєрного сушіння з віброхвильовою системою транспортування та перемішування у зоні обробки насіння сої; імпульсного

пневмодинамічного барботера для зворушення зернового продовольчого матеріалу при зберіганні у сховищах;

– обґрунтуванні режимних параметрів досліджуваних процесів підготовки та зберігання зернового матеріалу з наданням практичних рекомендацій на виготовлення відповідних технічних засобів в умовах ПАТ “ГІДРОСИЛА МЗТГ” (Мелітопольський завод тракторних гідроагрегатів), ПрАТ “ХМЗ” (Хорольський механічний завод), ПАТ “Карлівський машинобудівний завод”, ТОВ “Гідросила–Тетіс”, ТОВ “Мелітопольський завод турбокомпресорів”, ТОВ “МПП–Агро”;

– впровадженні розробок на підприємствах у СФГ “ВІТА” Якимівського району Запорізької області, ТОВ “Агрофірма Ольвія” Приазовського району Запорізької області, ТОВ “СПП ЛАНА” Михайлівського району Запорізької області.

За результатами досліджень отримано 4 патенти України на корисні моделі.

Результати наукових досліджень впроваджені у навчальний процес Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь), Уманського національного університету садівництва (м. Умань) для підготовки інженера-механіка з дисциплін, що пов’язані з експлуатацією елементів системи зберігання зернової продукції, підготовкою до реалізації переробних і харчових виробництв.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто.

Постановка задач та їх математичний аналіз, оцінка перебігу досліджуваних тепломасообмінних процесів, розроблення розрахункових та принципів схем проектного обладнання [1, 9, 13, 15, 16, 31, 32, 37]; проведено аналіз теоретичних аспектів реалізації досліджуваних процесів [2, 29, 30, 33-35, 38-41], що дозволило розробити їх адекватні моделі [3, 8]. У наукових працях, які виконані у співавторстві, дисертанту належить наступне. Виконано експериментальні дослідження з описанням процесу охолодження та показників якостей зерна, тобто дослідження вологості,

клейковини та індексу деформації клейковини [10, 18, 21, 23]. Розроблено методики математичної обробки отриманих результатів [3, 7, 20, 36]. Проведено планування багатофакторного експерименту, планування і підготовка дослідної роботи [4-6, 12, 14, 22, 28], виконання експериментів, аналіз та обробка результатів. Участь у складанні заявки на корисну модель і розробці технічної документації [11, 14, 17, 24-27].

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наукових конференціях, а також були заслухані та обговорені на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, 2007-2015, 2017, 2018 рр.), на міжнародних науково-практичних конференціях (м. Одеса, 2017, 2018 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні технології харчових виробництв” (м. Вінниця, 26-27 березня 2015 р.); V всеукраїнській науково-практичній конференції “Інноваційні технології в АПК” (м. Луцьк, 19-21 травня 2015 р.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференція студентів та молодих науковців “Перші наукові кроки” (м. Кам’янець-Подільський, 23-24 квітня 2015 р.); V Всеукраїнській науково-практичній конференції “Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК” (м. Київ, 17-18 листопада 2016 р.); XVIII Міжнародній науковій конференції, присвяченій 117-річчю від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка “Сучасні проблеми землеробської механіки” (м. Кам’янець-Подільський, 16-18 жовтня 2017 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки” (м. Кропивницький, 1-3 листопада 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції “Соціально-економічний розвиток аграрної сфери: Інженерно-економічне забезпечення” (м. Тернопіль, 19-20 квітня 2018 р.); The international research and practical conference “The development of technical sciences: problems and solutions” April 27-28, 2018, Brno; IV Міжнародній

науково-практичній конференція “Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва” (м. Умань, 17-18 травня 2018 р.); V Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja ”ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII” (Польща, м. Кринниця, 20-22 червня 2018 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 41 наукову працю, серед них: 20 статей, що надруковані у фахових виданнях України, 6 статей у зарубіжних виданнях та 11 тез доповідей наукових конференцій. За результатами досліджень отримано 4 патенти України на корисні моделі.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 297 найменувань та 3 додатків. Дисертація викладена на 372 сторінках машинописного тексту: основна частина складає 277 сторінки, містить 29 таблиць та 148 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

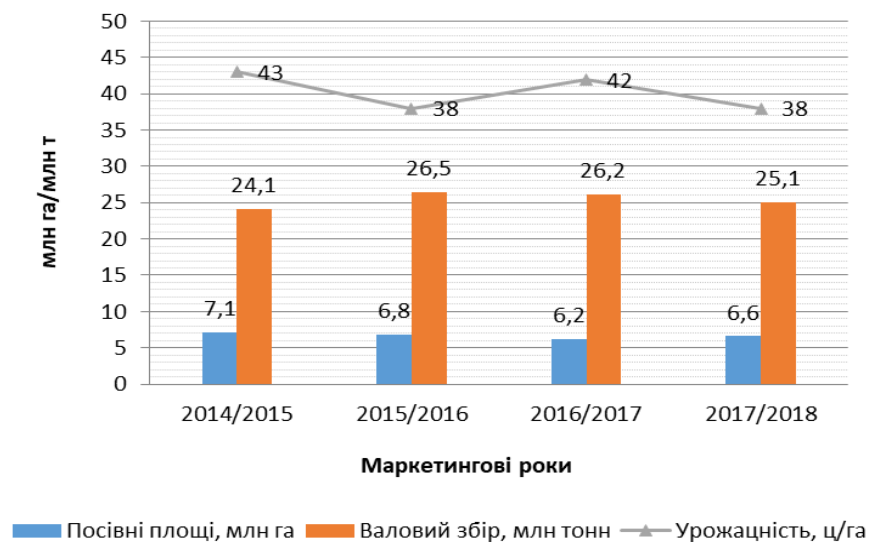
### СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **1.1 Виробництво зернової продукції та обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур**

Серед зернових культур, в якості дослідних, використовували зернові колосові, зокрема, пшеницю та зернові олійні культури, зокрема, соняшник, ріпак та сою. Дані культури є одними з найбільш розповсюджених серед рослинницької продукції, що вирощуються зараз в Україні, їх можна віднести до сипких або зв'язносипких мас, фізико-механічні властивості яких дозволяють використовувати засоби інтенсифікації процесів післязбиральної та первинної переробки, що базуються на вібраційних, хвильових та імпульсних ефектах.

Як показує аналіз сучасного стану виробництва та первинної переробки досліджуваної зернової продукції у нашій країні та за кордоном, протягом останніх десяти років загальні посівні площі в Україні під сільськогосподарськими культурами становили близько 28 млн. га, в тому числі близько 15 млн. га – посівні площі зернових культур. Втрата Криму і частини території Донбасу призвела до загального зниження вказаних посівних площ на 1,5 млн. га, таким чином, в 2015-2017 роках загальні посівні площі становили 26-27 млн. га (з них під зерновими культурами 14-15 млн. га) [1]. У 2016/17 маркетингових роках, загальна посівна площа під зерновими культурами в Україні була на 2,5% нижче показника попереднього маркетингового року, що склала 14,4 млн. га. Причина – засуха восени 2015 року, що призвело до значного скорочення посівної площі озимих культур (посівні площі під пшеницею зменшилися з 6,8 млн. га в 2015/16 до 6,2 млн. га в 2016/17 (рис. 1.1) [2].

Як повідомляє прес-служба Міністерства аграрної політики і продовольства України у 2017/18 пшеницею були зайняті 6,56 млн. га сільськогосподарських земель, що відповідає 23,2% всіх посівних площ і 43,6% посівів зернових культур [3]. <https://www.segodnya.ua/economics/enews/v-ukraine-snizilsya-urozhay-rannih-zernovyh-1166635.html>. Завдяки вдосконаленню агротехнологій, середня врожайність цієї культури зростає і на початок поточного року становила 4,2 т/га. Через несприятливі погодні умови в 2017 році валовий збір пшениці в нашій країні незначно знизився у порівнянні з попереднім періодом, (26,2 млн. тонн за підсумками 2017 року). За рахунок скорочення площ під пшеницею українські аграрії в основному істотно збільшили посіви соняшнику (з 5,1 млн. га в 2015 році до більш ніж 6 млн. га) [4].



*Джерело: Держстатслужба України, 2018 рік*

Рисунок 1.1 – Динаміка виробництва пшениці в Україні

Згідно з офіційною статистикою (яка, в цілому, збігається з даними USDA), загальний збір урожаю зернових в Україні в 2016 році склав 66 млн. тонн, що на 10% вище за попередній сезон і на 3,6% вище попереднього показнику, встановленого в 2014 році. Більш того, вказані показники були досягнуті, незважаючи на зменшення посівних площ під зернові культури у порівнянні з попередніми роками.

Експорт зернових з України в сезоні 2016/17 склав 43,8 млн. тонн, що набагато вище попереднього показнику, встановленого в попередньому сезоні (більше ніж 39 млн. тонн) [5].

Аналогічні тенденції щодо виробництва пшениці прослідковуються і у світі. Незважаючи на те, що урожай пшениці залежить від погодних умов в тому чи іншому регіоні світу, у 2016/17 році загальносвітове виробництво пшениці збільшилося на 2,15% або 15,82 млн. тонн зібраного врожаю і досягло 751,07 млн. т. (Джерело [www.agrochart.com](http://www.agrochart.com)). Найбільший відносний приріст врожаю стався в Австралії, Аргентині, Росії, США. Найбільші виробники – Євросоюз і Китай знизили свої показники по пшениці на 9,58% і 1,02% відповідно [4]. Але Україна все одно впевнено входить в першу десятку світових експортерів цієї продукції.

Розвиток виробництва та переробки насіння олійних культур розглядали стосовно таких культур, як соняшник, ріпак та соя.

За виробництвом насіння та олії соняшнику Україна входить до трійки найбільших виробників цієї культури: Україна виробляє 24% світових об'ємів олії і експортує 58% світового виробництва олії соняшнику. Найбільшими підприємствами з виробництва олії з вітчизняним капіталом є: ПАТ «Вінницький олійно-жировий комбінат», «АДМ Іллічівськ», ТОВ«ЩЕДРО» група «Кернер» (власник торговельної марки «Щедрий дар» і Полтавського ОЕЗ), ПП «Віктор і К» ( ТМ «Королівський смак»), ЗАТ «Євротек» (ТМ «Стожар»). Значну частку у виробництві олії займають також інші великі виробники: Пологівський ОЕЗ, Одеський ОЕЗ, а також Запорізький ОЕЗ [6].

З огляду на те, що собівартість виробництва соняшнику в Україні становить приблизно 25% собівартості вирощування цієї культури в країнах Західної Європи, основні експортні потоки соняшнику з України спрямовуються до країн Європейського Союзу. Із розширенням переробних потужностей у нашій державі частка експорту соняшнику має тенденцію до зменшення та протягом наступних 5-6 років може становити не більше 10% врожаю, що

дозволить нашій державі утримувати лідируючі позиції з продажу соняшникової олії.

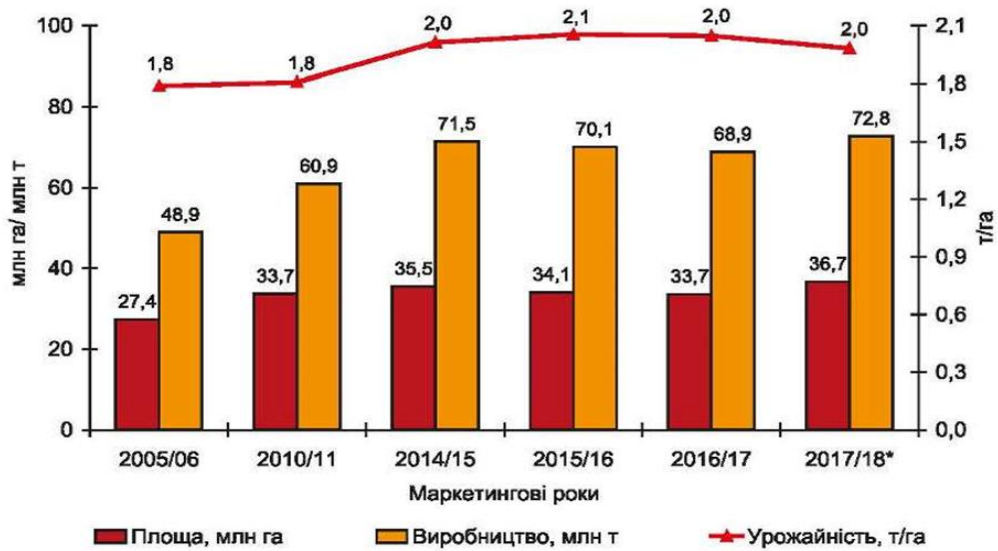
У світі спостерігаються високі темпи росту споживання соняшникової олії. Так з 1990 року мало місце зростання у середньому на 3% щорічно, хоча не спостерігалось суттєвого збільшення врожайності, що сформувало певний дефіцит сировини та, відповідно, призвело до зростання цін.

Виробництво олійних культур в Україні стабільно відзначається високим рівнем прибутковості, що спонукало до розвитку вітчизняного олійно-жирового комплексу з виробництва та експорту соняшникової олії. Проте з кожним роком більш гостро постають питання продовольчої, водної та енергетичної безпеки: прогнозують, що попит на продовольство та енергоносії до 2030 року зросте на 50%, потреба у водних ресурсах на 40%.

Не менш цінною олійною культурою є ріпак, частка якого, зокрема у США, становить 13% [7], а у світовому виробництві стабільно утримувалося на рівні 71 млн. т. Урожайність при цьому зросла на 2,2 ц/га, а площі під цієї культурою зменшилися на 0,5 млн. га (рис. 1.2). Країни Європейського Союзу у поточному маркетинговому сезоні виробили 24,3 млн. т насіння ріпаку, Канада – на рівні 15,6 млн. т, Китай – 14,6 млн. т, Індія – 7,1 млн. т. Така ситуація є наслідком зростання чисельності населення у світі та, відповідно, підвищеного попиту на продовольство і енергоресурси. Тому у поточному сезоні він становив понад 71 млн. т, що на 28% перевищує середньорічний показник за останні 10 років [8].

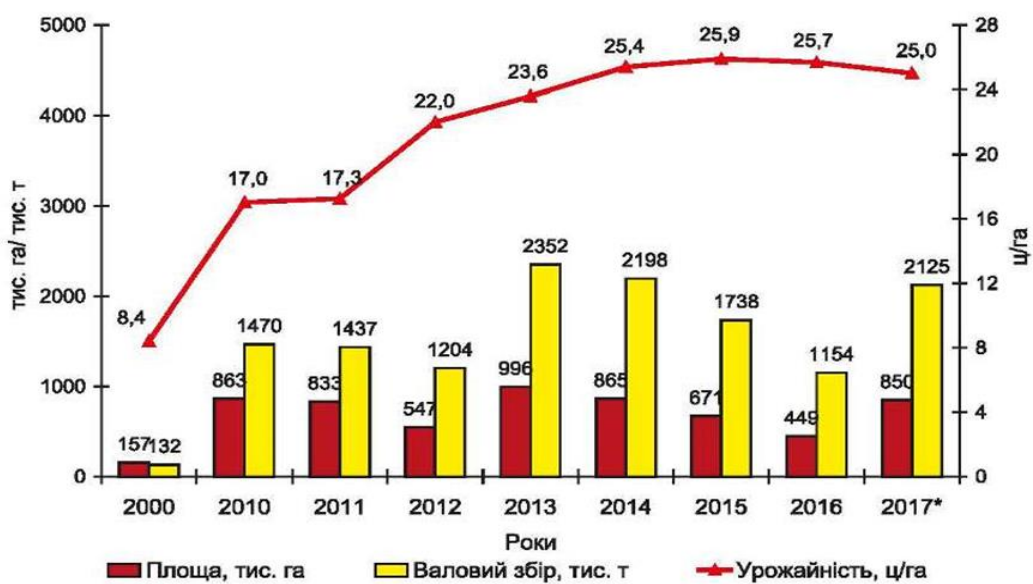
В Україні площі збирання ріпаку торік становили 865 тис. га, або на 12% менше попереднього року, загальне його виробництво зменшилося на 5%, що істотно поступається соняшнику та соєвим бобам (рис. 1.3).

Потенційні можливості України з вирощування ріпаку за середньої урожайності 28-30 ц/га, становлять до 6 млн. т [7]. Потужності вітчизняних олійно-жирових комбінатів оцінюються на рівні 15 млн. т на рік, проте технології переробки ріпаку бажають кращого, у той час як збут соняшникової олії та шроту краще налагоджений для імпортного та експортного варіантів.



Джерело: USDA, травень, 2017 рік

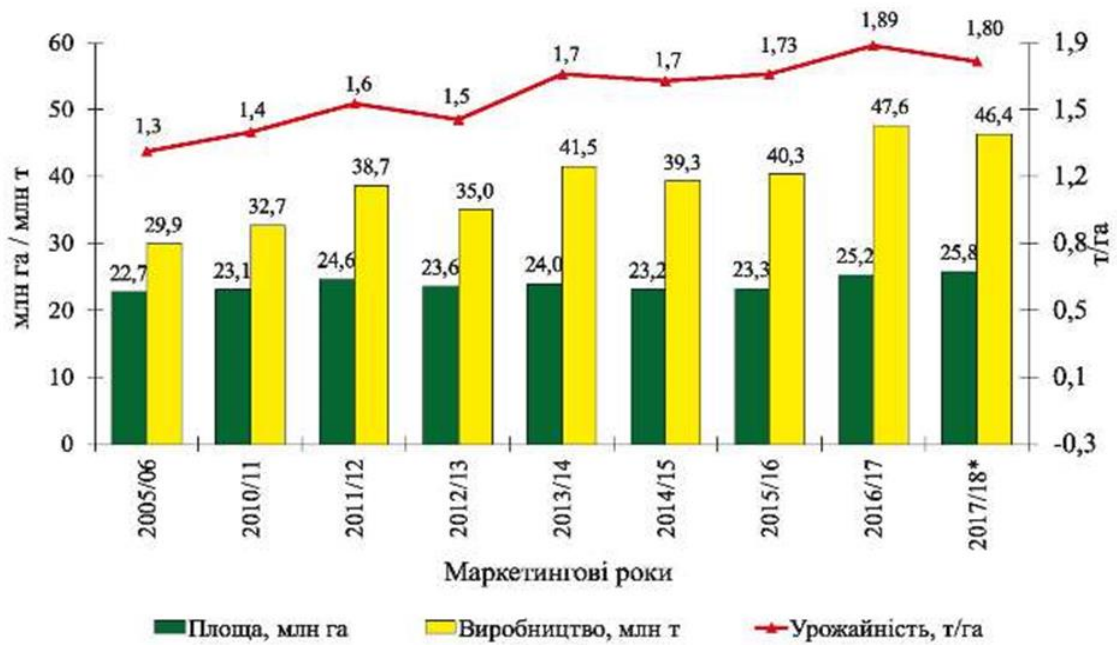
Рисунок 1.2 – Динаміка світового виробництва ріпаку



Джерело: Держстатслужба України, 2017 рік

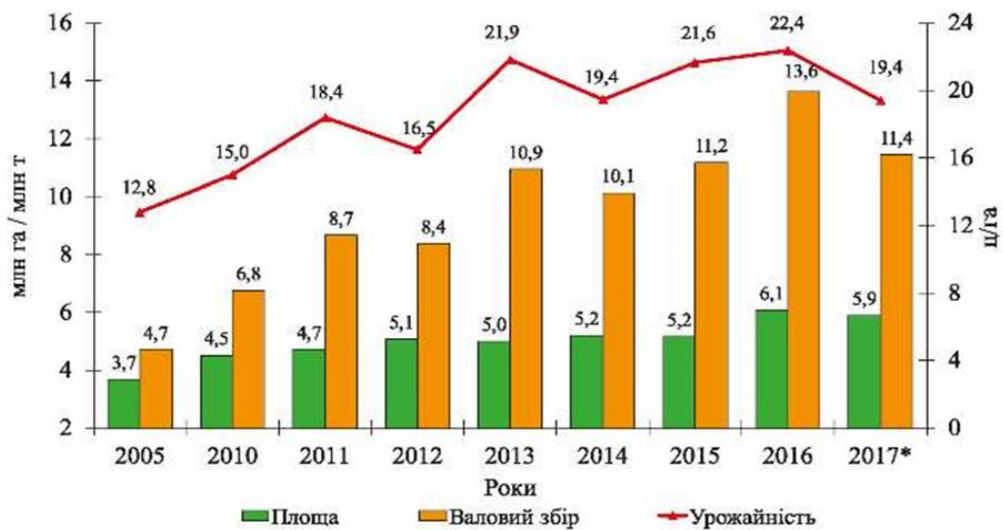
Рисунок 1.3 – Динаміка виробництва ріпаку в Україні

Неухильно зростає питома вага України у світовому виробництві соняшнику та олії та складає близько 15%. (рис.1.4, 1.5). За останні 10 років валовий збір соняшнику в Україні збільшився у 2,5 рази, виробляючи до 11,4 млн. т у 2017 році при середній врожайності близько 20 ц/га [2].



Джерело: USDA, жовтень, 2017 року

Рисунок 1.4 – Динаміка світового виробництва соняшнику



Джерело: Держстат України, 2017 рік

Рисунок 1.5 – Динаміка виробництва соняшнику в Україні

Однак, слід зауважити, що виробництво олії у нашій країні все ще залишається на низькому рівні, основною проблемою чого є нестабільність якості продукції через наявність різних домішок та пестицидів у складі олії.

Членство України у Світовій організації торгівлі зумовлює нові умови функціонування виробництва олії в Україні. Впровадження системи якості

ISO (наявність сертифіката ISO) і вироблення і застосування суворих норм щодо недотримання заходів захисту рослин від шкідливих організмів та їх поширення як на етапі підготовки, так і етапі зберігання, має підвищити якість виробленої продукції. Незважаючи на світову фінансову кризу, олійно-жирові підприємства України продовжують збільшувати обсяги виробництва продукції.

Якщо розглядати аналогічні показники світового виробництва олійних культур, однією із найбільш перспективних олійних культур у США, Бразилії, Аргентині та Китаї є соя: за підсумками минулого сезону світове її виробництво становило 59%, тоді як ріпаку – 14%, а соняшнику – лише 8% (рис. 1.6) [7, 8]; обсяги експорту сої цього сезону перевищать 126 млн. т, що на 1,3% більше минулого року.

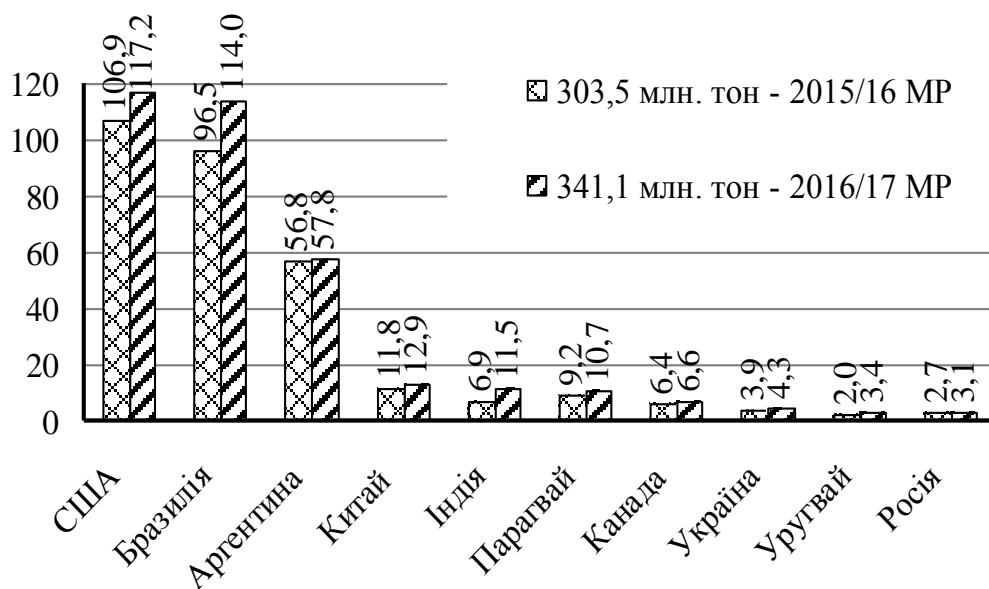


Рисунок 1.6 – Динаміка світового виробництва сої в 2015-2017 рр.

В Україні посівні площі під соєю з кожним роком збільшуються. Так, у структурі посівів поточного року соя займала 8% проти 6,6% за попередній, її валовий збір у 2017 році за майже незмінної урожайності даної культури перевищив попередній на 41%; прогнозується, що виробництво сої в Україні стабілізується на рівні 4 млн. т, враховуючи площі посівів цієї культури на рівні 2 млн. га (рис. 1.7) [9].

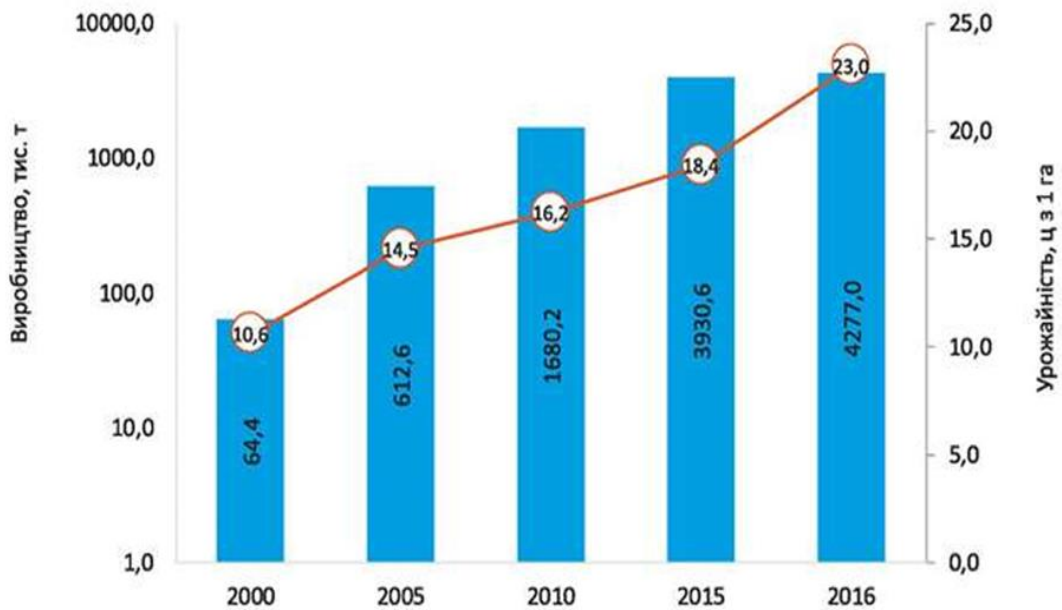


Рисунок 1.7 – Динаміка виробництва сої та зміна її урожайності в Україні за 2000-2016 рр

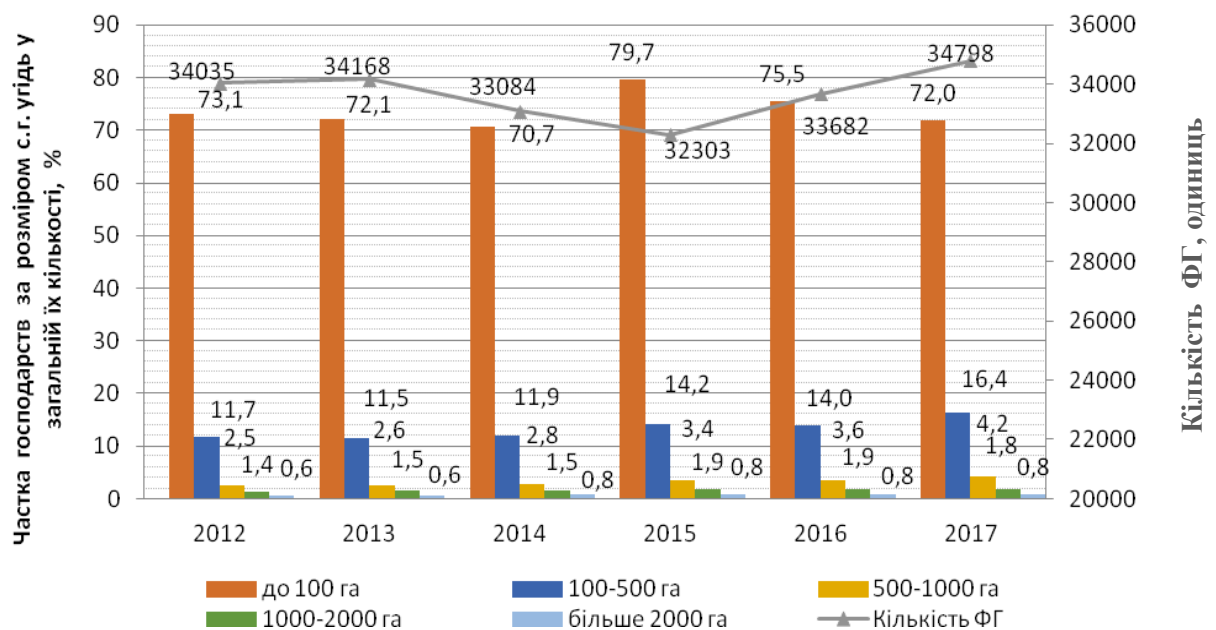
Технологія зберігання насіння зібраної зернової і олійної продукції є одним з визначальних факторів стабілізації загального виробництва зерна та олії і надійності їх використання.

Якщо зберігання насіння зернових і олійних культур на великих сільськогосподарських підприємствах вирішується на достатньому рівні, то для невеликих фермерських господарств з обмеженими ресурсами це є проблемою.

Згідно даних Державної служби статистики, кількість діючих фермерських господарств в Україні складає 34798 одиниць (табл. 1.1) Вони обробляють 4,456 млн. га сільськогосподарських угідь. Найбільша кількість фермерських господарств налічується в Запорізькій, Одеській, Миколаївській, Дніпропетровській, Херсонській, Кіровоградській областях. А найменше – в Рівненській, Івано-Франківській, Чернівецькій і Чернігівській областях [2, 10]. Близько 80% фермерських господарств обробляють землі площею до 500 гектарів (рис. 1.8). Тому всі досліджені процеси по обробці та збереженню насіння зернових та олійних культур потрібно зорієнтувати на впровадження саме в таких фермерських господарствах.

Таблиця 1.1 – Показники розвитку фермерських господарств в Україні

Показники за роками	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Кількість фермерських господарств, які здійснювали сільськогосподарську діяльність, одиниць	34035	34168	33084	32303	33682	34798
Площа сільськогосподарських угідь у користуванні фермерських господарств, тис. га	4389,4	4451,7	4578,3	4343,7	4437,9	4456,2
Частка фермерських господарств за розміром сільськогосподарських угідь у загальній їх кількості, %						
до 100 га	73,1	72,1	70,7	79,7	75,5	72,0
100-500 га	11,7	11,5	11,9	14,2	14,0	16,4
500-1000 га	2,5	2,6	2,8	3,4	3,6	4,2
1000-2000 га	1,4	1,5	1,5	1,9	1,9	1,8
більше 2000 га	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8



Джерело: Держстатслужба України, 2018 рік

Рисунок 1.8 – Динаміка кількості фермерських господарств в Україні у 2012-2017 рр.

При цьому найбільша кількість сільськогосподарської продукції виробленої фермерами генерується галуззю рослинництва – понад 90%. Зернові, зернобобові культури, соняшник і олійні рослини займають найбільшу долю цієї галузі. Збереженість і раціональне використання вирощеного врожаю сільськогосподарських культур є важливим завданням кожного товаровироб-

ника незалежно від його структури, об'єму виробництва, оскільки за рахунок різної ціни на зерно є можливість отримати додатковий прибуток.

У цей же час для підвищення якості насіння та стійкості характерних властивостей при зберіганні починають застосовувати різні способи сушіння, охолодження та очищення.

За останні роки аграрна галузь, яка займається вирощуванням, зберіганням та переробкою продукції сільського господарства, пройшла складний шлях розвитку і вдосконалення. У більшості господарств основним видом продукції, яка зберігається, є зерно та насіння різних сільськогосподарських культур. Проте місткість зерносховищ на початок ХХ ст. в Україні становила близько 4 млн. т, у тому числі елеваторна – до 0,5 млн. т [11]. Багато сховищ побудовано за період 1971 – 1975 рр., коли почали використовувати нове обладнання – великогазові автомобілі-розвантажувачі, стаціонарні механізовані засоби завантаження і розвантаження зерна, високопродуктивну пересувну техніку, зерноочисні машини за новітніми розробками, тощо.

З переходом на нові економічні відносини на фоні поступового зростання обсягів валового виробництва продукції основних зернових та олійних культур потужність сертифікованих зерносховищ для зберігання зерна нині коливається в межах 27-30 млн. т, тобто становить 50-60% від загальної потреби [12].

За оцінками різних експертів, при тривалому зберіганні сільгоспвиробниками насіння зерна на базі власного господарства його втрати становлять 8-10% від зібраного врожаю. Тому необхідно сприяти подальшому розвитку системи зберігання насіння зернової продукції, а саме будувати новітні зерносховища і впроваджувати ефективні технології, що відповідають сучасному науково-технічному рівню, а також особливостям зберігання зерна кожної культури [13].

Такі напрямки розвитку мають базуватися на врахуванні наукових принципів і закономірностей зберігання насіння, проте на практиці вони не-

рідко порушуються, особливо при механічному впровадженні зарубіжного досвіду, технологій і технічного оснащення у вітчизняне зерновиробництво.

Вивчаючи технологію зберігання насіння, необхідно насамперед встановити структуру зернової маси, яку треба зберігати, тому що це фактично є суміш різних компонентів, більшість з яких живі об'єкти з властивими їм фізіологічними функціями [12].

Отже, головною метою зберігання є уповільнення процесів, що відбуваються в сільськогосподарській продукції у результаті життєдіяльності складових компонентів оброблюваної біосистеми для забезпечення її якості.

Насіння основної культури пшениці дозріває і дихає, тому в процесі зберігання необхідно враховувати активність дихання клітин рослин [14-18], наявність мікроорганізмів, кліщів, комах, наслідком життєдіяльності яких є зігрівання, проростання, пліснявіння, забруднення і пошкодження насіння. При цьому 4-5% енергії дихання насіння витрачається на процес дисиміляції запасних органічних речовин, а решта перетворюється на теплоту, яка підвищує температуру і сприяє погіршенню її зберігання [15, 19-21].

До того ж насіння містить і другі різні домішки: мінеральні (дрібненькі камінці, землю, пісок), органічні (насіння бур'янів, рештки стебел, листя) та повітря міжзернових просторів, що в цілому може негативно впливати на стан і якість насіння. Запобігання ушкодженню шкідниками, ураженню хворобами, зволоженню й самозігріванню забезпечить скорочення втрат насіння, збереження його якості та зниження собівартості процесу [17, 18, 22-26].

При зберіганні насіння використовують наступні основні режими: зберігання у сухому стані, за умов відсутності вільної вологи в клітині характерно уповільнення фізіологічних і хіміко-біологічних процесів обміну речовин; в охолодженому стані, що дозволяє зберігати сировину тривалий час завдяки уповільненню або припиненню життєдіяльності компонентів насіння; без доступу повітря [27-32]. Високі результати отримують за поєднання режимів зберігання у сухому і охолодженому станах [26, 31, 33-36].

Основні режими зберігання, засновані на властивостях насіння і впливу на них умов зберігання, найважливішими з яких є вологість, температура та наявність кисню. При виборі режимів зберігання враховують: кліматичні умови; типи сховищ; механічні можливості підприємств; цільове призначення зернової сировини; якісні показники партій зернопродуктів.

Зберігання насіння у сухому стані засноване на зниженій фізіологічній активності всіх компонентів при нестачі вологи. В таких умовах у насінні сповільнюються процеси дихання, життєдіяльності мікроорганізмів та розвиток комах і кліщів [11, 37, 38].

Основними методами сушіння насіння є: теплове сушіння, засноване на використанні як сушильного агента нагрітого повітря; повітряне сушіння з використанням сухого повітря атмосфери з низькою відносною вологістю, сонячне сушіння, засноване на використанні обігріву насіння сонячними променями.

Окрім цих методів насіння сушать, використовуючи речовини, які мають високі сорбційні властивості: сорбенти, хлористий кальцій, сульфат натрію та інші [38]. Такий режим застосовують для довгострокового зберігання мас і підтримки високої життєздатності насіння в партіях посівного матеріалу всіх культур.

Зберігання насіння в охолодженому стані засноване на чутливості до понижених температур основних компонентів зернової маси. У таких умовах життєдіяльність їх різко знижується, або припиняється зовсім, що дозволяє досягти повного консервування насіння на весь період тривалого зберігання [11].

Партії насіння, що мають в насипі температуру не більш  $10^{\circ}\text{C}$ , вважаються охолодженими, при тому, що зернові маси, які мають температуру до  $10^{\circ}\text{C}$ , вважаються охолодженими в першому ступені, а за температури нижче  $0^{\circ}\text{C}$  – у другому. Така технологія забезпечує скорочення природних втрат насіння при тривалому зберіганні, а для короткочасного зберігання сирого і вологого зерна основним і майже єдиним методом збереження його від псування.

Проте при переохолодженні насіння у весняний період створюються умови перепаду температур, що призводить до верхового самозігрівання насипу, внаслідок чого втрачається схожість насіння.

Зберігання насіння в закритих умовах також засноване на уповільненні і повній відсутності життєдіяльності більшої частини живих компонентів зернової сировини у безкисневому середовищі, внаслідок чого значно скорочується інтенсивність дихання. За таких умов зберігання зернові культури і насінні домішки переходять на аеробне дихання та поступово знижують свою життєдіяльність. При цьому повністю припиняється життєдіяльність мікроорганізмів та зменшується розвиток шкідників.

Створення без кисневих умов у зерносховищах досягається за рахунок природного накопичення діоксиду вуглецю і втрати кисню в результаті дихання компонентів зернової маси (самоконсервування), а також відкачування повітря зі сховища та створення вакууму у зерновій масі та введення у масу насіння газів, які витісняють кисень з міжзернового простору насипного шару. Необхідною умовою для успішного зберігання насіння без доступу повітря є наявність герметичних зерносховищ [11, 37, 38].

Важливим технологічним фактором процесів зберігання насіння зернових і олійних культур є попереднє очищення, сепарація та охолодження у зерносховищах [39]. Зниження температури зерна нижче 8-10°C різко знижує інтенсивність протікання фізіолого-біохімічних процесів у сировині, сприяє збереженню вихідних показників якості зерна й збільшує строки його зберігання при тривалому та тимчасовому зберіганні насіння, скорочує втрати внаслідок процесів дихання, різко знижує небезпеку пошкодження комахами-шкідниками [18, 26, 40-42]. На першому етапі обробки при охолодженні насіння температуру всіх шарів насипу підтримують нижче 10°C, на другому – нижче 0.

При виборі способу охолодження зернової продукції атмосферним повітрям необхідно ефективно поєднувати пасивні і активні методи. Перспективними методами охолодження зернових насипів при розробці систем зберігання є активне вентилявання атмосферним повітрям, створення псевдозрі-

дженого стану сировини коливанням опорної поверхні або перепускання крізь зернову масу потоку холодоносія [16, 43, 44]. При обробці зернових мас штучно охолодженим повітрям зібране зерно з вологістю до 20% можна зберігати без зниження показників якості на протязі 8-10 діб [16, 41].

Сучасна технологія охолодження зерна дозволяє реалізувати: захист від пошкодження шкідниками; захист від грибкових захворювань і продуктів їх життєдіяльності – мікотоксинів, а також забезпечити економію витрат на фумігацію. При цьому є можливість знизити інтенсивність дихання зерна; зменшити витрати на сушіння та пересипання, а також зберегти якість врожаю. Такий технологічний процес можна застосовувати незалежно від кліматичних умов [15, 16, 26, 29, 39, 44].

Під час зберігання насіння олійних культур за низьких температур сухе і зріле насіння перебуває у стані спокою, проте за умов підвищення вологості і температури розпочинаються процеси інтенсивної життєдіяльності. У зв'язку з цим зберігання зерна олійних культур є більш складнішим порівняно із зберіганням зерна злакових. Жир, що міститься в олійній сировині, не в змозі зв'язувати й утримувати вологу так само, як це відбувається в зерновій за рахунок білків та крохмалю [25].

Крім того, на збереження насіння олійних культур значно впливає ступінь його очищення, зокрема надмірна кількість у зерновій масі пошкоджених і лущених зернят викликає швидке пліснявіння, зокрема псується їхній зародок, а жир швидко гіркне, оскільки через пошкоджену плодову оболонку такого насіння потрапляє велика кількість повітря. Швидко псується та втрачає якісні показники травмоване насіння високоолійних сортів соняшнику [25, 30].

Особливість зберігання насіння олійних культур зумовлена тим, що нерівномірна за вологістю маса, яка надходить від комбайнів при збиранні, внаслідок високої інтенсивності дихання швидко виникає саморозігрівання. Це пояснюється тим, що процес дихання насіння відбувається переважно завдяки жирам, які в процесі окислення виділяють більше тепла, ніж вуглеводи [31, 38]. Самозігрівання різко знижує якість як товарного зерна, так і насіння,

призначеного для посіву, тому основну увагу під час підготовки зерна олійних культур до зберігання слід приділяти доведенню його до оптимальної вологості.

Таким чином, як свідчать дані сучасного виробництва та послідуючого зберігання насіння зернових і олійних культур виникає суттєва трудомістка та енергомістка проблема по обґрунтуванню ефективних систем їх післязбиральної обробки та зберігання. Вирішення цієї проблеми можливо в разі застосування більш ефективних способів та технічних засобів обробки та зберігання насіння.

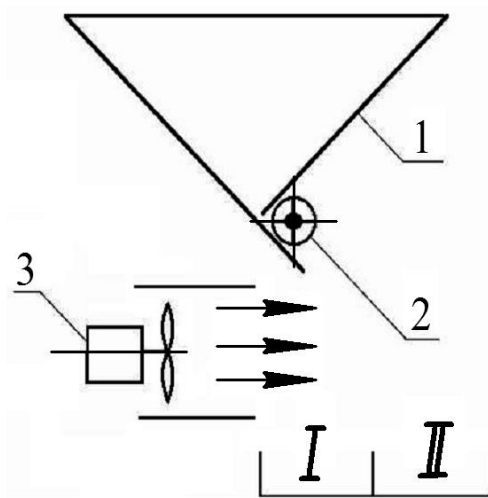
## **1.2 Аналіз технологічних та конструкційних схем засобів механізації процесів післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур**

### **1.2.1 Засоби сепарування**

Прототипом сучасних пневмодинамічних сепараторів були роздільні установки з ручним приводом і вже перші спроби механізувати процес сепарації привели до розробки пневматичного способу його реалізації, за якого у результаті взаємодії насіння з повітряним потоком легші фракції відносились на більшу відстань, ніж важкі [37, 47-51].

Так у пневмосепараторі «Тріумф» (рис. 1.9) з бункера 1 насінини подаються живильником 2 у горизонтальний повітряний потік, що створюється вентилятором 3. Після поділу легке насіння відносилося потоком до бункера фракції II, а важке – до бункера фракції I. Основними недоліками розглянутого способу сепарування у горизонтальному повітряному потоці є те, що насінини при вільному випаданні із бункера займають випадкове положення у просторі, горизонтальний повітряний потік діє на дві близькі за розмірами та щільністю насінини із різними силами: в одному із можливих положень сила буде максимальною, а в іншому випадку – мінімальною. Тому при розташуванні легкої насінини в положенні найменшої аеродинамічної сили із боку

горизонтального повітряного потоку вона не буде переміщена до бункера фракції I та навпаки [52-54].

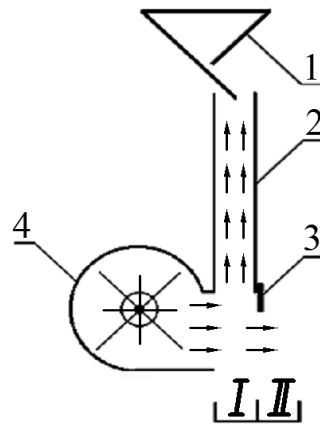


1 – бункер; 2 – живильник; 3 – вентилятор

Рисунок 1.9 – Схема пневмосепаратора насіння в горизонтальному потоці

Подальші дослідження вчених призвели до розробки процесу сепарування насіння, що використовує аспіраційний повітряний канал, куди подається насіння з бункера 1 (рис. 1.10) та взаємодіє із зустрічним повітряним потоком, отримуючи різну вертикальну швидкість у залежності від її геометричних форм та маси. У результаті все насіння займає положення найменшого аеродинамічного опору по відношенню до вертикального повітряного потоку та за рахунок близької до краплевидної форми поверхні часток продукції виникає підйомна сила, що поліпшує умови розщеплення часток за траєкторіями. Проте спостерігається недостатня чіткість поділу за рахунок утворення різних повітряних потоків.

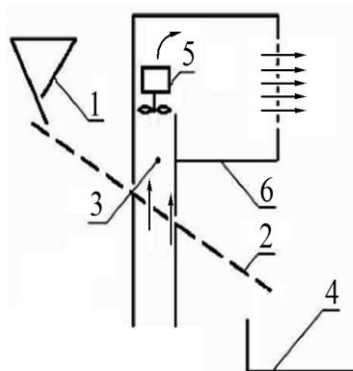
Для іншого пневматичного сепаратора (рис.1.11) насіння подається із бункера 1 на встановлене під кутом решето 2 і далі - у вертикальний повітряний потік вентилятора 5, що створюється всередині аспіраційного каналу.



1 – бункер; 2 – аспіраційний канал; 3 – регулятор; 4 – вентилятор

Рисунок 1.10 – Схема пневмосепаратора насіння з вертикальним аспіраційним каналом

Після проходження решета 2 повітряний потік від вентилятора 5 вирівнюється за швидкістю на всій поверхні решета. Легке та неякісне насіння піднімається вертикальним повітряним потоком доверху по каналу 3 до відстійника 6. Важке насіння спрямовується решетом 2 у бункер цінної фракції 4. Такий спосіб обробки був реалізований в конструкціях сепараторів типу ЗАВ-10, ЗД10.000, СВУ-5А, ЗВС-20, ТОВП-20А, СМ-4 [55].

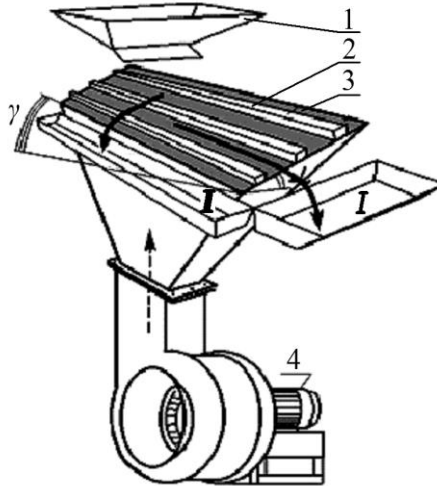


1 – бункер; 2 – решето; 3 – аспіраційний канал; 4 – бункер цінної фракції;  
5 – вентилятор; 6 – камера - відстійник

Рисунок 1.11 – Схема сепарування у аспіраційному вертикальному каналі

Пневматичні сортувальні столи STS-MACS Seed Separator 'Multiple Air Chamber System', STS-MAC, STS-WM2 дозволяють поділяти фракції насіння

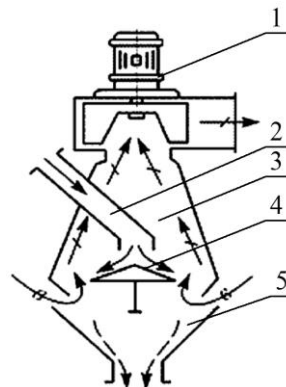
за рахунок встановленої під кутами до лінії горизонту  $\alpha$  та  $\gamma$  (рис.1.12) похилої сітки 3 із дерев'яними планками 2. Легке насіння піднімається над планками та рухається у поперечному до планок 2 напрямку у фракцію II, а більш важке – ковзає вздовж планок 2 у фракцію I. Для даного способу притаманна висока продуктивність, проте має місце відносно велика енергоємність та не-ефективність при розділенні багатofракційних мас сипкої продукції [56].



1 – бункер; 2 – планки; 3 – сітки; 4 – вентилятор

Рисунок 1.12 – Схема пневматичного сортувального стола ПСС

Турбінні гравітаційні сепаратори типу “Daquet”, “Ocrim”, “Demos” (рис.1.13) свою розповсюдженість у Європі набули за рахунок простоти конструкції та високої продуктивності.



1 – електродвигун; 2 – патрубок постачання; 3 – сепарувальна камера;

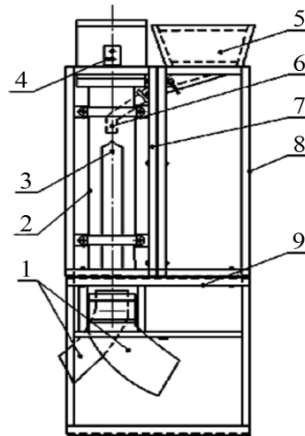
4 – розподільник; 5 – бункер цінної фракції

Рисунок 1.13 – Технологічна схема турбінного пневмосепаратора

При роботі цих пневмосепараторів насіння надходить через патрубок постачання 2 на розподільник 4 та далі – у робочу камеру 3. Під дією повітряного потоку легкі фракції рухаються догори, а важке насіння – до бункера 5. При цьому має місце нерівномірність швидкості повітряного потоку по перетину пневмоканалу за рахунок підведення повітря через бічний повітропровід.

Існують й інші способи та технічні засоби для сепарування зернових сумішей. Проте основними недоліками існуючих засобів механізації для сепарування насіння є складність налагодження, висока енергоємність, низька якість поділу насіння по фракціях та недостатня чіткість роботи із насінням різної вологості.

Вказані недоліки частково нівелюються при застосуванні розробленої конструкції пневмогравітаційного сепаратора насіння з нижнім поділом фракцій [57, 58]. Дана установка містить осьовий вентилятор 4 (рис. 1.14), який закріплений на лівій частині рами 7.



- 1 – приймальні бункери фракцій; 2 – аспіраційний канал; 3 – подільник;  
 4 – вентилятор; 5 – бункер; 6 – патрубок постачання; 7 – ліва частина рами;  
 8 – верхня частина рами; 9 – нижня частина рами

Рисунок 1.14 – Схема пневмогравітаційного сепаратора насіння

Усередині вентилятора 4 змонтований вертикальний аспіраційний канал 2, під нижньою частиною якого встановлено поділювач фракцій 1 на два або три потоки. Розподільовачі фракцій встановлені один відносно одного під ку-

том 90°, що дозволяє утворити з боку нижнього кінця аспіраційного каналу отвір малого діаметра – місце відбору насіння до фракції I, а також один чи два циліндричні отвори для відбору інших фракцій (II та III). Насіння у робочу зону подається через патрубок 6, встановлений з нахилом у бік ковзання насіння з живильного бункера 5 до верхньої частини центральної труби аспіраційного каналу 2. Живильник бункера оснащений регулятором продуктивності постачання насіння у вигляді регульованої заслінки, що встановлена в місці звуження подаючої частини бункера.

Працює пневмогравітаційний сепаратор таким чином. У процесі сепарації насіння з бункера 5 через живильник патрубок 6 надходить до центральної труби вертикального аспіраційного каналу 2. Вентилятор 4 витяжного типу створює висхідний потік повітря, що розщеплює зустрічну масу насіння за траєкторіями у залежності від щільності. Більш легке насіння підхоплюється повітрям догори, середнє незначно змінює свою траєкторію руху та потрапляє до бункера фракції I, а більш важке – розганяється розподільником у поперечному напрямку до більш високих швидкостей і потрапляє в периферійні збірники фракції II.

До недоліків роботи даного пневмогравітаційного сепаратора насіння слід віднести невелику продуктивність, обумовлену відсутністю засобів активації руху насіння усередині аспіраційного каналу, які б надавали умови більш швидкого просування донизу відсепарованого насіння під дією зовнішніх сил.

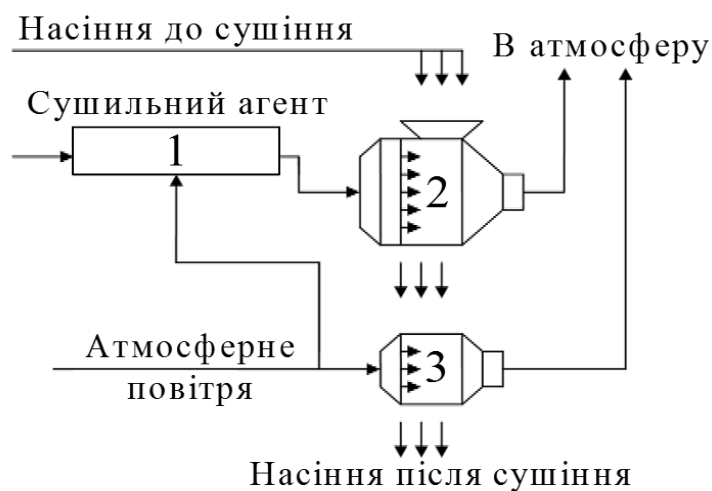
### **1.2.2 Засоби сушіння**

В останні роки спостерігається стійка тенденція до зростання використання зерносушарок виробництва провідних зарубіжних та вітчизняних компаній, які здатні забезпечити продуктивність від 3,5 т/год до 250 т/год [60, 61].

Сушарки з різноманітними конструкційними ознаками та характеристиками процесу сушіння класифікують за рядом ознак, визначальними із

яких є: спосіб підведення тепла до зерна, стан зернового шару, режим роботи сушарки та конструкційне її виконання [62, 63].

Достатньо широко серед способів сушіння насіння зернових культур є застосування двоступеневої теплової обробки (рис. 1.15), яка передбачає на першому етапі нагрівання продукції у камері 2 потоком повітря і димових газів, які виходять із топки 1. Далі насіння охолоджується у спеціальній камері атмосферним повітрям та досушується при підвищених температурах. Такий процес обробки насіння забезпечує необхідне зниження вологості при збереженні показників якості продукції [64].



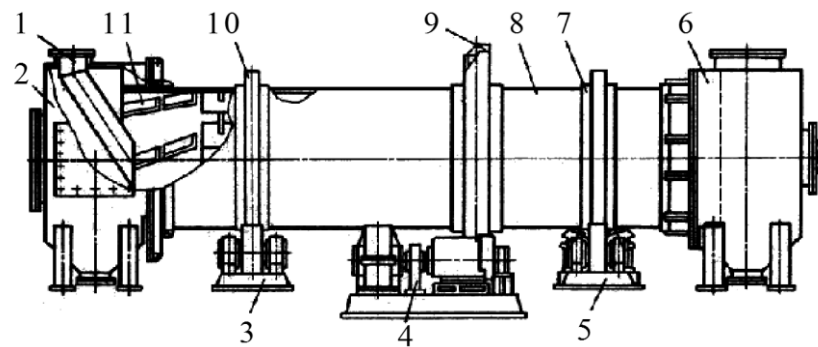
1 – топка; 2 – сушильна камера; 3 – охолоджувальна камера

Рисунок 1.15 – Схема теплового сушіння насіння

Більшість сушарок, які зараз промислово виготовляються, реалізують конвективне сушіння, де близько 40% з них складають барабанні сушарки, що застосовуються для сушіння зернової сировини підігрітим повітрям в умовах прямого або протivotочного руху матеріалу і теплоносія.

При експлуатації барабанної сушарки (рис.1.16) насіння, що потрапляє на лопатки підйомно-перемішувачих пристроїв 11, при обертанні циліндра 8 піднімається на деяку висоту, далі зсипається донизу та у процесі руху інтенсивно продувається і перемішується потоком сушильного агента [60].

Такі сушарки порівняно прості за конструкцією, нескладні в експлуатації, мають невеликі габарити та вартість; проте відзначаються невисоким використанням робочого об'єму, підвищеними витратами електроенергії, невисоким коефіцієнтом вологовидалення. Так, за один прохід знімається усього 3-5% вологи та спостерігається нерівномірність обробки насіння. З метою підвищення ефективності таких сушарок застосовують диференційовані режими сушіння з рециркуляцією насіння, що передбачають застосування знижених температур теплоносія на першому етапі обробки і підвищених – на другому. Насіння тут переміщується у конвективному потоці у псевдозріженому стані та прогрівається до температури 55-60°C при вологозніманні 10-12% за один прохід [65].



1 – патрубок подачі насінневого матеріалу; 2,6 – завантажувальна та розвантажувальна камери; 3 – опорна рама; 4– привод; 5– опорна станція; 7 – секції барабана; 8 – циліндр; 9 – елементи кріплення; 10 – бандаж;  
11 – лопатки подачі матеріалу

Рисунок 1.16 – Схема барабанної сушарки

Процесорні сушарки використовуються при обробці великих об'ємів зернових та олійних культур (рис. 1.17), а також ідеально підходять для сушіння насінневого матеріалу. Спеціальні дозатори даного сушильного апарата з регульованою швидкістю забезпечують рівномірне вивантаження та, відповідно, і рівномірне нагрівання зерна. Електронна система рециркуляції

дозволяє здійснити теплоутилізацію при використанні енергії теплоносія з секції охолодження [66, 67].



Рисунок 1.17 – Загальний вигляд процесорної зерносушарки

Зернові колони апарата забезпечують максимальну місткість, а також рівномірну і ефективну сушку зерна, а регульовані заслінки відслідковують потік продукції та усувають його застій у колонах [55].

Модульні зерносушарки знаходять достатньо широке застосування в Україні. Так, сушарки марок СЗМ 540, СЗМ -330 розробки ПАТ «Хорольський механічний завод» (рис. 1.18) призначені для сушіння зерна продовольчого і фуражного призначення, а також насіння зернових, круп'яних культур та соняшнику. Сушарки забезпечують сушіння зерна та насіння з початковою вологістю до 35%. Сушарки обладнані пальниками під природний газ з плавним регулюванням потужності. Система керування сушаркою передбачає ручний і автоматичний режими сушіння. Контрольованими і керованими параметрами є температура теплоносія, температура зерна, вологість зерна на вході і на виході з сушарки [68].

Безумовним лідером у виробництві та постачанні сушарок модульного типу є компанії-виробники США. Сушарки компанії GSI та FFI International розроблені спеціально для сушіння зернових, зернобобових та інших олійних культур, які здатні задовольняти запити як фермерів (продуктивність від 3,5 т/год до 40 т/год за зниження вологості від 25% до 15% із охолодженням зер-

на і, відповідно, від 4,5 т/год до 66 т/год за зниження вологості зерна від 20% до 15%), а також великих товаровиробників – за блокування двох, трьох і більше модулів загальною продуктивністю від 10 т/год до 250 т/год [69].

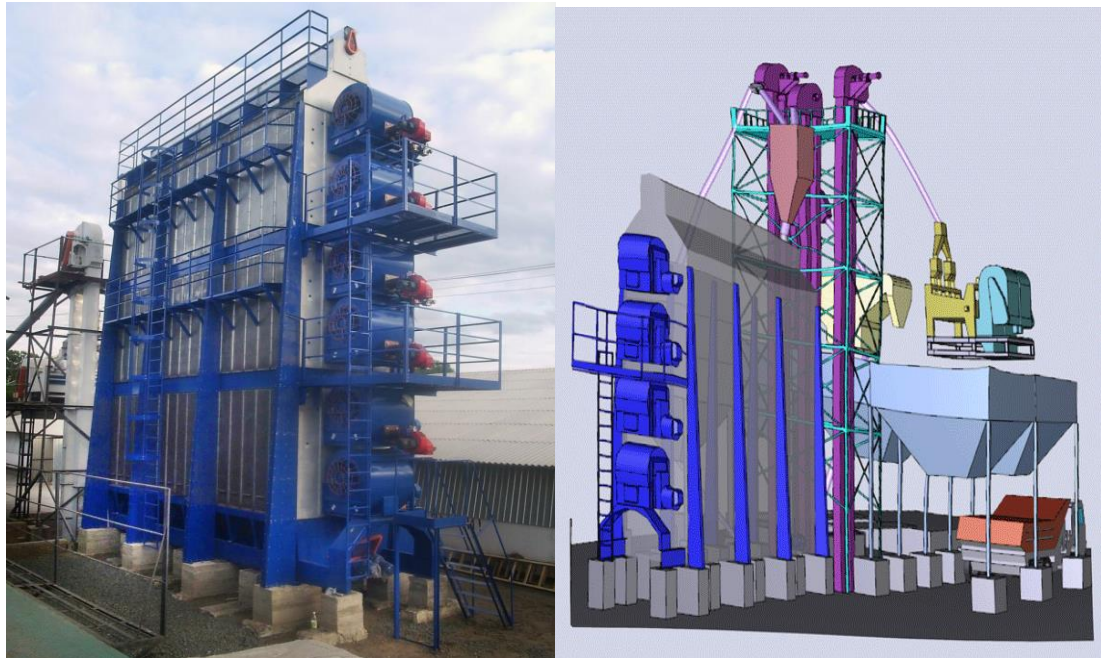


Рисунок 1.18 – Загальний вигляд модульних зерносушарок СЗМ 540 і СЗМ -330

Вітчизняне підприємство ТОВ «Маловисківський завод сушильного та елеваторного обладнання» виробляє одно- і тримодульні зерносушарки «Сапфір» (рис. 1.19). Кількість секцій може досягати 13, нарощування продуктивності здійснюється завдяки збільшенню в їхньому складі кількості зернових колон або встановленню додаткового верхнього модуля. Проектна максимальна продуктивність на сушінні сировини від 30 % до 15 % за один прохід (у режимі повного нагрівання) становить 36 т/год, а в режимі «нагрівання-охолодження» (від 25 % до 15 %) – 35 т/год [69].

Особливості конструкції такої сушарки полягають у тому, що зовнішні і внутрішні решета зернових колон виготовлені із високоякісної оцинкованої сталі; оцинкований кожух пальника і вентилятора захищають зерносушарку від корозії, газові пальники виготовлені із жаростійкої сталі та мають два ре-

жими роботи, які визначаються електронною системою розпалювання. Об'єднання в одному корпусі вентилятора та пальника забезпечує оптимальне спалювання і нагрівання повітря, створення інтенсивного повітряного потоку [69].

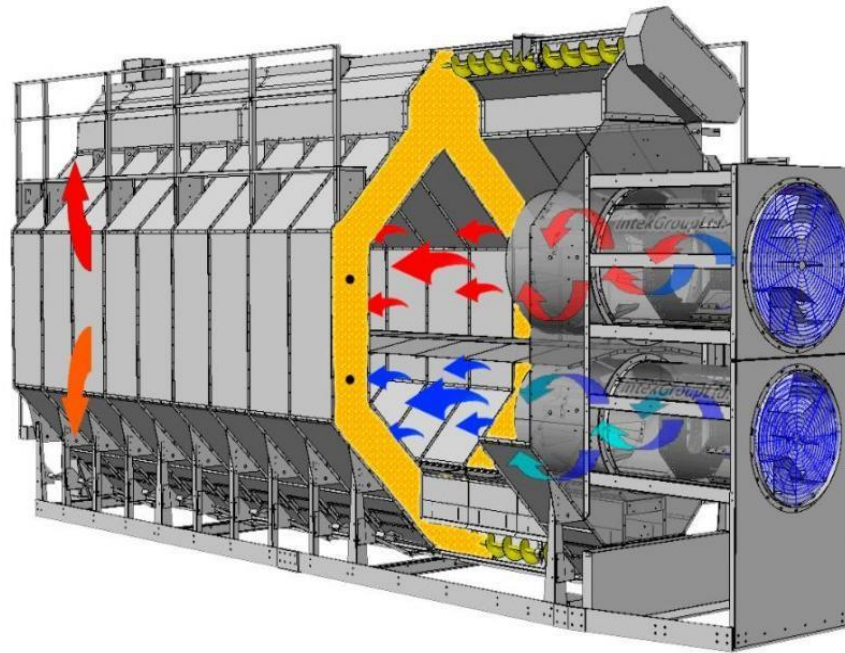
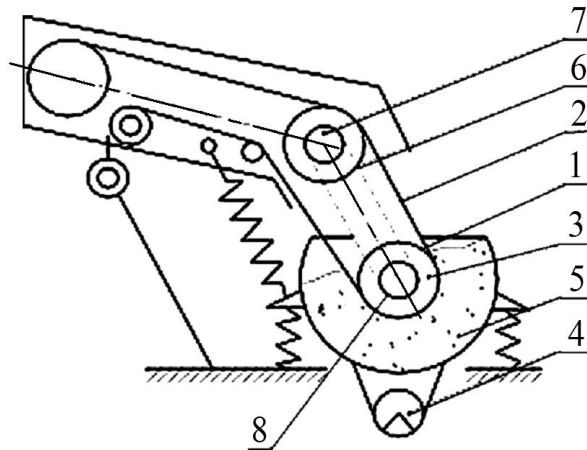


Рисунок 1.19 – Конструкційно-технологічна схема модульної зерносушарки «Сапфір»

Одним з напрямів у сушінні зернових і олійних культур є міжопераційне транспортування у процесі інфрачервоного сушіння.

У науково-дослідницькому інституті приладобудування була розроблена вібраційна машина безперервної дії, де в якості транспортуючого елемента використовується стрічковий конвеєр з метою вилучення феромагнітних елементів із маси робочого середовища та переміщення їх до приймальної тари [70]. При обертанні приводного барабана 1 рухається стрічковий конвеєр 2 та магнітний блок 3. Вібробуджувач 4 створює коливання робочого контейнера, який передається стрічці конвеєра, що приводить до притягування феромагнітних тіл, які рухаються у приймальний бункер (рис. 1.20).

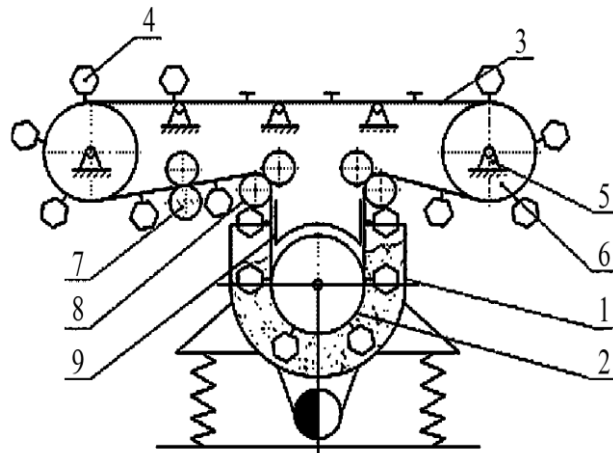


1 – приводний барабан; 2 – стрічковий конвеєр; 3 – магнітний блок;  
4 – віброзбуджувач; 5 – робочий контейнер; 6 – пластинчата стрічка з  
магнітами; 7,8 – зірочки

Рисунок 1.20 – Схема вібраційної машини безперервної дії з механізмом для вилучення феромагнітних елементів

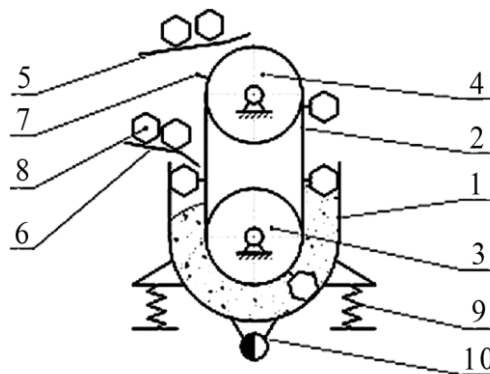
Вібраційна машина (рис.1.21) містить конвеєрну стрічку 3, яка виконана з коливальними та неколивальними ділянками. З метою підвищення продуктивності стрічка розташована на барабані у вигляді спіралі, що дозволяє збільшити масу продукції, яка одночасно обробляється в машині [71]. Для забезпечення компенсації положень коливальної та неколивальної гілок гнучкої стрічки механізм її подачі споряджений тяговими 7 та гальмівними 8 парами роликів

Вібраційна машина конвеєрного типу з подібними конструкційними елементами (рис. 1.22) містить контейнер 1, усередині якого умонтований пристрій для транспортування продукції, який складається із барабана 4 та гнучкого транспортуючого елемента 2, що його охоплює [72]. Барабан обкочується по роликах, які закріплені усередині контейнера на його бічних стінках та має незалежний привод. Робочий контейнер машини приводиться до коливального руху за допомогою віброзбуджувача 10.



- 1 – робочий контейнер; 2 – приводний барабан; 3 – конвеєрна стрічка;  
 4 – захвати; 5 – кріплення; 6 – опорний коток, 7 – тяговий ролик;  
 8 – гальмівний ролик; 9 – вкладиш з перфорованими стінками

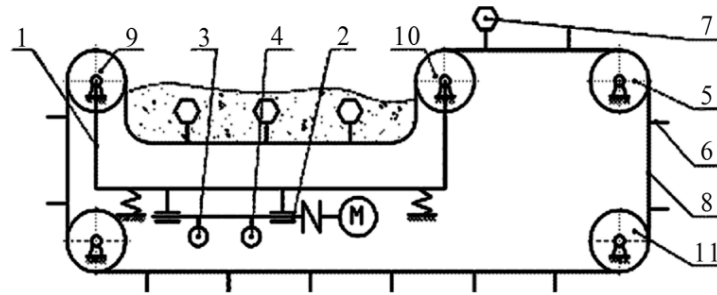
Рисунок 1.21 – Схема конвеєрної вібраційної машини з рухомим транспортерним елементом



- 1 – робочий контейнер; 2 – конвеєрна стрічка; 3 – приводний барабан;  
 4 – опорний лоток; 5 – приймальний лоток; 6 – подаючий лоток;  
 7 – кріплення для деталей; 8 – деталь; 9 – пружний елемент;  
 10 – віброзбуджувач

Рисунок 1.22 – Схема конвеєрної вібраційної машини з конвеєром для вилучення продукції

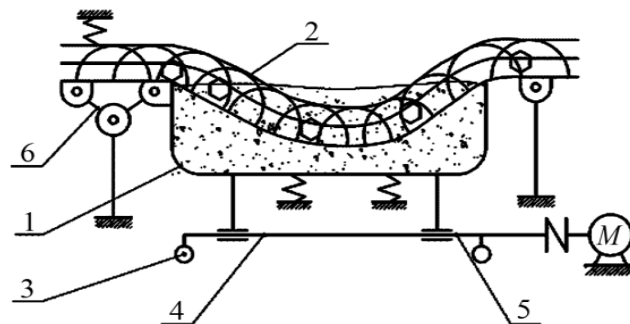
Вібраційна машина (рис.1.23) містить пружно підвішений робочий контейнер I, який приводиться до коливального руху за допомогою дебалансного віброзбуджувача та транспортувальну систему, яка забезпечує проходження через робочу зону гнучкої стрічки 8 із деталями 7 [73].



1 – контейнер; 2 – приводний вал; 3, 4 – дебаланси; 5, 9, 10, 11, 12 – опорні ролики; 6 – захвати для деталей; 7 – деталь; 8 – напрямна стрічка

Рисунок 1.23 – Схема конвеєрної вібраційної машини з рухомим днищем контейнера

Конвеєрна стрічка створює своєю зовнішньою поверхнею рухоме днище, а вал віброзбудувача установлений з можливістю передачі змінних коливань по довжині зони обробки. Таким чином, по мірі переміщення стрічки в контейнері постійно зростає енергія, що розсівається у масі технологічного середовища.



1 – контейнер; 2 – труба з гнучкого матеріалу; 3 – дебаланс;  
4 – приводний вал; 5 – робочий наповнювач; 6 – важіль

Рисунок 1.24 – Схема вібраційної машини безперервної дії з гнучкою робочою камерою

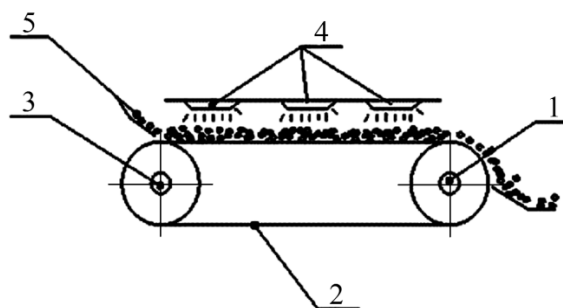
У вібраційній машині безперервної дії (рис.1.24) гнучкий елемент створює своєю поверхнею стінки робочої камери та виконує функцію транспортування продукції [74]. Машина містить робочий контейнер 1, що пружно умонтований на основі, пристрій для транспортування продукції та її вилу-

чення із зони обробки. Труба 2 сформована з дротяного матеріалу, що створює сітку з вічками, розміри яких не перевищують розміри часток робочого середовища, що забезпечує обробку з усіх сторін робочої камери.

Наведені конвеєрні вібраційні машини дозволяють обробляти продукцію як насипом, так і в закріпленому стані. Основні конструкційні елементи цих машин подібні, проте достатньо ефективно вирішують проблему вилучення феромагнітних домішок із маси робочого середовища та зумовлюють хороші перспективи для здійснення повної автоматизації процесу обробки сировини. Але недоліком є наявність гнучкого транспортувального елемента, який ускладнює конструкцію машини та виключає можливість регулювання робочих режимів вібраційної установки.

Заслугує на увагу застосування конвеєрних інфрачервоних сушарок з віброхвильовим рушієм для транспортування продукції.

Установка (рис. 1.25) з інфрачервоним опромінюванням зернового матеріалу дозволяє, по-перше, завдяки вібромеханічному приводу забезпечити об'єкту переробки необхідний рівень активності речовин і вологості; по-друге, при допомозі опромінювачів 4 реалізувати необхідну енергетичну і технологічну ефективність процесу; по-третє, від віброзбуджувачів 1, 3, що умонтовані усередині робочих котків, за рахунок механічної вібраційної дії утворити на поверхні стрічки 2 хвилю, що дає можливість здійснити одночасно транспортування і перемішування матеріалу 5.



- 1 – приводний коток; 2 – стрічка; 3 – натяжний коток;  
4 – інфрачервоні опромінювачі; 5 – продукція

Рисунок 1.25 – Схема вібраційної конвеєрної установки для інфрачервоного сушіння

Для високотемпературної консервації насіннєвого матеріалу схема сушарки на базі конвеєрної вібраційної технологічної машини, що обумовлює поєднання двох перспективних напрямів технічного удосконалення технологічного обладнання – конвеєрних та вібраційних машин є найбільш перспективною. Розвиток даного напрямку обґрунтовується необхідністю створення технологічних автоматизованих та комплексно механізованих ліній для післязбиральної обробки продукції для досягнення вищих форм безперервності та пропорційності [75-78].

Таким чином, найбільш перспективним технічним засобом сушіння насіння зернових і олійних культур, за ознаками ефективності, простоти конструкції, помірних енерговитрат, що важливо при використанні у невеликих господарствах, є вібраційне інфрачервоне сушіння.

### **1.2.3 Засоби зберігання**

Система зберігання містить складське господарство, функціями якого є максимальне збереження споживчих якостей зернової продукції, раціональне розміщення запасів, виконання всіх необхідних операцій обробки сировини на всіх етапах технологічного процесу [85-88].

Сучасне зернове сховище являє собою складну технічну систему, що складається із численних взаємозалежних елементів, має певну структуру і виконує ряд функцій, а також є підсистемою логістичного ланцюга системи зберігання, який і формує основні вимоги і критерії її оптимального функціонування.

Існують різні типи зерносховищ, які відрізняються характеристиками призначення, цільовим використанням, місткістю та конструкційним виконанням. Крім того, зерносховищам можна дати таку класифікацію (рис. 1.26) [89, 90].

За способом зберігання зерносховища бувають: складські та силосні, за періодом – тимчасового та тривалого зберігання, за конструкційними особливостями – елеватори, навіси; зерносклади тощо.

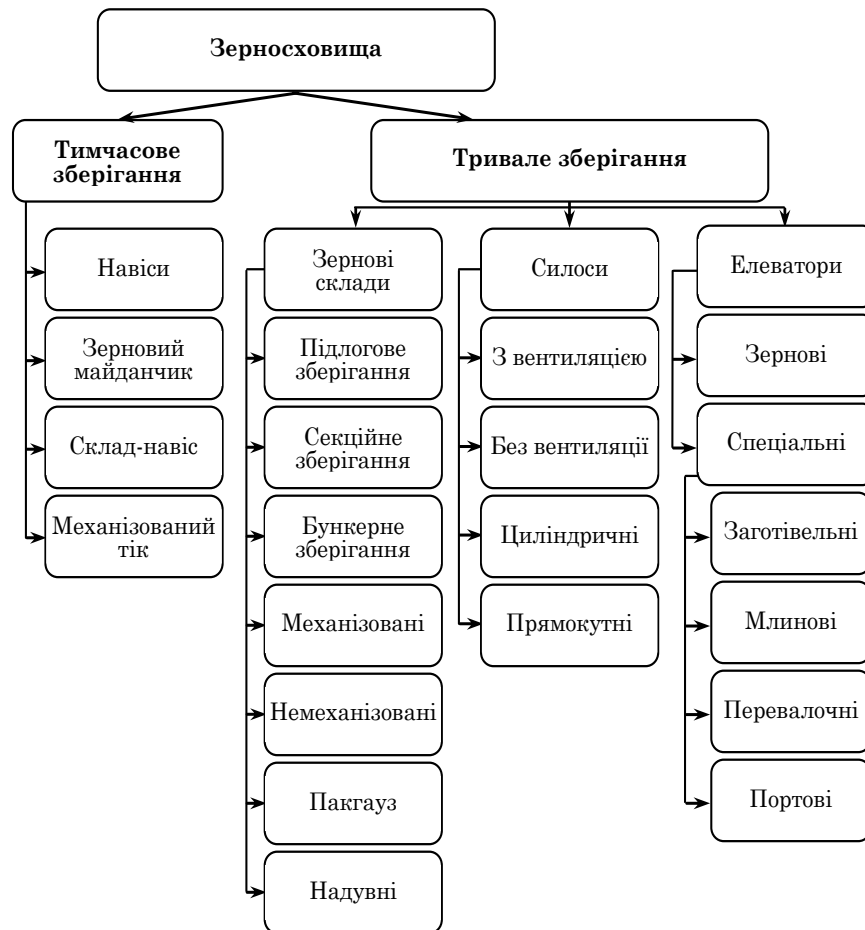


Рисунок 1.26 – Класифікація зерносховищ

Розміщення зерна у сховищах застосовують у такі способи: підлогове та силосне. На підлозі зерно зберігають насипом або у тарі, при невеликій висоті шару, а саме, у складах з горизонтальними підлогами висота насипу зерна сягає до 5,5 м, а з похилими підлогами до 11 м, при силосному розміщенні висота насипу може становити 40 м і навіть 60 м [90, 91]. Проте зберігання зерна у силосах, безумовно, має певні переваги та недоліки (рис. 1.27).

Капітальні сховища повинні мати достатню систему вентилявання для: відводу тепла від завантаженого в сховище продукту; рівномірного розподілення по сховищу охолодженого повітря; запобігання температурного градієнту в сховищі; обмеження небажаного накопичення продуктів дихання.

### ***Зберігання зернової продукції у силосах***

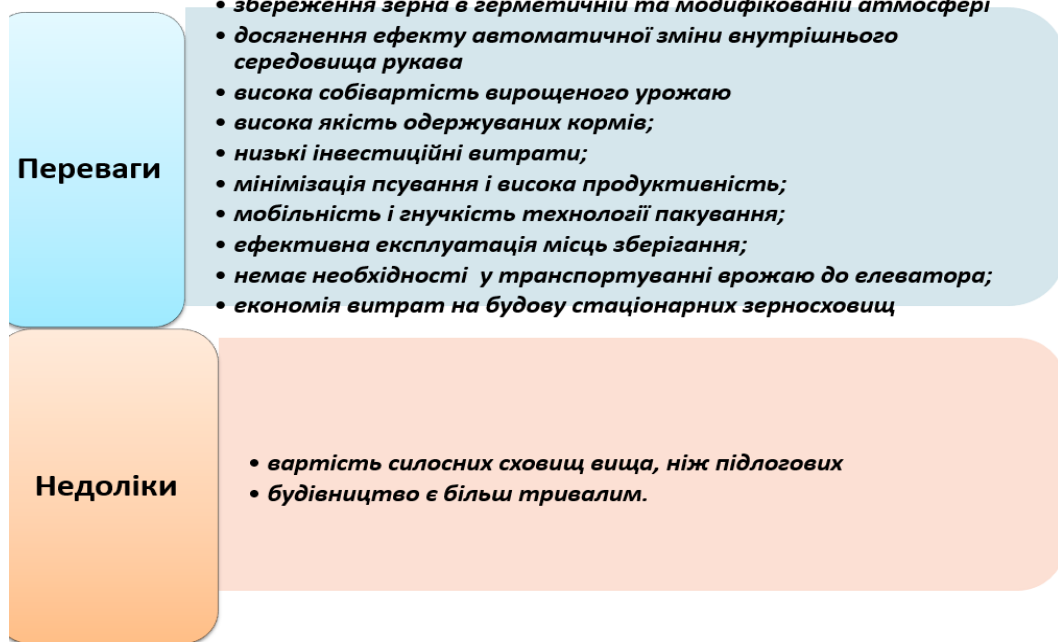


Рисунок 1.27 – Переваги та недоліки методу зберігання зерна у силосах

В останні роки широко впроваджують систему охолодження, сушіння з активним вентиляванням повітря, при якій примусово періодично подають повітря з певною температурою, вологістю та швидкістю в зернову масу. При активному вентиляванні задача полягає не у вентиляції зерносховища, а в продуванні крізь продукцію повітря. У результаті вдається значно швидше охолодити, отопити та осушити об'єкт зберігання; підтримувати умови зниження температури зернової маси та зменшення її вологості; поновлення складу повітря міжзернових просторів, теплового обігріву, газациї і дегазациї насіння, запобігти самозігріванню зернових мас.

Вибір режиму зберігання залежить від певних умов, особливо від типів зерносховищ і їх місткості, технічних можливостей господарства для приведення партій зернових мас до стійкого стану, цільового призначення, економічної доцільності застосування того чи іншого режиму вентилявання [92].  
Всі партії зерна, особливо насінневого, потрібно зберігати у спеціальних сховищах (рис. 1.28).



Рисунок 1.28 – Класифікація насіннесховищ

Зберігання зернопродуктів може бути як тимчасовим, так і довгостроковим (рис.1.29), у залежності від застосування режимів зберігання зернових мас, які дозволяють запобігти втратам маси (крім біологічних) та зниження показників якості [92].

Для сучасних способів зберігання зернових мас характерно застосування конвективного способу підведення теплоти. Сушіння зерна проводять у нерухомому шарі, з використанням камерних зерносушарок та бункерних установок, а також у малорухомому, падаючому, зрідженому шарах та у режимі пневмотранспорту.

Застосування сушіння у щільному нерухомому шарі при використанні бункерів активного вентиляювання набуло поширення для сушіння зернового та насінневого матеріалу атмосферним або нагрітим на 5-10 °С повітрям [14, 43]. Головним недоліком такого способу є значна експозиція сушіння, тому заслуговує на увагу вентиляювання зерна повітрям, нагрітим до 35-40 °С (у тепловентиляційних агрегатах). У бункерах із застосуванням прискореного сушіння вологість зерна знижується від 20 до 14 % за 23 - 25 годин, тобто в 7 разів швидше за звичайних умов [93].



Рисунок 1.29 – Класифікація зерносховищ за періодом зберігання

Останнім часом для тимчасового герметичного зберігання зернових мас застосовуються полімерні рукави, які мають певні переваги та недоліки застосування (рис. 1.30). Тришарові полімерні рукави виготовляють методом екструзії діаметром від 2,0 м до 4,2 м товщиною 200 – 270 мкм за стандартної довжини 45, 60, 75 і 90 м.

Полімерні рукави складаються з 3-х нероздільних шарів: зовнішній білий шар, який забезпечує віддзеркалення світла і перешкоджає нагріванню маси всередині рукава і два внутрішніх чорних шарів, які роблять рукав міцним і абсолютно світлонепроникним [94]. Технологія зберігання зерна в рукавах практикується багатьма українськими господарствами понад 10 років та має різні відгуки стосовно такого методу.

Аналізуючи сучасні системи зберігання зерна, можна відмітити, що також досить широко використовуються як зерносховища – безкаркасні ангари. За характеристиками такі ангари нічим не поступаються капітальним будівлям, дають можливість за короткий термін покрити досить велику площу,

при цьому вартість і терміни зведення такого зерносховища в рази менше у порівнянні з іншими (рис. 1.31).

### *Зберігання зернової продукції у “рукавах”*



Рисунок 1.30 – Переваги та недоліки методу зберігання зерна у рукавах

### *Зберігання продукції у зерносховищах ангарного типу*

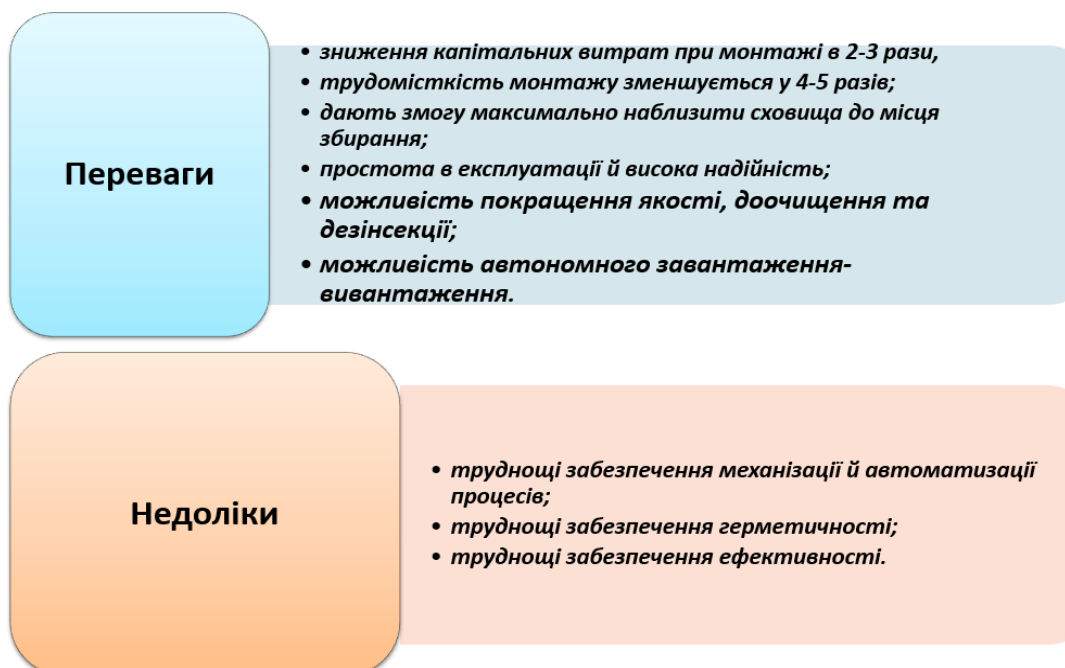


Рисунок 1.31 – Переваги та недоліки методу зберігання в ангарах

Залежно від експлуатаційних вимог у ангарі можлива установка будь-яких необхідних систем: контролю температури, вентиляції, охолодження, досушування, теплоізоляції, крім того, забезпечується надійний захист як від атмосферних опадів, так і від псування зерна гризунами і птахами.

Таким чином, існуюче різноманіття засобів для зберігання зерна (зерносховищ) показує, що багато з них мають суттєві недоліки такі, як складність та вартість, що обмежує їх більш широке використання у відносно невеликих фермерських господарства. Має місце складнощі з герметизацією, завантаженням та розвантаженням зернової продукції та ін.

Тому необхідно продовжувати роботи по подальшому розробленню технологій зберігання зернової продукції у зерносховищах із застосуванням активного вентилявання, барботування продукції під час зберігання тощо.

#### **1.2.4 Застосування пневмодинамічних технологій у системах зберігання**

Можна відзначити такі основні напрями використання пневмодинамічних систем при зберіганні сипкої сільськогосподарської продукції: барботування та пневматичне перемішування; завантаження та розвантаження технологічних мас.

Пневмотранспортні системи дозволяють переміщувати сипучі матеріали у вигляді окремих частинок розмірами до 80–100 мм або суцільною масою при швидкостях повітря порядку 1...35 м/с. транспортування продукції здійснюється у завислому стані, в аерофонтанній щільній фазі і в поршнево-му режимі для штучних вантажів. При турбулентному потоці пневматичного середовища з швидкостями, що в 2 - 5 разів перевищують швидкості витання частинок, рекомендуються достатньо великі відстані транспортування (до 1500–2000 м) і продуктивністю до 300 т/год.

У поршнево-му режимі переміщують штучні вантажі, капсули, контейнери (на роликах або повітряній подушці). При цьому у трубопроводі матері-

али переміщуються з швидкостями до 5–15 м/с за рахунок незначної різниці тиску повітря (до  $104 \text{ Н/м}^2$ ) перед поршнем і за ним.

Перевагами пневмотранспортного переміщення сипких мас є герметичність транспортних систем, простота, можливість повної автоматизації, високі санітарно-гігієнічні умови, можливість поєднання з іншими технологічними процесами, зокрема сушінням та насиченням продукції певними компонентами.

За конструкцією та принципом дії розрізняють всмоктувальні та нагнітальні системи пневмотранспорту. Всмоктувальні установки включають всмоктувальний наконечник, вакуум-насос, трубу, вантажовідділювач. Розрідження у всмоктуючих установках може складати до  $0,35 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Нагнітальні установки складаються з завантажувального пристрою, компресора, труби та вантажовідділювача. Дані машини виконують низького (до  $0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ), середнього (до  $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ) та високого (до  $7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ) вакууму.

У капсульних пневмотранспортних установках вантаж транспортується у вагонетках, що пересуваються у трубі на розташованих радіально колесах. Після завантаження на навантажувальній станції під впливом тиску повітря, що створюється завдяки повітродувці, потяг вагонеток переміщується пневмотрубою до розвантажувальної станції. Представлена технологія відзначається великою продуктивністю, невибагливістю до траси переміщення, високою економічністю процесу; проте до її недоліків можна віднести складну конструкцію у кінцевих та проміжних станцій.

При реалізації процесів зворушення сипких мас, що зберігаються у сховищах, використовують переважно механічні зворушувачі гвинтового типу, функціонування яких відзначається високими енерго- та матеріаловитратами. Застосування пневматичного перемішування продукції в установках з ерліфтом дозволяє значно зменшити енерговитрати, проте характеризуються недостатньою ефективністю пошарового зворушення зернової продукції.

У дисертації вперше пропонується застосування пневмоімпульсної барботуючої дії на технологічні маси. У процесі формування пневмодинамічної

імпульсної хвилі спочатку відбувається утворення кульковидного ядра хвилі (рис.1.32), при просуванні якої спостерігається зростання статичного тиску за потоком повітря. Далі має місце утворення нестационарного газового струменя з чергуванням надзвукових та дозвукових зон, які обмежуються ударними хвилями. При цьому виникає збільшення звукової сили на технологічне середовище порядку 150...170 дБ. Ефект силової дії на масу продукції зростає за рахунок стискання – розтягування на границях імпульсу з амплітудою 6...15 бар, що приводить до виникнення таких супутніх фізичних процесів, як гідродинамічна кавітація, акустичний та ультразвуковий вплив [95-97].

У результаті швидкість потоку повітря може досягати 60 м/с, що сприяє ефективній реалізації процесів розпушування. При цьому технологічна дія залишається м'якою на відміну від технологій гідрударів та інших достатньо жорстких руйнуючих процесів.

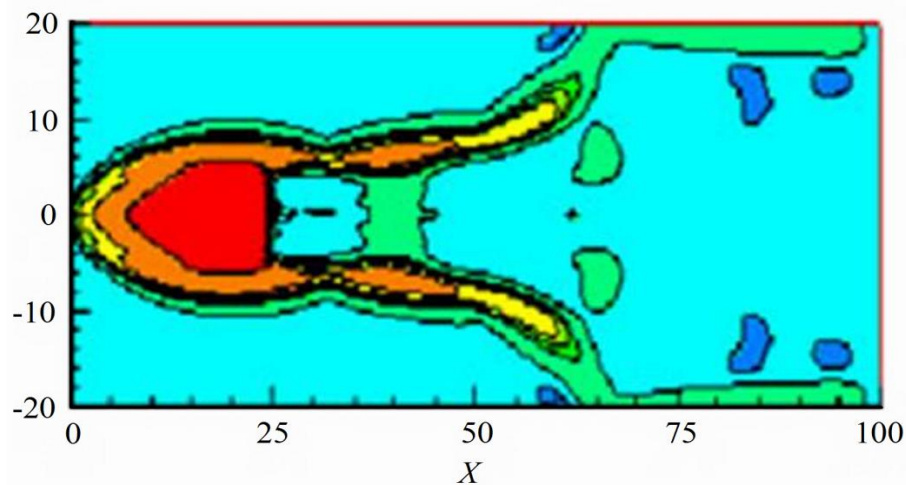


Рисунок 1.32– Формування ударної хвилі за імпульсного пневмодинамічного барботування

За імпульсного пневмодинамічного технологічного впливу потік повітря із необхідними за вимогами обробки величинами температур і тиску діє на продукцію протягом незначного інтервалу часу, що складає, як правило, менше 0,1 с. Така короткочасність циклу обробки дозволяє досягнути досить високих параметрів робочого режиму з частотою спрацювання від 10 с до

30 хв, енергією струменя до 5 кДж та швидкістю потоку повітря до 60 м/с, що приводить до інтенсивного перебігу процесів зворушення, розпушування та навіть руйнування часток продукції. Живлення пневмоімпульсного генератора стиснутим повітрям відбувається через гнучкий шланг з внутрішнім діаметром 4 - 6 мм від стандартного балона з тиском до 15 МПа. Апарат спрацьовує автоматично через 1 - 2 с.

### **1.3 Розроблення нових технологічно-конструкційних схем машин для реалізації післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур**

На сучасному етапі розвитку процесів первинної переробки сипкої продукції у технологіях післязбиральної обробки застосування коливальних режимів знайшло широке розповсюдження або у конвеєрних системах, або у технологічних машинах для обробки сировини у псевдозрідженому шарі для інтенсифікації процесів тепломасообміну, розділення складних неоднорідних мас, покращення умов контакту з навколишнім середовищем. Такі напрями цілком відповідають досліджуваним процесам фракціонування, сушіння та барботування, що реалізуються у проектованій системі зберігання насіння.

Застосування вібрації впливає на інтенсивність як циркуляційного, так і відносного руху часток продукції в робочій камері по різних та хаотично складних траєкторіях в умовах контакту з потоками тепло- або холодоносія, зумовлюючи оптимальні умови для здійснення тепло- та масообміну за можливості регулювання параметрів процесу [98-103]. У технологічному режимі процес зчеплення між частками зернової маси послаблюється, що призводить до виникнення станів псевдозрідження і псевдотекучості, внаслідок чого створюються сприятливі умови для ефективного перемішування маси за рахунок збільшення площі контактної взаємодії та знижуються витрати на переміщення сировини за рахунок зменшення внутрішнього тертя [103, 104].

При зберіганні в процесах ущільнення і формування технологічних мас спостерігається найбільш повна укладка часток продукції за рахунок досягнення прискорення силового поля і вільного падіння [105]. Підвищення прискорення зумовлює перехід до стану псевдокипіння, який характеризується збільшенням взаємодіючих поверхонь і швидкості конвективної дифузії, зниженням сил внутрішнього тертя і ефективної в'язкості в масі сировини. Це дозволяє ефективно здійснювати процеси сушіння насіння та насичувати сировину газовим середовищем, гомогенізувати технологічні маси з одночасним їх перемішуванням по всьому робочому об'ємі [107-111].

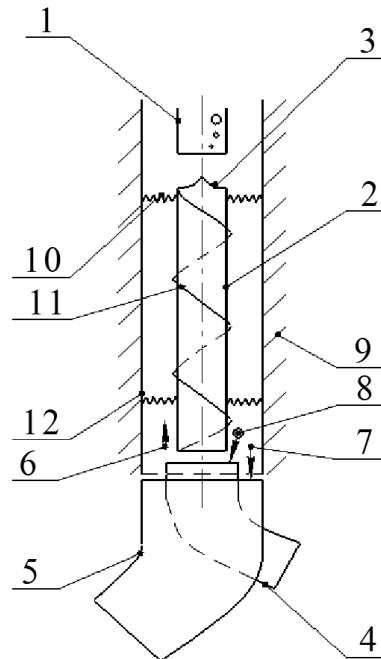
Доцільно застосовувати також процес вібрації спільно з іншими безперервними механічними видами обробки: наприклад, при обробці методом безперервного зворушення; в умовах об'ємного стискання в процесах ущільнення дисперсних структур [112-114].

У цілому, доцільність обробки насіння з використанням вібрації полягає в тому, що цей процес є найбільш ефективним механічним засобом регулювання динамічного стану продукції при здійсненні різних технологічних задач. Унаслідок коливного руху в процесі вібрації спостерігають складні траєкторії руху часток робочого середовища; розділення продукції в залежності від декількох фізико-механічних властивостей; перемішування маси сировини та контакту з тепло- або холодоносієм, що знаходять використання в широкому спектрі технологій зберігання.

### **1.3.1 Віброаспіраційний сепаратор**

Розвитком представленого вище сепаратора стала розроблена конструкція віброаспіраційного сепаратора, що дозволила поліпшити якісні характеристики фракціонування при обробці насіння олійних культур, зокрема соняшнику [116-123]. Даний сепаратор складається з живильного патрубку 1 (рис. 1.33), з якого насінневий матеріал 3 надходить до центральної труби 2, яка монтується в опорних вузлах 9 типу «труба у трубі». На трубі із зовні розташовані парусні елементи 11, які представляють собою спіраль у вигляді

синусоїди. Вісь спіралі розташована під кутом  $45^\circ$  до повздовжньої осі труби. Центральна труба має гнучкий зв'язок з нерухомим осьовим каналом 12 сепаратора через пружні елементи 10. У нижній частині роздільної установки розташовані патрубки 5 і 4 для приймання відповідно середньої та важкої фракцій [57, 124].



1 – живильний патрубок; 2 – центральна труба; 3 – насіння, що надходить до розподільника; 4 – патрубок для виведення важкої фракції; 5 – патрубок для виведення середньої фракції; 6 – насіння легкої фракції; 7 – насіння середньої фракції; 8 – насіння важкої фракції; 9 – опорний вузол центральної труби; 10 – пружний елемент; 11 – парусний елемент; 12 – центральний канал сепаратора

Рисунок 1.33 – Принципова схема віброаспіраційного сепаратора

При роботі сепараційної установки за рахунок дії витяжного вентилятора потік повітря тисне на парусні елементи 11, які розташовані на зовнішньому боці центральної труби розподільника, що змушує трубу рухатися одночасно поступально в осьовому напрямі та обертатися навколо вертикальної осі сепаратора. Наявність пружних елементів 10 призупиняє даний рух та спрямовує у протилежний бік, повторюючи цикл дії силових факторів. Таким

чином, у розробленій системі утворюється автоколивальний режим руху за достатньо простої конструкційної реалізації процесу.

Постійний за силою потік повітря через парусні елементи призводить до накладання на центральну трубу сепаратора вимушених коливань, що утворює відцентрове поле. Унаслідок останнього ефекту рушійна сила досліджуваного процесу підвищується, розганяючи насінини різної фракції, що відрізняються за масою до різних швидкостей. Відповідно змінюються траєкторії руху часток продукції, тобто має місце їх розщеплення, що дає змогу підвищити ефективність розділення насінин різних фракцій [57, 124, 125].

У залежності від маси насінини спрямовуються або у патрубок для виведення середньої фракції 5, діаметр якого 200 мм, або у патрубок для виведення важкої фракції 4, діаметр якого 80 мм. Насінини легкої фракції 6, маса яких до 40 мг, достатньо легко підхоплюються потоком повітря у протилежний бік та збираються окремо, завершуючи робочий цикл сепарації насіннєвого матеріалу.

Отже, особливостями розробленої системи є:

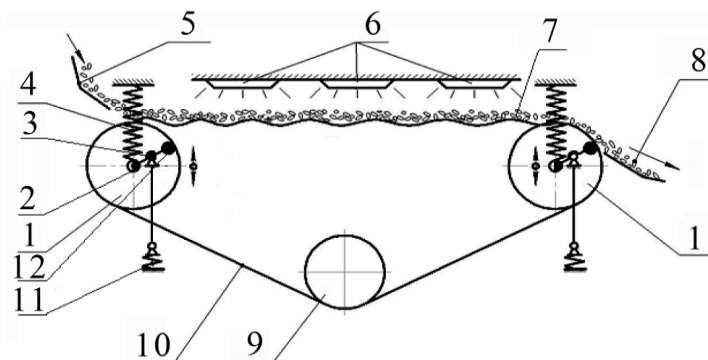
- мінімізація витрат, так як автоколивальний режим, що створюється, не вимагає застосування спеціального приводного механізму;
- для підтримання автоколивального режиму витрачається тільки невелика частина потужності нагнітального вентилятора;
- простота конструкції та мінімальні витрати на модернізацію, що передбачає тільки забезпечення рухомості центральної труби за рахунок монтування опорних вузлів типу «труба в трубі»: реалізує тертя ковзанням; встановлення пружного зв'язку між центральною трубою розподільника та вертикальним каналом сепаратора.

### **1.3.2 Інфрачервона сушарка**

Розроблена сушарка (рис.1.34) із застосуванням інфрачервоного випромінювача поєднує стрічковий конвеєр та вібраційну технологічну машину. Механічні віброприводи, що умонтовані всередині вальців 1 і 2, за рахунок

наявності ексцентрикового приводного вала забезпечують кінематичний спосіб генерації коливань, створюючи умови для безперервної обробки продукції, забезпечення її зваженого стану та зменшення коливних мас вібробудувача. Валець 9 забезпечує необхідний натяг гнучкої стрічки [83, 102, 103, 126, 127].

Коливання робочих вальців із заданими амплітудними та частотними характеристиками створює на поверхні гнучкого елемента механічну хвилю, що забезпечує просування сипкої продукції вздовж зони обробки в умовах інфрачервоного опромінення. Розпушення маси продукції під дією знакозмінних навантажень призводить як до зменшення внутрішнього тертя та в'язкості у технологічному середовищі, так і до пошарового перемішування та забезпечення рівномірної теплової обробки сипкої продукції [64, 103, 126, 128].



- 1 – вальці; 2 – вісь вальця; 3 – ексцентриковий приводний вал;  
 4 – пружна підвіска; 5 – живильник; 6 – випромінювачі; 7 – насіння;  
 8 – приймальний бункер насіння; 9 – натяжний коток;  
 10 – еластична стрічка; 11 – віброопора; 12 – противага

Рисунок 1.34 – Інфрачервона сушарка з віброхвильовим транспортуючим елементом

Ексцентриковий вал опирається на опорний вузол вібробудувача, що через пружні елементи зв'язаний з рамою установки. Противаги зрівноважують інерційні зусилля в кінематичному вібробудувачі. При обертанні при-

водного ексцентрикового валу, що розміщений всередині вальців, останні приводяться до вібраційного руху, який дає можливість при підбиранні певних параметрів за частотою та амплітудою створити на поверхні стрічки динамічну хвилю (стоячу або біжучу), що дозволяє у зоні інфрачервоного сушіння здійснювати як транспортування сипкої продукції, так і перемішування її шарів. Окрім того, при варіюванні параметрами вібрації двох віброзбуджувачів, що знаходяться у вальцях, можна змінювати швидкість просування продукції у робочій зоні та інтенсивність її перемішування.

Розпушення маси продукції під дією знакозмінних навантажень призводить як до зменшення внутрішнього тертя та в'язкості у технологічному середовищі, так і до забезпечення рівномірної теплової обробки сипкої продукції.

Розроблена віброконвеєрна сушарка з інфрачервоним опромінюванням продукції являє собою поєднання стрічкового конвеєра та вібраційної технологічної машини з комбінованим кінематичним способом генерації коливань, створюючи умови для безперервної обробки продукції, забезпечення її зваженого стану та зменшення коливних мас вібропривода.

Агрегатований кінематичний віброзбуджувач в опорному котку сушарки дозволяє зменшити коливну масу привода та передбачає нівелювання паразитних коливань за допомогою пружних елементів. Така схема приводного органа разом із наявністю хвильового конвеєра з деформувальним транспортуючим елементом дозволяє значно удосконалити систему зрівноваження вібраційного привода сушарки.

Таким чином, застосування запропонованої конструкції вібраційної сушарки з кінематичним методом віброзбудження дасть можливість значно інтенсифікувати процес видалення вільної та фізично зв'язаної вологи за рахунок створення псевдозваженого стану оброблювального матеріалу, зменшити метало- та енергоємність апарата та забезпечити умови ефективного зрівноваження даної коливальної системи

### 1.3.3 Пневмоімпульсний барботер для зворушення насіння при зберіганні

Одним із ефективних засобів нівелювання пошкодження та псування насіння зернової продукції через злежування, мікробіологічне ураження під час зберігання є регулярне зворушення та розпушування сипких мас. Для реалізації цього процесу, як правило, використовуються механічні знаряддя у вигляді гвинтових, шнекових та інших перемішуючих виконавчих органів. Застосування таких механізмів відзначається простотою та порівняно високою надійністю, проте такі фактори, як висока метало- та енергоємність, можливість ураження корозією, необхідність монтування спеціальної транспортної траси для доступу до різних ділянок місць зберігання зерна часто значно обмежують або унеможливають їх використання [78, 129-134].

Високою конкурентоспроможною здатністю у даному аспекті процесів зберігання володіють пневматичні системи зворушення. Такі схеми не передбачають контакту продукції з механічними робочими органами, мають можливість діяти на великі масиви продукції, відзначаються простотою механізації та автоматизації режимів експлуатації і регулювання параметрів технологічної дії. Проте існуючі пневматичні методи розпушування сипких мас є достатньо ефективними у транспортних системах, так як у даних технологічних середовищах спостерігається висока дисипація енергії, що призводить до великих енерговитрат на процес при недостатній ефективності розпушування по шарах продукції.

Підвищити ефективність дії на сипкі дисперсні середовища дозволяють пневмодинамічні системи зі змінним робочим тиском. Відомі такі імпульсні пневмогенератори, що застосовуються для подрібнення твердотільних дисперсних мас або видалення небажаних відкладень на поверхнях виробів. Ефективна руйнівна дія таких машин поєднується з порівняно високими енерговитратами на процес та складністю регулювання робочих режимів [44, 47, 135-137].

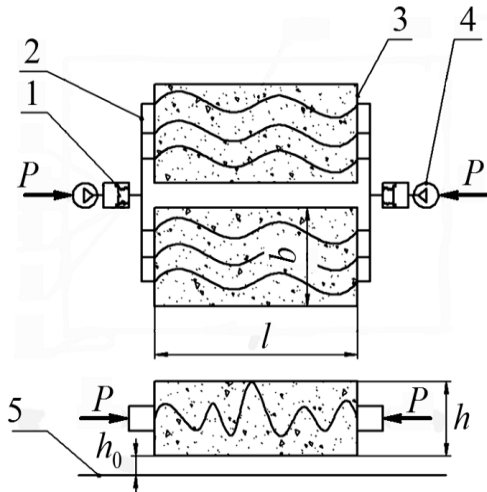
Розроблений пневмоімпульсний зворушувач зернової маси поєднує позитивні риси представленого вище устаткування. Основними його елементами є піддони 1 (рис.1.35, рис. 1.36) для розміщення продукції, генератор змінних за тиском імпульсів потоку повітря, колектори для розподілення пневмопотоків до сипкого середовища. Наявність діафрагми та пружних елементів забезпечують періодичне відсікання та ущільнення пневмокамери з нагнітальним контуром вентилятора .

Зернова продукція розміщується на певній відстані від підлоги, що значно зменшує можливість накопичення вологи нижніми шарами зернової маси. Нижню опорну поверхню піддона рекомендується виконувати металевую з метою поліпшення умов зберігання зерна.

При роботі генератора стиснуте повітря з тиском  $P_1 = 0,2 \dots 0,3$  МПа подається до робочої пневмокамери, тиск у якій швидко зростає та притискує діафрагму до сідла. Швидкість і сила притискання залежить від жорсткості пружних елементів та може регулюватися звичайною натяжною гайкою. При досягненні заданого тиску діафрагма відходить від сідла та пропускає потік повітря до соплового пристрою на вході до колектора. Можна використовувати сопловий пристрій Лавалю для підвищення пневмодинамічної дії на продукцію. Утворений імпульс потоку повітря формує пневмодинамічну хвилю у дисперсному середовищі за осьовим напрямком. Після вирівнювання тиску пружина повертає діафрагму до кільцевого сідла. Стиснуте повітря подається у робочу пневмокамеру безперервно, що забезпечує циклічність представленого процесу генерації імпульсів тиску [138-140].

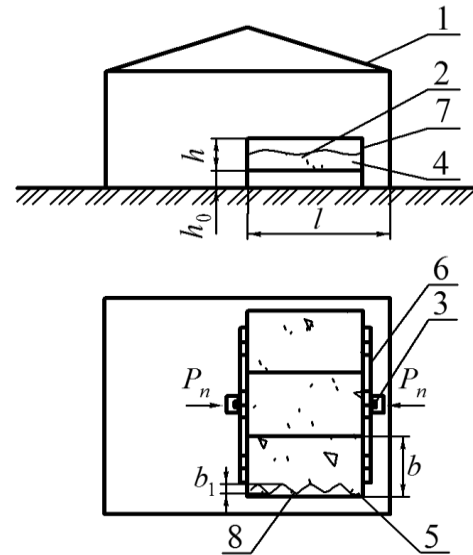
Проте утворена динамічна хвиля відзначається низькою ефективністю розпушування зернової маси у радіальному напрямі, тому передбачається створювати зустрічні пневматичні хвилі. Опозитне розташування розроблених пневмоімпульсних барботерів (рис.1.35) дозволяє завдяки суперпозиції зустрічних хвиль створити стоячу хвилю, яка має змогу передавати енергію у поперечному напрямі відносно спеціальних вузлових точок, що розташовуються на осьовій лінії розповсюдження хвилі. Така специфіка представленої

імпульсної пневмодинамічної дії дозволяє ефективно зворушувати зернову масу як у повздовжньому, так і у поперечному напрямках. Координатне розміщення джерел пневматичних потоків по площині та висоті піддонів дає можливість ефективно здійснювати зворушення у великих масивах продукції.



1 – пневмоімпульсний барботер; 2 – колектор; 3 – піддон;  
4 – вентилятор; 5 – підлога

Рисунок 1.35 – Пневмоімпульсний зворушувач зернової маси



1 – зерносховище; 2 – піддон з продукцією; 3 – імпульсний пневмогенератор (барботер); 4 – зернова маса; 5 – оброблений шар продукції; 6 – колектор; 7 – стійка; 8 – робоча пневмодинамічна хвиля

Рисунок 1.36 – Схема розташування піддонів з продукцією при зберіганні

Таким чином, можемо очікувати такі технологічні переваги:

- дане розташування пневмоімпульсного генератора дозволяє реалізувати переваги використання стоячої хвилі для зворушення зерна по всій площі піддону, що було відзначено вище;

- розташування піддону на певній відстані від підлоги нівелює насичення вологою зернової продукції знизу, де має місце максимальна концентрація вологи;
- виведення вологи, що утворюється за рахунок конденсації через перепад температур у сховищі, здійснюється шляхом поєднання розробленого процесу зворушення, що виводить вологу на поверхню зернового шару; з розробленим процесом централізованої вентиляції потоком холодоносія, який виводить вологу з поверхні зернового шару назовні із зерносховища;
- опорна поверхня піддону виготовляється із металу, що по периметру оббивається листовим металом для збільшення несучої здатності конструкції та можливості закріплення системи піддонів на спеціальних опорних стійках.

Серед конструктивно-технологічних засобів інтенсифікації основних процесів досліджуваної системи зберігання використовували три їх схеми реалізації: вібраційні, хвильові та пневмодинамічні імпульсні, які поєднують одну фізичну природу, що полягає у знакозмінній дії на сипкі технологічні середовища. Вібраційні ефекти були застосовані при наведенні у аспіраційному каналі сепаратора автоколивального режиму, за якого на частки насіння обертовий знакозмінний момент сили, що сприяло наданню їм спіралевидної траєкторії руху до приймальних бункерів, сприяючи більш чіткому розділенню фракцій. У процесі інфрачервоного сушіння насіння олійних культур розроблений вібраційний рушійний орган дозволив створити на поверхні гнучкого вантажонесучого пристрою біжучу хвилю та успішно регулювати її параметри, що дало можливість одночасно із транспортуванням сипкої маси у робочій зоні здійснювати перемішування її шарів, нівелюючи високі термонапруги на поверхневий шар та забезпечуючи рівномірність тепломасообмінної обробки. У процесі зворушення насінневого зернового матеріалу у сховищі була застосована схема пневмоімпульсної дії на сипке середовище, що дозволило за порівняно низьких енерговитрат створити стоячу хвилю, енергія якої значно інтенсифікує контактну взаємодію потоку холодоносія всередині зернової маси.

## 1.4 Обґрунтування структурної схеми системи зберігання

Технічною системою зберігання можна вважати сукупність спільно взаємодіючих елементів або об'єктів системи, які взаємоузгоджені та функціонують з метою виконання заданих технічних задач. Вказаними елементами є ланки, кінематичні пари, з'єднання, механізми, машини, системи керування технологічним процесом, що реалізують об'єкти системи.

У технічних засобах механізації широко застосовується поняття технологічної системи як сукупність функціонально взаємопов'язаних засобів технологічного оснащення, предметів виробництва та виконавців для здійснення в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів або операцій. А в межах досліджуваної системи за функціональними ознаками можна виділити складові достатньо високого рівня, які будемо називати підсистемами досліджуваної структури.

Структуру технологічного процесу переробки продукції сільського господарства можна ототожнити з технологічною системою, що реалізує власне технологічну дію та містить об'єкт технологічного впливу, в якості якої виступає сільськогосподарська сировина чи продукція; взаємозв'язки між складовими процесу, необхідні для його нормального функціонування.

Технологічна дія дозволяє надати об'єкту виробництва необхідні споживчі властивості внаслідок зміни фізико-механічних та біологічних властивостей вихідної сировини з метою: виділення з продукту речовин, що є цінними в харчовому або технічному плані; підготовки якісної сировини до споживання, переробки або зберігання; отримання харчових продуктів, кормових мас або речовин з новими технологічними властивостями [141-143].

В якості об'єкта обробки були обрані: пшениця, соняшник та соя. Дана рослинницька продукція істотно різниться за своїми фізико-механічними властивостями, дозволяючи реалізувати комплексний підхід при виборі засобів механізації для ефективного функціонування досліджуваної системи зберігання сільськогосподарської продукції.

Виробничі властивості досліджуваної сільськогосподарської сировини, отриманих напівфабрикатів чи готової продукції як об'єкта первинної переробки та зберігання в якісному відношенні визначаються певними вимогами до кольору, смаку, запаху, вітамінного складу, біологічної активності, стійкості до несприятливих умов середовища (з агресивними елементами, в умовах високих або низьких температур, підвищеного тиску тощо), збереженості, транспортабельності та інших якісних показників. В кількісному відношенні дані властивості являють собою чисельні значення технологічних параметрів, що характеризують стан об'єкта переробки та зумовлюють особливості обладнання для обробки харчової сировини.

Така структурна інтерпретація найбільш близько формує досліджувану систему зберігання сільськогосподарської продукції. Серед структурних елементів системи можна відзначити фізичні процеси зберігання вихідних якісних властивостей сировини, послідовність та механізм застосування процесів обробки, засобів механізації для їх реалізації, а також фактори, що інтенсифікують представлені процеси. Зокрема, використання низькочастотних коливань та інфрачервоного випромінювання при сушінні, технологій низькотемпературної та дифузійної обробки сировини. Дані структурні складові не тільки забезпечують функціонування системи, але й техніко-економічну ефективність її реалізації, що визначається у мінімізації енерго- та матеріаловитрат при максимальному збереженні вихідних якостей продукції.

Формування основних принципів створення системи зберігання сільськогосподарської продукції складається із забезпечення трьох основних схем функціонування її елементів (рис.1.37): раціональний взаємозв'язок між базовими характеристиками системи; застосування ефективних схем зберігання сировини; забезпечення екологічної безпеки системи.

Серед конструктивних аспектів ефективного функціонування проектованої системи зберігання насіння зернових і олійних культур (рис.1.38) можна відзначити: раціональне співвідношення продуктивності, прямих експлуатаційних витрат та нормативних показників якості продукції; раціональне

поєднання технологічних і транспортних рухів; мінімізація витрат при експлуатації техніки; комплексна механізація та автоматизація устаткування; максимальна надійність елементів конструкцій; компактність обладнання або мінімізація площі, що займає устаткування; реалізація декількох технологічних процесів при обробці продукції; раціональне поєднання простоти конструкції та технологічної ефективності; простота та ефективність керування режимами обробки продукції [144].

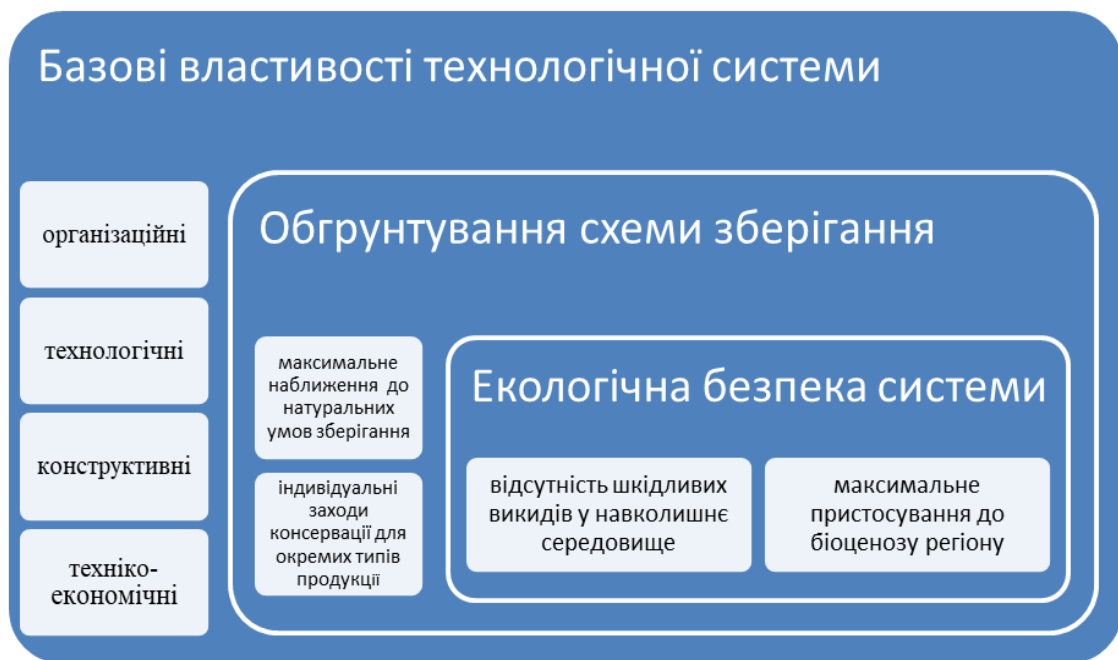


Рисунок 1.37 – Основні принципи формування проектованої системи зберігання насіння зернових і олійних культур

Представлені аспекти при формуванні принципів побудови та функціонування досліджуваної системи прослідковуються у дисертаційній роботі при розробці кожного з її елементів.

При виконанні основних задач даної наукової роботи була розроблена методика, що відображає наступну послідовність операцій для реалізації проектованої системи: підготовку до процесів зберігання; вибір базових операцій з консервації сировини, обґрунтування та застосування інструментів

для інтенсифікації процесів; оцінку якісних характеристик сировини для підтримання необхідних режимів зберігання (рис.1.39).

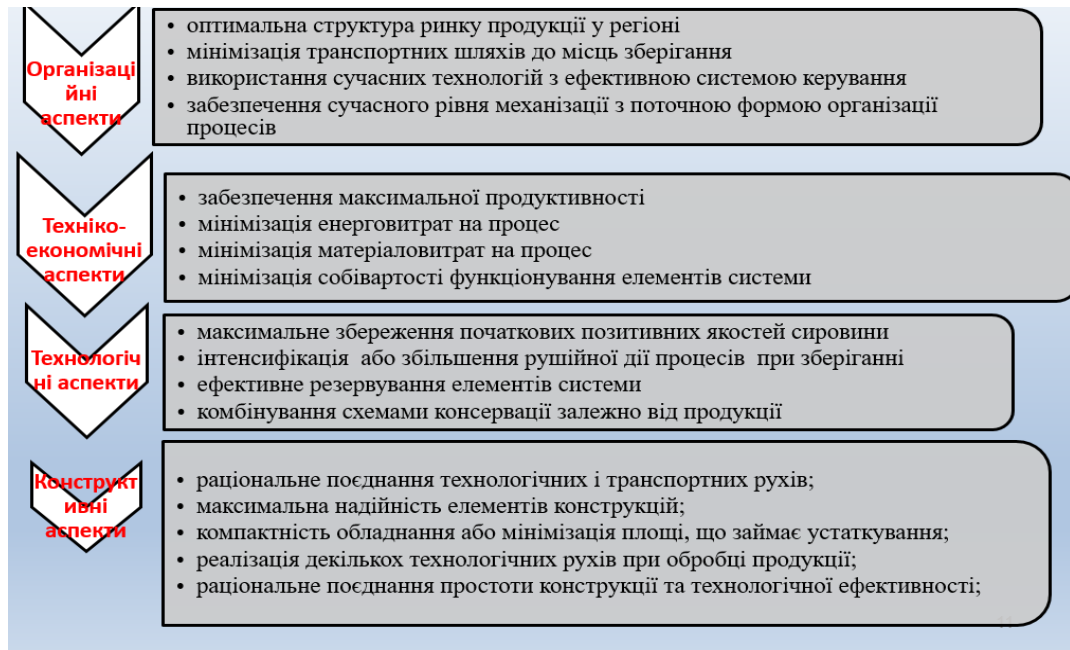


Рисунок 1.38 – Основні аспекти ефективного функціонування елементів системи зберігання



Рисунок 1.39 – Організаційні напрями реалізації системи зберігання насіння зернових і олійних культур

При технологічному обґрунтуванні проекрованої системи зберігання насіння зернових і олійних культур виходили із наступних аспектів:

- чітке розділення продукції на насіннєвий та продовольчий матеріал, для яких передбачається спеціальний обсяг технологічної дії;
- базовими при зберіганні є операції низькотемпературної консервації для насіння зернових культур та високотемпературної консервації – для насіння олійних культур;
- основним інструментом інтенсифікації наведених технологічних процесів є застосування вібраційних, хвильових та імпульсних ефектів, які забезпечують мінімальний механічний вплив на продукцію за порівняно невисоких енерговитратах і достатньо високих значень рушійних сил досліджуваних процесів.

При реалізації проекрованої системи зберігання зернових і олійних культур відзначаємо наступні 3 основних етапи обробки сировини (рис.1.40, 1.41):

1 етап: підготовка продукції до зберігання;

2 етап: обробка насіннєвого матеріалу;

3 етап: обробка насіннєвого матеріалу.

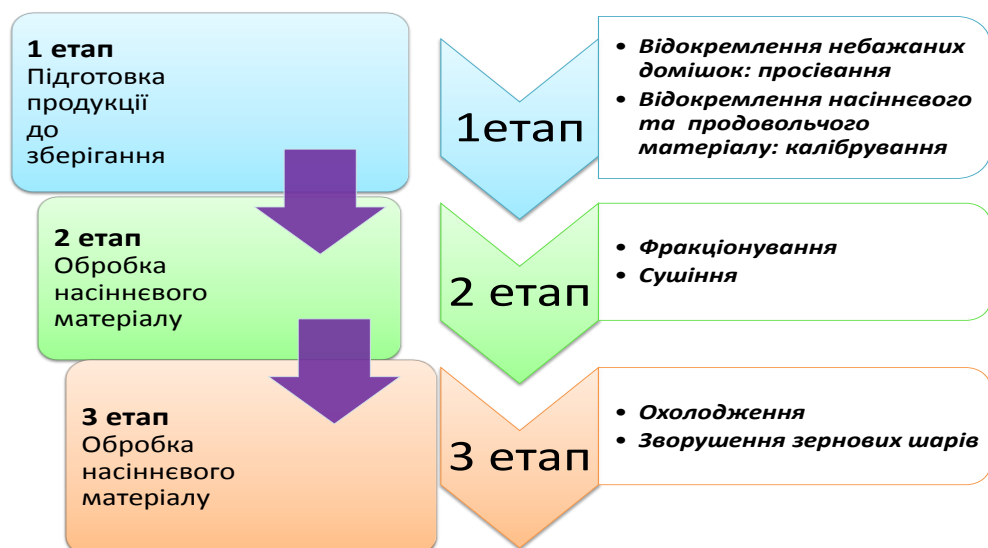


Рисунок 1.40 – Структурна схема розробленої системи зберігання

На першому етапі відбувається відокремлення небажаних домішок за рахунок просівання; відокремлення насіннєвого та продовольчого матеріалу при застосуванні калібрування та фракціонування. Другий етап передбачає обробку насіннєвого зерна за використання фракціонуючих установок та високотемпературну консервацію при допомозі конвеєрних вібраційних сушарок. На третьому етапі здійснюється обробка насіннєвого матеріалу шляхом активного вентиляювання холодоносієм та зворушення сипкої маси у процесі зберігання.

Підвищення ефективності представлених процесів досягається за рахунок використання вібраційних та хвильових ефектів, які спрямовані на підвищення контактної взаємодії часток сипких мас з енергоносієм, мінімізації енерго- та матеріаловитрат при забезпеченні необхідних якісних параметрів зернової продукції.

При реалізації фракціонування насіннєвого матеріалу передбачається застосовувати розроблену конструкцію віброаспіраційного сепаратора, в якій створення автоколивального режиму обертового руху центральної труби розподільника збільшує відцентрові сили частки продукції та підвищує чіткість розщеплення фракцій до 40%.



Рисунок 1.41 – Основні технологічні ефекти при реалізації заходів механізації розробленої системи зберігання насіння зернових і олійних культур

Застосування віброхвильового інфрачервоного сушіння для обробки насінневого матеріалу разом з інтенсифікацією процесу дозволяє реалізувати поточний режим експлуатації устаткування. Розроблений віброхвильовий рушій при здійсненні міжопераційного транспортування продукції дає можливість перемішувати сипку масу, постійно оновлюючи шари сипкого матеріалу, значно зменшити термічну напругу на верхні шари продукції та забезпечити рівномірність обробки. Деформувальний вантажонесучий орган сушарки дозволяє до 10 разів зменшити металоємкість та до 6 разів – енергоємність устаткування порівняно із віброконвеєрними сушарками, що містять металевий остов із вмонтованими електромагнітними віброзбуджувачами для забезпечення переміщення часток продукції з підкиданням, зокрема для установок типу СВІК (Росія).

Низькотемпературна консервація у межах проектованої системи зберігання поєднує комплексну реалізацію двох процесів: зворушення сипкої маси при допомозі розроблених пневмодинамічних імпульсних барботерів, які монтуються опозитно один одному у торцевих стінок піддонів з продукцією, що зберігається; активне вентилявання холодоносієм, що централізовано здійснюється у зерносховищі, виносить утворену вологу та мінімізує ймовірність виникнення небажаних мікробіологічних реакцій.

### **1.5 Теоретичний аналіз досліджуваних процесів зберігання з імпульсними засобами їх інтенсифікації**

Модель циркуляційного руху сипкого матеріалу [59] представляється у вигляді ланцюга дискретних шаровидних мас, вільно розташованих у зоні обробки та пов'язаних між собою дуже м'якими пружними елементами. Коливна поверхня вантажонесучого робочого органу при моделюванні процесу віброхвильового транспортування насінневого матеріалу здійснює імпульсний рух у площині найбільшого скочування, кінематичні характеристики якого залежать від дугової координати  $S$  точки поверхні. Взаємодія мас  $m$  шару завантаження

виражається силами натягу та стиску відносно м'яких пружин жорсткістю  $C_k$  ( $C_{k-1}$ ,  $C_{k+1}$ ) та описується таким рівнянням руху  $k$ -того елементу шару:

$$m_k \dot{v}_k = -mg \sin \alpha_k + R_{k-1} - R_{k+1} - F_k, \quad (1.1)$$

де  $R_{k-1} = C(S_{k-1} - S_k + a)$ ;  $k = 1 \dots n$ ;  $R_{k+1} = C(S_k - S_{k+1} + a)$ ;  $R_{k-1}$ ,  $R_{k+1}$  – пружні сили  $(k-1)$  та  $(k+1)$ -того елементу;  $F_k$  – вираз для змушуючої сили;  $S_k$ ,  $v_k = \dot{S}_k$  – відповідно дугова координата та швидкість вібропереміщення  $k$ -тої маси;  $a$  – відстань, за якої пружні елементи є недеформовані.

За такої моделі сила взаємодії між масами та відповідно щільність розподілу мас  $m$  лінійно зростає по мірі наближення до стінки, що краще описує процес.

Для переміщення шару сипучого матеріалу у безвідривному режимі його пошаровий рух залежить від швидкості часток завантаження та їх координат у поперечному перерізі поверхні, яка коливається. Амплітуда вертикальної складової коливань часток зменшується по мірі віддалення від віброуючого днища. Перепад тиску повітря відносно рухомого шару продукції призводить до переривання режимів руху з інтенсивним підкидуванням матеріалу. При цьому співударання часток середовища між собою та тертя їх по стінках віброуючої ємкості виявляють вплив на швидкість руху шару завантаження у поздовжньому напрямку. Комплексна дія відзначених факторів адекватно не можуть бути описані представленими простими моделями сипучого шару.

При врахуванні сил тертя та зчеплення [111] сипучий матеріал у безвідривному режимі може рухатися як одне ціле, коли коефіцієнт тертя середовища  $f_0$  по коливній поверхні виявляється меншим за певне граничне значення  $f_{гр}$

$$f_0 < f_{гр} \frac{k}{h\rho(\ddot{x} + g \cos \alpha)}, \quad (1.2)$$

де  $f$  – коефіцієнт внутрішнього тертя;  $h$ ,  $\rho$  – товщина та щільність шару завантаження;  $k$  – коефіцієнт зчеплення часток середовища.

При  $f_0 < f_{гр}$  в усіх точках маси завантаження виконується умова

$$\tau < f\sigma + k, \quad (1.3)$$

де  $\sigma, \tau$  - нормальна та дотична напруги.

За умови  $f_0 > f_{гр}$  можливий пошаровий рух. В процесі руху технологічне середовище спочатку у пружному стані змінює свої властивості через деформації окремих часток, а в пластичному – в результаті зсувів вздовж поверхонь ковзання, на яких має місце повна дотична напруга  $\tau < f\sigma + k$ , що за напрямком співпадає з вектором головної швидкості деформації зсуву.

Представлена модель може бути придатна для опису руху маси продукції, що у результаті злежування та впливу зайвої вологості при зберіганні набуває зв'язно сипкого стану.

Враховуючи, що маси завантаження представляється у вигляді непружної матеріальної точки, в якій зосереджувалася вся маса наповнювача вібромашини та враховувалися тільки сили сухого тертя, а процес співударянь завантаження з опорною поверхнею приймався миттєвим. У даній моделі переміщення технологічного середовища розділялось на дві фази: в контакт з вантажонесучим органом та при вільному переміщенні. Така модель дозволяє порівняно просто знайти кінематичні характеристики вібротранспортування та ускладнює оцінку силових параметрів процесу.

Розвиток даних моделей визначив необхідність експериментальних даних для їх уточнення, зокрема стосовно характеру співударянь завантаження з віброуючою поверхнею при врахуванні опорів середовища на етапі його вільного переміщення. Це дозволило з достатньою точністю розрахувати швидкість транспортування завантаження в різних режимах при мінімальних динамічних навантаженнях за умов відсутності зворотного проковзування або проковзування взагалі [111]. Проте для машин, що працюють під великим навантаженням, має місце істотний вплив взаємодії технологічних мас з робочими органами вібраційної установки, який не враховується у моделюванні. Нерідко динамічні навантаження у системі формуються залежно від закону руху матеріалу у робочій зоні машини.

Для вирішення даної проблеми у роботах [106, 113] був використаний метод “приєднаної маси” технологічного завантаження до маси робочого ор-

гана. Дана модель зводиться лише до розрахункового збільшення маси виконавчих елементів віброна машини, тому є достатньо простою, проте взагалі не відображає сутності процесу вібраційного транспортування.

Технологічне завантаження моделювалось матеріальною часткою, маса якої на ділянці сумісного руху миттєво приєднується до маси вантажонесучого органу [131]. Вплив завантаження, як розтягнуте співударяння з вібруючою поверхнею, в якому “приєднана маса” визначається з урахуванням режиму роботи вібраційної машини. Для опису даної взаємодії була розроблена логічна система рівнянь, які описують стан об’єкту “віброна машина-завантаження” в кожному із можливих її положень.

Роботи [45, 46] передбачають враховувати інерційні властивості технологічного завантаження, що здійснюється за допомогою нелінійного елемента

$\Gamma = \frac{A\omega^2}{g}$ , який однозначно визначає фазні кути відриву  $\varphi_0$  та зустрічі  $\varphi_3$  продукції з виконавчим органом машини, представляючи масу завантаження у вигляді:

$$\left. \begin{array}{l} m_3, \varphi = [0; \varphi_0] \\ m_3(\ddot{x}) = 0, \varphi = [\varphi_0; \varphi_3] \\ m_3, \varphi = [\varphi_3; 2\pi p] \end{array} \right\}, \quad (1.4)$$

де  $p = 1, 2, 3, \dots$  – число кратності періоду руху робочого органу та технологічного завантаження.

Коефіцієнт, що враховує приєднання маси технологічного завантаження за період коливань, складає:

$$k_m = \frac{1}{2\pi p} (2\pi p - (\varphi_3 - \varphi_0) + \frac{1}{2} (\sin 2\varphi_3 - \sin 2\varphi_0)) \quad (1.5)$$

Дисипативні властивості завантаження інтегрально можуть бути визначені квазістаціонарним коефіцієнтом  $\alpha$ :

$$\alpha = m_3 \left( \frac{a}{A} \right) \omega = m_3 \beta \omega, \quad (1.6)$$

де  $a = \frac{\omega}{\rho}$  - відношення частоти вимушених коливань млина до швидкості

розповсюдження хвиль деформації;  $\beta = \frac{a}{A}$  - експериментальний коефіцієнт, що

залежить від фізико-механічних властивостей технологічного завантаження та режиму коливань приводного механізму.

Апроксимування сипучого тіла одиничною часткою дозволяє оцінити поведінку матеріала в цілому, представляючи шар наповнювача як систему з розподіленими параметрами. Технологічне середовище є еквівалентною пружною системою з пружними характеристиками, які можна прийняти постійними тільки для вузького діапазону режимів коливань. Проте, насипний шар являє собою суміш окремих різнорідних часток за розмірами і своїми фізико-механічними властивостями, що приводить до певної анізотропії системи, яка у цілому є нелінійною, оскільки пружні та непружні характеристики матеріалу залежать від режиму коливань і відносний рух часток може відбуватись навіть з порушенням контакту між ними.

При створенні машин і технологій для реалізації процесу зворушення зернових мас, що зберігаються насипом використовують хвилеподібний пневмодинамічний рух, що здійснюється під дією зовнішніх пневмомеханічних сил. Аналіз фізико-математичних основ теорії хвиль в елементах машин, виявлення й вивчення хвильових ефектів відкриває можливості для створення машин нового цільового призначення, що працюють на хвильових принципах, зокрема імпульсного барботування сипкої зернової маси. При наявності біжучих поздовжньо-зміщених хвиль робочі органи машини здійснюють обертовий рух по еліптичних траєкторіях, який залежить від напрямку поширення хвиль і порушеної форми коливань.

Таким чином, проблема адекватного модельного представлення руху маси технологічного середовища є однією з найважливіших при проектуванні вібраційного обладнання, що вимагає вирішення впливу типу незрівноваження коливальної системи на переміщення продукції у зоні обробки, оцінки правильності вибору опорних вузлів та елементів пружної системи за умов

реалізації енергоощадних технологій при мінімізації втрат предмета обробки тобто насіннєвого матеріалу, на що спрямовані розроблені математичні моделі у дисертації.

### **1.6 Мета та задачі досліджень**

Проведений аналіз функціонування сучасних систем зберігання зернової продукції дозволив виявити наступні основні проблеми у конструктивно-му та технологічному аспектах:

- низьку інтенсивність контакту між холодоносієм та частками сипкого середовища при зберіганні, що спонукає до розвитку небажаних мікробіологічних процесів, до злежування та ураження шкідниками;
- високі енерговитрати при реалізації високотемпературної консервації насіння зернової продукції;
- низьку ефективність розділення насіннєвого матеріалу у процесі постановки зернових мас на зберігання;
- високі швидкості насичення вологою зерновим матеріалом у процесі зберігання та, відповідно, низьку ефективність виведення вологи із маси сипкого технологічного середовища;
- відсутність ефективних засобів зберігання для умов малих та середніх фермерських господарств.

Концептуальна ідея роботи полягає у пошуку фізико-механічних чинників підвищення площин поверхонь тепломасообміну при контакті насіння зернової та олійної культури з енергоносієм у процесах її зберігання за рахунок неперервної зміни точок рівноваги часток сировини, швидкісного оновлення контактних поверхонь, варіювання інтервалів температур та вологовмісту у шарах технологічних середовищ за дії гравітаційних та аспіраційних чинників, низькочастотних коливань, інфрачервоного опромінення, вібровідцентрових, віброхвильових, імпульсних силових факторів, які функціонують окремо або комплексно, забезпечуючи реалізацію поставлених технологічних задач.

Дія даних інтенсифікуючих факторів була реалізована у процесах сепарації насіння олійних культур із застосуванням вібрації, інфрачервоного сушіння сипких мас при їх транспортуванні віброхвильовим конвеєром у зоні обробки та активного вентилявання шарів сипкої продукції холодоносієм у зерносховищах, а також при барботуванні імпульсними пневмодинамічними хвилями.

Метою роботи є мінімізація втрат насіння зернових і олійних культур, забезпечення матеріало- та енергоощадності при його зберіганні шляхом наукового обґрунтування системи реалізації низько- та високотемпературної консервації продукції у зерносховищах при використанні розроблених машин віброаспіраційної, віброхвильової, імпульсної пневмодинамічної дій для обробки насіння зернових і олійних культур.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі задачі досліджень:

- на основі аналізу досвіду сучасних технологій та засобів механізації процесів зберігання насіння зернових і олійних культур розробити основні принципи формування системи їх зберігання;
- математичне моделювання досліджуваних процесів зберігання та оптимізація режимних параметрів технологій консервації та експлуатації технологічного обладнання;
- формування плану та вибір методик досліджень, розробка вимірювального оснащення та дослідних установок, реалізація експериментального обґрунтування режимів обробки;
- обґрунтувати основні режимні параметри, провести виробничу апробацію проектного обладнання на підприємствах агропромислового комплексу і на основі техніко-економічного аналізу розроблених процесів та обладнання провести оцінку їх економічної ефективності та конкурентоспроможності.

### **Висновки за розділом 1**

1. Представлена у дисертації народно-господарська проблема вирішена за рахунок використання високоінтенсивних тепломасообмінних тех-

нологій та обладнання при інтенсифікації даних процесів через застосування вібраційних, хвильових, імпульсних фізико-механічних чинників, які забезпечують мінімізацію енерго- та матеріаловитрат при максимальному збереженні вихідних властивостей насіння сільськогосподарської культури.

2. Встановлено пріоритетний розвиток такої продукції, як зернові та олійні культури на основі аналізу процесів вирощування та первинної переробки продукції рослинництва в Україні та у країнах з розвиненою сільськогосподарською інфраструктурою, що дозволило здійснити обґрунтований вибір відповідних об'єктів обробки при розробленні та проектуванні технологічного оснащення для їх зберігання.

3. Встановлено наступні характерні чинники технологій та процесів зберігання зернових та олійних культур: а) існуючі методи не повною мірою відповідають сучасним тенденціям підвищення якісних характеристик означеної сировини за умови її довготривалого зберігання; б) відсутні комплексний та системний підходи до вибору засобів механізації даних процесів; в) використання ефективних методів інтенсифікації тепломасообміну при консервації продукції має випадковий характер.

4. Сформовано основні принципи функціонування та розроблена структура досліджуваної системи зберігання насіння зернових і олійних культур, які ґрунтуються на комплексному застосуванні сучасних технологій високо- та низькотемпературної консервації з хвильовою, віброаспіраційною, гравітаційною та іншими ефективними методами фізико-механічної інтенсифікації процесів тепломасообміну. Реалізація цих процесів передбачає застосування обґрунтованих режимів обробки у залежності від її властивостей і особливостей процесів її зберігання за умови безпеки функціонування даної структури.

5. Обґрунтовані напрями підвищення ефективності зернозберігаючих комплексів із використанням сучасних схем циркулювання конвективних потоків холодоносія, оснащених високопродуктивним сушильним обладнанням, матеріалоощадним устаткуванням для фракціонування насіння.

6. Запропонована конструкційна схема віброаспіраційного сепаратора дозволяє збільшити рушійну силу процесу розділення їх фракції внаслідок

док зростання відцентрової сили, яка виникає у процесі обертання центральної труби розподільника, що поліпшує умови розщеплення потоку насінин на фракції при мінімізації конструкційних модернізацій.

7. Запропонована конструкційна схема конвеєрної інфрачервоної сушарки з віброхвильовим міжопераційним транспортуванням насіння, що дозволяє разом із інтенсифікацією процесу видалення вологи забезпечити рівномірне пошарове перемішування сипкої маси, запобігаючи перегріванню поверхневого шару та поліпшуючи якість обробки; транспортування її вздовж робочої зони без застосування додаткових механічних пристроїв та, відповідно, витрат енергії на їх реалізацію. Дана сушарка дозволяє поєднати позитивні риси потокової форми організації обробки, забезпечення автоматизації виробництва, реалізації інтенсивної інфрачервоної дії в умовах псевдозрідженого шару продукції, створення енергоощадної та рівномірної обробки маси.

8. Запропонований імпульсний пневмодинамічний барботер забезпечує активне зворушення часток сипкого зернового середовища як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках за рахунок генерації зустрічних хвильових потоків охолодженого повітря без використання механічних робочих органів інтенсифікації процесу за достатньо простого та надійного конструкційного виконання.

9. Встановлено, що проблема адекватного модельного представлення руху маси технологічного середовища є однією з найважливіших при проектуванні технологічного оснащення з вібраційним транспортуванням продукції, зокрема у зоні інфрачервоного сушіння, яка вимагає визначення впливу типу незрівноваження коливальної системи на переміщення продукції у зоні обробки, оцінки правильності вибору опорних вузлів та елементів пружної системи за умов реалізації енергоощадних технологій при мінімізації втрат насінневого матеріалу; при моделюванні віброаспіраційного фракціонування необхідно враховувати коріолісове прискорення, що поліпшує умови розділення за вагою фракцій; при моделюванні пневмоімпульсного барботування необхідно забезпечити умови створення стоячої хвилі для зворушення сипкої маси, що зберігається у зерносховищах.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСЛІДЖУВАНИХ ПРОЦЕСІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНОВИХ І ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР

#### 2.1 Теоретичне обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів процесу віброаспіраційного фракціонування насіння соняшнику

Теоретичними передумовами удосконалення процесу вібраційної сепарації сипких мас були роботи [145-148], де вивчався процес сепарації в апараті вертикального виконання за допомогою нелінійної динаміки двофазного середовища, а також досліджувався даний процес з використанням рівняння руху насінини в аеродинамічному середовищі [77, 150]. При вивченні процесу аспіраційної сепарації у змінному повітряному потоці досліджували рух часток у похилому аспіраційному каналі [150].

Подальші дослідження даного процесу виявили, що повітря впливає на траєкторію насінини переважно у момент її руху від внутрішньої стінки до зовнішньої: у центральній частині каналу швидкість повітря максимальна, а біля стінок зменшується, що погіршує умови розділення [95, 143, 149, 151-152]. При цьому нижня зона повітряного потоку як чинник поділу насінневого матеріалу не використовується, хоча внаслідок різної швидкості витання зернових фракцій у даній ділянці розподільника можливо отримати додатковий ефект підвищення чіткості розділення [57, 95, 143, 151, 152, 163].

##### 2.1.1 Динаміка руху фракцій насіння у вертикальному розподільнику

При проектуванні віброаспіраційного сепаратора було сформульовано наступну *робочу гіпотезу*: збільшення рушійної сили процесу фракціонування можна створити за рахунок накладання у системі комбінованої незрівноваженості від дії збурювальних сил, які виникають

внаслідок обертового моменту, що реалізується при здійсненні автоколивального режиму руху центральної труби розподільника.

У поперечному перерізі аспіраційного сепаратора безпосередньо створюються дві сили, що опозитно діють на центральну трубу сепаратора: збурювальні силові фактори  $F_e$ ,  $M_o$  та відновлювальні сили при розтяганні та стисканні пружних елементів  $C_x$ ,  $C_z$ . Збурювальні силові фактори виникають при дії потоку повітря на парусні елементи: сила  $F_e$  при відповідному тиску повітря  $F_n$  і знакозмінний обертовий момент  $M_o$  – завдяки синусоїдальній формі парусного елемента, що призводить до обертання центральної труби [57, 196].

При аналізі вихідних даних для проектування залежності для вказаних силових фактори, що діють у системі:

$$F_{nx} = m_T \cdot l_x \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega_u t); \quad (2.1)$$

$$M_o = F_{nx} \cdot r_T \cdot \sin(\omega_u t), \quad (2.2)$$

де  $m_T$  – маса труби, кг;  $l_x$  – відхилення перерізу центральної труби, м;

$\omega_u$  – кутова швидкість центральної труби розподільника, рад/с;  $r_T$  – радіус центральної труби розподільника, м.

Силу повітряного потоку визначаємо як:

$$F_n = \frac{N_e}{v_n}, \quad (2.3)$$

де  $N_e$ ,  $v_n$  - відповідно потужність вентилятора та швидкість потоку повітря

Відновлювальні сили, що діють у системі являють собою сили пружного опору відносно відповідних осей координат та повороту центральної труби:

$$R_{np} = C \cdot r; \quad (2.4)$$

$$R_{np_x} = C_x \cdot l_x = C_x \cdot x; R_{np_y} = C_y \cdot l_y = C_y \cdot y; M_{np\phi} = C_\phi \cdot \phi, \quad (2.5)$$

де  $l_x, l_y, l_\varphi$  – відповідні відхилення перерізу центральної труби відносно осей координат, м :  $l_x = x, l_y = y, C_x, C_y$  – відповідні коефіцієнти жорсткості пружних елементів, Н/м,  $C_\varphi$  – коефіцієнт жорсткості при обертанні, Н/м

$$\text{Сила тяжіння } G = m_n \cdot g, \quad (2.6)$$

де  $m_n$  – маса відповідних фракцій (важкої, середньої та легкої фракції), мг.

Сила опору повітряного потоку визначали як

$$R = k_c (v_n - v_n)^2, \quad (2.7)$$

$$k_c = c_R \cdot S_n \cdot \frac{\rho}{2}. \quad (2.8)$$

Серед кінематичних параметрів досліджуваного процесу використовували наступні: початкову швидкість насінини, що за результатами експериментальних досліджень процесу сепарації становить швидкість повітряного потоку та кутову швидкість центральної труби розподільника:

$$\omega_u = \frac{v_n}{r_T} = \omega, \quad (2.9)$$

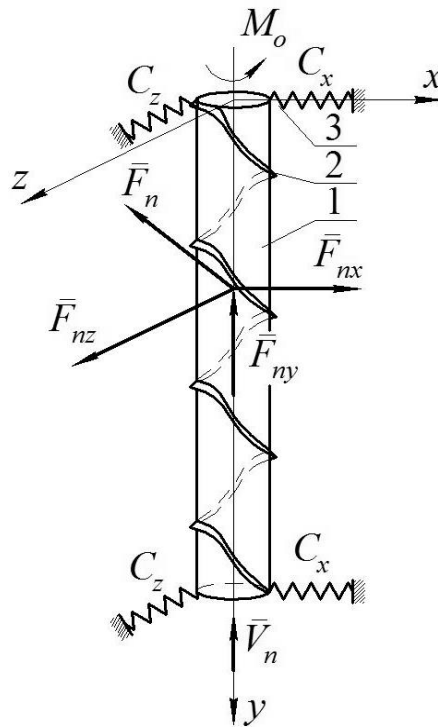
де  $r_T$  – радіус центральної труби сепаратора, м.

Використовуючи представлені параметри досліджуваної системи, були розроблені розрахункові схеми, що представлені на рис. 2.1, 2.2, 2.3. При допомозі останніх проводимо математичний аналіз у наступній послідовності.

Складемо еквівалентну схему руху насінини (рис. 2.2) у горизонтальному перерізі сепаратора, розглядаючи її рух на межі сходу з нижньої частини конуса розподільника, для цього розглянемо вказану площину. Розглядаючи насінину у вигляді матеріальної точки М, моменту її

сходу нижнього кінця сходу розподільника, завдяки тому, що розподільник здійснює автоколивальні рухи, покажемо імовірно траєкторію її можливого руху.

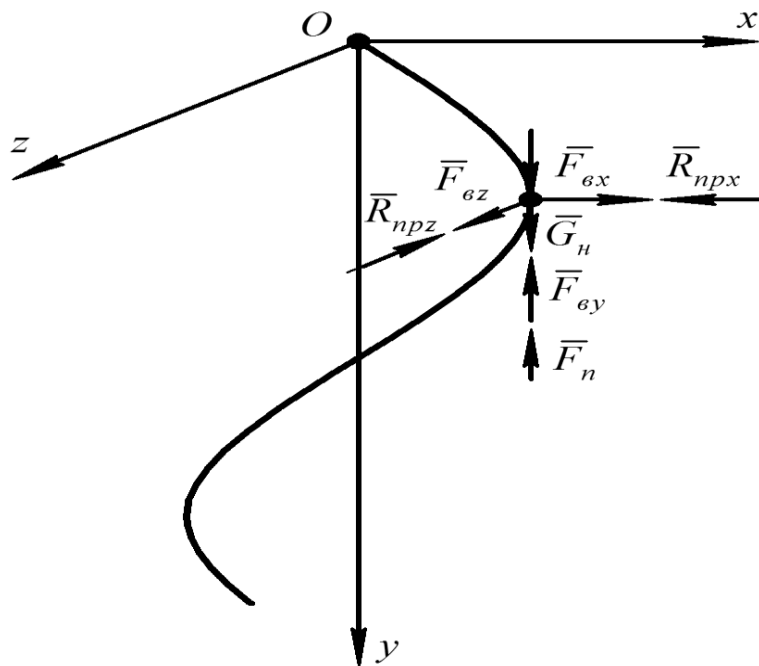
Пов'яжемо з верхньої частиною віброаспіраційного сепаратора нерухому декартову систему координат  $xOyz$ , прикладемо до матеріальної точки  $M$  всі діючі на неї сили. У вертикальному напрямі будуть діяти сила тяжіння  $G$ , сила потоку повітря, опір повітря.



1 – центральна труба розподільника; 2 – парусний елемент; 3 – пружний елемент

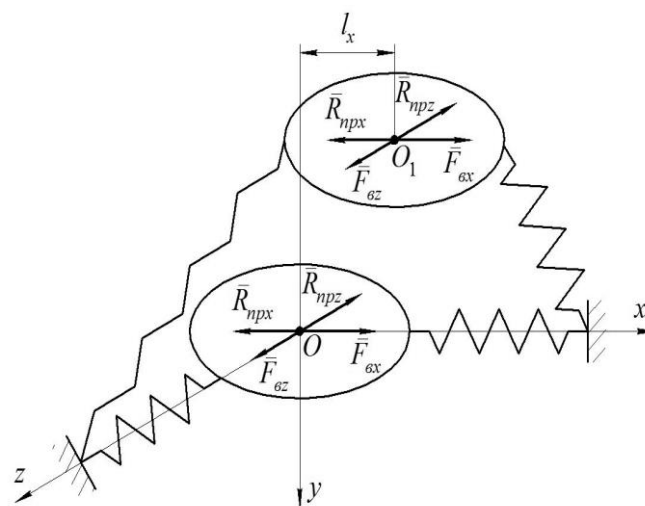
Рисунок 2.1 – Розрахункова схема віброаспіраційного сепаратора

У горизонтальній площині діють такі сили: пружні сили від розподільника, які представлені двома складовими  $R_{прx}$ ,  $R_{прz}$ . У цей момент часу від розподільника на насінину починає діяти збурювальна сила, яку у прийнятій системі координат можливо представити трьома складовими  $F_{вx}$ ,  $F_{вz}$ ,  $F_{vy}$ . Складова  $F_{vy}$  фактично діє у вертикальному напрямі.



1 – насінина; 2 – траєкторія руху насінини;  $F_{вх}$ ,  $F_{вz}$ ,  $F_{вy}$  – складові змушуючої сили  $F_{в}$ , що створює вібрації труби;  $G$  – сила тяжіння насінини;  $R$  – опір повітря;  $R_{пrx}$ ,  $R_{пpz}$  – пружні сили

Рисунок 2.2 – Схема сил, що діють на насінину



1, 2 – переріз відповідно до та після зміщення;  $l_x$  – лінійне зміщення центрального перерізу по осі  $Ox$

Рисунок 2.3 – Схема лінійного зміщення центрального перерізу (що проходить через центр тяжіння  $O$  центральної труби)

Перед початком математичного моделювання приймаємо наступні припущення, що ґрунтуються на досвіді дослідження представлених процесів та обладнання для їх реалізації:

- 1) рух насінини при вході до центрального каналу осьовий прямолінійний;
- 2)  $v_{n0} = 0,7 \dots 0,8 \text{ м/с}$ ;  $\omega_{\omega} = \text{const}$ ,  $\omega_{\omega} = \omega_{\omega y} = \omega$ ;  $\omega_{\omega x} = 0$ ;  $\omega_{\omega z} = 0$ ; (2.10)
- 3) сили опору діють у радіальному напрямі;
- 4) збурювальні силові фактори передаються без дистанції до насінин, що рухаються у центральному каналі.

Використовуючи розроблені розрахункові схеми згідно основного закону динаміки складаємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m_n \ddot{x} &= F_{\epsilon x} - R_{npx}, \\ m_n \ddot{y} &= -F_y + G_n - F_n + R, \\ m_n \ddot{z} &= F_{\epsilon z} - R_{npz}, \\ I_n \epsilon_y &= (F_{\epsilon x} - R_{npx}) z - (F_{\epsilon z} - R_{npz}) x. \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Використовуючи попередній аналіз силових факторів та рис. 2.2, рис. 2.3, маємо:

$$F_{\epsilon x} = m_T l_x \omega^2 \sin \omega t, \quad (2.12)$$

$$R_{npx} = C_x x, \quad R_{npy} = C_y y, \quad (2.13)$$

$$F_{\epsilon y} = m_T l_y \omega^2 \sin \omega t, \quad (2.14)$$

$$F_{\epsilon z} = m_T l_z \omega^2 \sin \omega t, \quad (2.15)$$

$$M_o = F_n r_T \sin \omega t. \quad (2.16)$$

де  $m_T$  – маса труби, кг;  $\omega_{\omega}$  – кутова швидкість центральної труби розподільника, рад/с.

Досліджувана система диференціальних рівнянь набуває вигляду:

$$\left. \begin{aligned} m_n \ddot{x} + C_x x &= m_T x \omega^2 \sin \omega t, \\ m_n \ddot{z} + C_z z &= m_T z \omega^2 \sin \omega t, \\ m_n \ddot{y} &= -m_T y \omega^2 \sin \omega t + G_n - \frac{N_\epsilon}{v_n} - k_c (v_n - v_n)^2, \\ F_n r_T \sin \omega t &= m_n \ddot{z} x - m_n \ddot{x} z = m_n (\ddot{z} x - \ddot{x} z). \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} + \frac{C_x}{m_n} x &= \frac{m_T}{m_n} l_x \omega^2 \sin \omega t, \\ \ddot{z} + \frac{C_z}{m_n} z &= \frac{m_T}{m_n} l_z \omega^2 \sin \omega t, \\ \ddot{y} &= \frac{-m_T}{m_n} l_y \omega^2 \sin \omega t + g - \frac{N_\epsilon}{m_n v_n} - \frac{k_c}{m_n} (v_n - v_n)^2. \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

При максимальних відхиленнях (рис. 2.5)  $\sin \omega t = 0$ ,  $F_{\epsilon x} = R_{npx}$ ,  $F_{\epsilon z} = R_{npz}$  та симетричному навантаженні на пружній системі :

$$m_T \cdot x_{max} \cdot \omega^2 = C_x \cdot x_{max}, \quad (2.19)$$

$$m_T \cdot z_{max} \cdot \omega^2 = C_z \cdot z_{max}. \quad (2.20)$$

Таким чином:

$$C_x = C_z = m_T \cdot \omega^2, \quad (2.21)$$

$$F_{\epsilon x} - R_{npx} = m_T \cdot l_x \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t - m_T \cdot \omega^2 \cdot x = m_T \cdot \omega^2 (l_x \cdot \sin \omega t - x) \quad (2.22)$$

$$F_{\epsilon z} - R_{npz} = m_T \cdot \omega^2 (l_z \cdot \sin \omega t - z). \quad (2.23)$$

Очевидно, що основний вплив на якісні характеристики системи здійснює вібраційний обертовий момент  $M_O$ , тому аналізуємо факторний простір навколо даного параметра.

Знаходимо рішення перших двох рівнянь системи, використовуючи метод Коші:

$$\ddot{x} = \frac{B_2}{m} \cdot \sin \omega t - B_4 \cdot \dot{x} \quad (2.24)$$

$$\ddot{x} + \frac{c_x}{m_h} x = \frac{m_T}{m_h} l_x \omega^2 \sin \omega t \quad (2.25)$$

$$\frac{m_T}{m_h} l_x \omega^2 = F_x, \quad (2.26)$$

$$\frac{c_x}{m_h} = k_x^2. \quad (2.27)$$

Враховуючи ці позначення, отримуємо наступне рівняння:

$$\ddot{x} + k_x^2 x = F_x \sin \omega t, \quad (2.28)$$

$$x = x + x, \quad (2.29)$$

$$x = C_1 \cos k_x t + C_2 \sin k_x t, \quad (2.30)$$

$$x = B_1 \sin \omega t + B_2 \cos \omega t, \quad (2.31)$$

$$(x^*)'' = -B_1 \omega^2 \sin \omega t - B_2 \omega^2 \cos \omega t, \quad (2.32)$$

$$-B_1 \omega^2 \sin \omega t - B_2 \omega^2 \cos \omega t + k_x^2 B_1 \sin \omega t + k_x^2 B_2 \cos \omega t = F_x \sin \omega t \quad (2.33)$$

Прирівнюючи коефіцієнти при однакових тригонометричних функціях, отримуємо наступну систему рівнянь;

$$\left. \begin{aligned} -B_1 \omega^2 + k_x^2 B_1 &= F_x, \\ -B_2 \omega^2 + k_x^2 B_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} B_1(k_x^2 - \omega^2) &= F_x, \\ B_2(k_x^2 - \omega^2) &= 0. \end{aligned} \quad (2.34)$$

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= \frac{F_x}{k_x^2 - \omega^2}, \\ B_2 &= 0; k_x^2 \neq \omega^2. \end{aligned} \right\} \quad (2.35)$$

Таким чином,

$$x^* = \frac{F_x}{k_x^2 - \omega^2} \sin \omega t, \quad (2.36)$$

$$x = C_1 \cdot \cos k_x t + C_2 \cdot \sin k_x t + \frac{F_x}{k_x^2 - \omega^2} \cdot \sin \omega t, \quad (2.37)$$

$$\dot{x} = -C_1 \cdot \sin k_x t \cdot k_x + C_2 \cdot \cos k_x t \cdot k_x + \frac{F_x \cdot \omega \cdot \cos \omega t}{k_x^2 - \omega^2}. \quad (2.38)$$

Враховуючи початкові умови  $x_0 = 0; \dot{x}_0 = v_{x_0} = 0,7 \frac{M}{c}$ , визначаємо постійні інтегрування:

$$C_1 = 0;$$

$$k_x C_2 + \frac{F_x \cdot \omega}{k_x^2 - \omega^2} = 0,7, \text{ тоді } C_2 = \frac{0,7}{k_x} - \frac{F_x \cdot \omega}{(k_x^2 - \omega^2) \cdot k_x}. \quad (2.39)$$

Отже, розв'язок диференціальних рівняння з правою частиною мають вигляд :

$$x = \left[ \frac{0,7}{k_x} - \frac{F_x \omega}{(k_x^2 - \omega^2) k_x} \right] \sin k_x t + \frac{F_x}{k_x^2 - \omega^2} \sin \omega t. \quad (2.40)$$

Перша складова даного рівняння для усталеного режиму наближається до нуля, оскільки вона відображає власні коливання системи, які затухають. Тому отриманий розв'язок набуває вигляду:

$$x = \frac{F_x \sin \omega t}{k_x^2 - \omega^2}. \quad (2.41)$$

Аналогічно доводимо, що:

$$z = \frac{F_z \cdot \sin \omega t}{k_z^2 - \omega^2}, \quad (2.42)$$

$$\text{де } F_z = \frac{m_r}{m_n} l_z \omega^2; \quad (2.43)$$

$$k_z^2 = \frac{C_z}{m_n}. \quad (2.44)$$

Враховуючи рівняння (2.41), (2.42), маємо:

$$\frac{F_x l_z \sin \omega t}{k_x^2 - \omega^2} - \frac{F_z l_x \sin \omega t}{k_z^2 - \omega^2} = \frac{F_n r_T}{m_T \omega^2}. \quad (2.45)$$

Отримуємо:

$$l_z l_x \frac{m_r}{m_n} \omega^2 \sin \omega t \left( \frac{1}{k_x^2 - \omega^2} - \frac{1}{k_z^2 - \omega^2} \right) = \frac{F_n \cdot r_T}{m_T \cdot \omega^2}. \quad (2.46)$$

Відцентрова сила  $\frac{m_T v^2}{r_T}$  виникає при обертанні центральної труби:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}, \quad (2.47)$$

$$F_x = \frac{m_T v^2}{r_T} = \frac{m_T}{r_T} \dot{x}^2, \quad (2.48)$$

$$F_z = \frac{m_T v^2}{r_T} = \frac{m_T}{r_T} \dot{z}^2. \quad (2.49)$$

У результаті виникає обертовий момент:

$$M_o = Fr_T = r_T \sqrt{\left(\frac{m_T}{r_T} \dot{x}^2\right)^2 + \left(\frac{m_T}{r_T} \dot{z}^2\right)^2} = m_T \sqrt{\dot{x}^4 + \dot{z}^4}, \quad (2.50)$$

$$F_{z_{max}} = F_n \cdot \cos\alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot F_n, \quad (2.51)$$

$$F_{x_{max}} = F_n \cdot \sin\alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot F_n, \quad (2.52)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4}. \quad (2.53)$$

У той же час сили  $F_z$  і  $F_x$  є збурювальними силами коливального руху, тому

$$F_{z_{max}} = m_T \cdot l_{z_{max}} \cdot \omega^2, \quad F_{x_{max}} = m_T \cdot l_{x_{max}} \cdot \omega^2. \quad (2.54)$$

Приймаємо:

$$l = l_{z_{max}} = l_{x_{max}}. \quad (2.55)$$

У результаті:

$$\omega^2 = \frac{\sqrt{2} \cdot F_n}{2 \cdot m_T \cdot l} = \frac{F_n}{\sqrt{2} \cdot m_T \cdot l}, \quad (2.56)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{F_n}{\sqrt{2} \cdot m_T \cdot l}}. \quad (2.57)$$

З системи рівнянь (2.24) отримаємо:

$$\sum M_y = (F_{ex} - R_{npx})z - (F_{ez} - R_{npz})x = 0, \quad (2.58)$$

$$(F_{\epsilon x} - R_{\text{нpx}})z = (F_{\epsilon z} - R_{\text{нpz}})x. \quad (2.59)$$

Ураховуючи (2.59), отримаємо:

$$F_x = \frac{m_T}{m_n} l_x \omega^2 = \frac{m_T}{m_n} l_x \cdot \frac{F_n}{\sqrt{2} m_T \cdot l} = \frac{F_n}{\sqrt{2}} \cdot \frac{l_x}{l}. \quad (2.60)$$

Аналогічно отримуємо вираз:

$$F_z = \frac{m_T}{m_n} l_z \omega^2 = \frac{F_n}{\sqrt{2}} \cdot \frac{l_z}{l}. \quad (2.61)$$

З рівняння (2.41) отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{F_n}{\sqrt{2} \cdot m_n} \cdot \frac{l_x}{l} \cdot \frac{\sin \omega t}{k_x^2 - \omega^2} &= \frac{F_n}{\sqrt{2} \cdot m_n} \cdot \frac{l_x}{l} \cdot \frac{\sin \omega t}{C_x - \frac{F_n}{m_n \sqrt{2} \cdot m_T \cdot l}} = \\ &= \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \cdot \left( C_x - \frac{m_n F_n}{m_T l} \right)}. \end{aligned} \quad (2.62)$$

Аналогічно,

$$z = \frac{l_z \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \cdot \left( C_z - \frac{m_n F_n}{m_T} \right)}. \quad (2.63)$$

З рівнянь (2.59), (2.62), (2.63) маємо:

$$(F_{\epsilon x} - R_{\text{нpx}}) \cdot \frac{l_z}{\sqrt{2} \left( C_z - \frac{m_n}{m_T l} \right)} = (F_{\epsilon z} - R_{\text{нpz}}) \cdot \frac{l_x}{\sqrt{2} \left( C_x - \frac{m_n}{m_T l} \right)}, \quad (2.64)$$

або

$$\frac{l_z \cdot (F_{\epsilon x} - R_{\text{нpx}})}{\left( C_z - \frac{m_n}{m_T l} \right)} = \frac{l_x \cdot (F_{\epsilon z} - R_{\text{нpz}})}{\left( C_x - \frac{m_n}{m_T l} \right)}. \quad (2.65)$$

Враховуючи, що

$$F_{\epsilon x} = m_T \cdot l_x \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t = m_T \cdot l_x \cdot \frac{F_n}{\sqrt{2} \cdot m_T \cdot l} \sin \omega t = \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l}, \quad (2.66)$$

$$F_{\text{вz}} = \frac{l_z \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l}; R_{\text{нpx}} = \frac{C_x \cdot l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \left( C_x - \frac{m_n F_n}{m_T l} \right)};$$

$$R_{\text{нpz}} = \frac{C_z \cdot l_z \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \left( C_z - \frac{m_n \cdot F_n}{m_T \cdot l} \right)}.$$
(2.67)

Знайдені теоретичні залежності використовували у подальшому математичному аналізі при дослідженні кінематичних характеристик віброаспіраційного сепаратора.

### 2.1.2 Рух насінини при виході з живильного конуса

При виконанні математичного моделювання процесів розділення у даній ділянці сепаратора використовували наступні припущення [57, 124, 125, 158, 165-167, 169, 171, 174, 175, 177]:

–насіннєвий матеріал з конічного живильника подається у вертикальний, рівномірно розподілений за радіусом повітряний потік під початковим кутом  $\alpha_0$  та зі швидкістю  $V_0$ ;

–вважається, що має місце рух ізольованих насінин, розмір та маса яких визначається швидкістю витання;

–насінини не змінюють свого орієнтування за віссю симетрії насінини по відношенню до напрямку повітряного потоку;

–потік повітря спрямований вертикально вгору.

У зв'язку з тим, що центральна труба розподільника здійснює автоколивальний рух під дією повітряного потоку, парусних і пружних елементів, вона створює додаткові потоки повітря, які треба обов'язково врахувати. При цьому ці додаткові потоки можуть діяти під різними кутами, але для здійснення віброаспіраційного сепарування врахуємо тільки горизонтальні їх складові.

Складова збурювальної сили, що створюється за рахунок автоколивального руху центральної труби розподільника:

$$F_{bx} = \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l}, \quad (2.68)$$

де  $l$  – довжина центральної труби розподільника, м.

Обертний момент, що виникає за рахунок автоколивального руху:

$$M_o = F_{nx} \cdot r_m \quad (2.69)$$

де  $F_{nx}$  – сила дії повітряного потоку відносно осі  $x$ , Н;  $r_m$  – радіус центральної труби розподільника, м.

Ураховуючи помірні швидкості потоку повітря, тобто у межах  $v_n = 0 \dots 7$  м/с силу опору повітряного потоку визначаємо за формулою [1].

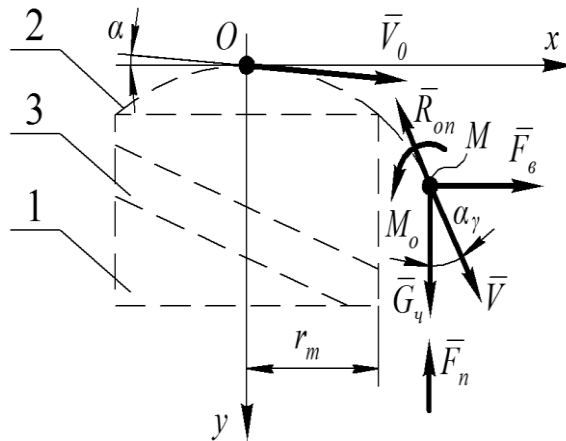
$$R_{on} = \xi \cdot S_M \cdot \frac{v_n^2}{2} \cdot \rho, \quad (2.70)$$

де  $S_M$  – площа міделевого перерізу насінини, м<sup>2</sup>;  $\xi$  – коефіцієнт опору середовища: для еліпсоїдної форми насінини ( $\xi = 0,04$ ) [145];  $\rho$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $v_n$  – відносна швидкість насінини у потоці повітря, м/с.

Приймаємо за початок координат місце сходження частки у повітряний потік (рис. 2.5) та розглянемо основні кінематичні характеристики частки у повітряному потоці, зокрема,  $v_n$  та  $v_n$  як переносну швидкість насінини, м/с. Відповідно, абсолютна швидкість насінини складає:  $\vec{v} = \vec{v}_e + \vec{v}_n$ .

Враховуючи представлені на рис. 2.4 та 2.5 схеми, складаємо рівняння руху досліджуваної насінини у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= -R_{on} \cos \alpha_x + F_{bx}, \\ m\ddot{y} &= -F_n + G - R_{on} \sin \alpha_x. \end{aligned} \right\} \quad (2.71)$$



1 – центральна труба розподільника; 2 – конус; 3 – парусний елемент

Рисунок 2.4 – Еквівалентна схема руху насінини

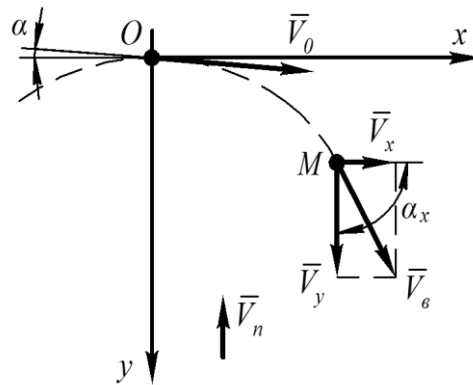


Рисунок 2.5 – Кінематичні характеристики руху насінини у повітряному потоці

Оскільки

$$R_{оп} \cdot \cos \alpha_x = \zeta \cdot S_m \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho \cdot \cos \alpha_x = \zeta \cdot S_m \cdot \rho \cdot \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)}{2} \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} =$$

$$\frac{1}{2} \cdot \zeta \cdot x = x \cdot S_m \cdot \rho \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{x}. \quad (2.72)$$

Аналогічно:

$$R_{оп} \cdot \sin \alpha_x = R_{оп} \cdot \cos \alpha_y = \zeta \cdot S_m \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho \cdot \cos \alpha_y =$$

$$\zeta \cdot S_m \cdot \rho \cdot \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)}{2} \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}} = \frac{1}{2} \cdot \zeta \cdot S_m \cdot \rho \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{y}. \quad (2.73)$$

Враховуючи вирази (2.72) і (2.73) система диференціальних рівнянь (2.71) набуде наступного вигляду:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l \cdot m} - \frac{1}{2m} \cdot \xi \cdot s_m \cdot \rho \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{x}, \\ \ddot{y} &= \frac{-F_n}{m} + g - \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot s_m \cdot \rho \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{y}. \end{aligned} \right\} \quad (2.74)$$

Для скорочення запису системи диференціальних рівнянь (2.74) вводимо коефіцієнти

$$B_1 = \frac{\xi \cdot S_M \cdot \rho}{2}, B_2 = \frac{l_x \cdot F_n}{\sqrt{2} \cdot l}, \quad (2.75)$$

Підставивши вирази (2.75) у систему рівнянь (2.74), отримуємо:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} + \frac{B_1}{m} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{x} &= \frac{B_2}{m} \cdot \sin \omega t, \\ \ddot{y} + \frac{B_1}{m} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \cdot \dot{y} &= g - \frac{F_n}{m}. \end{aligned} \right\} \quad (2.76)$$

Для приведення даної системи до систем лінійних неоднорідних рівнянь другого порядку скористаємося деякими результатами експериментальних досліджень даного процесу сепарації, а саме для середньої та важкої фракції насіння  $v_x = \dot{x} = 0,15 \dots 0,20$  м/с,  $v_y = \dot{y} = 0,7 \dots 0,8$  м/с.

Тоді представлені у системі (2.76) рівняння переписуємо у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{B_2}{m} \cdot \sin \omega t - \frac{B_1 \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{m} \cdot \dot{x}, \\ \ddot{y} &= g - \frac{F_n}{m} - \frac{B_1 \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}{m} \cdot \dot{y}. \end{aligned} \right\} \quad (2.77)$$

або

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{B_2}{m} \cdot \sin \omega t - \frac{B_1 \cdot v}{m} \cdot \dot{x}, \\ \ddot{y} &= g - \frac{F_n}{m} - \frac{B_1 \cdot v}{m} \cdot \dot{y}. \end{aligned} \right\} \quad (2.78)$$

тоді:  $v = \sqrt{0,15^2 + 0,7^2} \div \sqrt{0,2^2 + 0,8^2}$ .

Введемо позначення:

$$\frac{B_1 \cdot v}{m} = B_4 = \text{const}.$$

Тоді система (2.78) набуває вигляду:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{B_2}{m} \sin \omega t - B_4 \dot{x}, \\ \ddot{y} &= g - \frac{F_n}{m} - B_4 \dot{y}. \end{aligned} \right\} \quad (2.79)$$

Підставляємо у систему рівнянь відзначені вище значення перших похідних, а саме 0,15...0,20 м/с та 0,7...0,8 м/с. У результаті отримуємо:

$$B_5 = B_4;$$

$$\dot{x} = B_4 \cdot (0,15 \dots 0,2) = \text{const}$$

$$B_6 = B_4;$$

$$\dot{y} = B_4 \cdot (0,7 \dots 0,8) = \text{const}$$

Тоді систему рівнянь (2.79) переписали у вигляді

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{B_2}{m} \sin \omega t - B_5, \\ \ddot{y} &= g - \frac{F_n}{m} - B_6. \end{aligned} \right\} \quad (2.80)$$

Система (2.80) розв'язується безпосередньо інтегруванням

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \int \frac{B_2}{m} \sin \omega t dt - \int B_5 dt, \\ \dot{y} &= \int \left( g - \frac{F_n}{m} - B_6 \right) dt. \end{aligned} \right\} \quad (2.81)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \frac{-B_2}{m\omega} \cos \omega t - B_5 t + C_1, \\ \dot{y} &= \left( g - \frac{F_n}{m} - B_6 \right) t + L_1. \end{aligned} \right\} \quad (2.82)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{-B_2}{m\omega} \int \cos \omega t dt - B_5 \int t dt + \int C_1 dt, \\ y &= \left( g - \frac{F_n}{m} - B_6 \right) \int dt t + \int L_1 dt. \end{aligned} \right\} \quad (2.83)$$

або

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{-B_2}{m\omega^2} \sin \omega t - B_5 \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2, \\ y &= \left( g - \frac{F_n}{m} - B_6 \right) \cdot \frac{t^2}{2} + L_1 t + L_2. \end{aligned} \right\} \quad (2.84)$$

де  $C_1, C_2, L_1, L_2$  – довільні сталі, що визначаються з початкових умов.

Враховуючи затухання власних коливань при стабілізації автоколивального режиму, рівняння (2.84) набуває вигляду:

$$x = \frac{-B_2}{m\omega^2} \cdot \sin \omega t. \quad (2.85)$$

Враховуючи рівняння (2.71) та систему (2.85), знаходимо кінематичні, силові та енергетичні характеристики досліджуваної системи.

Складова швидкості руху насінини:

$$v_x = \dot{x} = \frac{-B_2}{m\omega} \cdot \cos \omega t. \quad (2.86)$$

Знайдені теоретичні залежності використовували у подальшому математичному аналізі при дослідженні кінематичних характеристик віброаспіраційного сепаратора.

### 2.1.3 Графічна інтерпретація математичної моделі

На основі отриманих формул при використанні математичного середовища Math CAD та розробленої розрахункової програми будуюмо кінематичні, силові та енергетичні характеристики досліджуваного процесу. Серед кінематичних параметрів розглядали переміщення, швидкість та прискорення насінин досліджуваних фракцій. В якості силових параметрів досліджуваного процесу відзначали змушуючу силу та крутний момент, які були розвинуті при реалізації керованого змущеного коливального руху центральної труби розподільника.

Для техніко-економічної оцінки розробленого віброаспіраційного сепарування використовували витрати потужності у процесі. Означені характеристики були побудовані у залежності від кута повороту центральної труби розподільника [173].

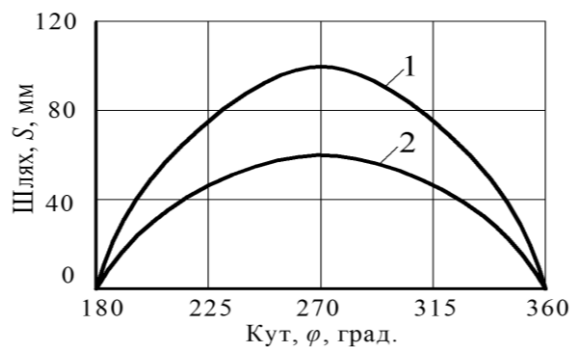


Рисунок 2.6 – Залежність пройденого шляху відповідно середньої (1) та важкої (2) фракцій насінин від кута повороту центральної труби

З графіків, наведених на рис. 2.6, видно, що розбіжність між траєкторіями для важкої та середньої фракції становить 40 %.

Швидкість руху насінини визначали так:

$$\dot{x} = v_x = \frac{l_x \cdot \omega \cdot F_n \cdot \cos \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \cdot \left( C_x - \frac{m_n \cdot F_n}{m_T \cdot l} \right)} = \frac{l_x \cdot \sqrt{\frac{F_n}{\sqrt{2} \cdot m_T \cdot l}} \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{l \cdot \sqrt{2 \left( C_x - \frac{m_n \cdot F_n}{m_T \cdot l} \right)}}, \quad (2.87)$$

$$\dot{z} = v_z = \frac{l_z \cdot \sqrt{\frac{F_n}{\sqrt{2} \cdot m_T \cdot l}} \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \cdot \left( C_z - \frac{m_n \cdot F_n}{m_T \cdot l} \right)}. \quad (2.88)$$

З рис. 2.7 видно, що максимальна швидкість витання важкої фракції складає 4,5 м/с, а для середньої – 3 м/с.

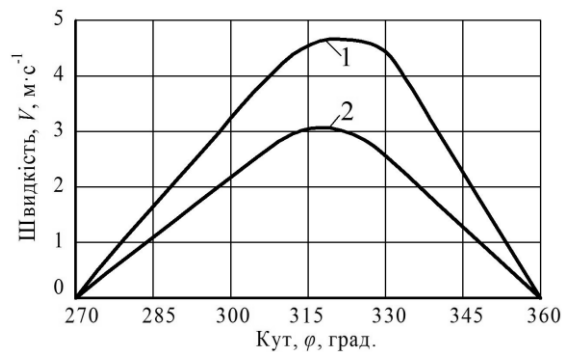


Рисунок 2.7 – Залежність максимальної величини швидкості для насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2) від кута повороту у радіальній площині центральної труби

Прискорення руху насінини визначаємо за формулами:

$$a_x = \ddot{x} = \dot{v}_x = \frac{l_x \cdot \omega^2 \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \cdot \left( C_x - \frac{m_n \cdot F_n}{m_T \cdot l} \right)}, \quad a_z = \ddot{z} = \dot{v}_y = \frac{l_z \cdot \omega^2 \cdot F_n \cdot \cos \omega t}{l \cdot \sqrt{2} \cdot \left( C_z - \frac{m_n \cdot F_n}{m_T \cdot l} \right)}. \quad (2.89)$$

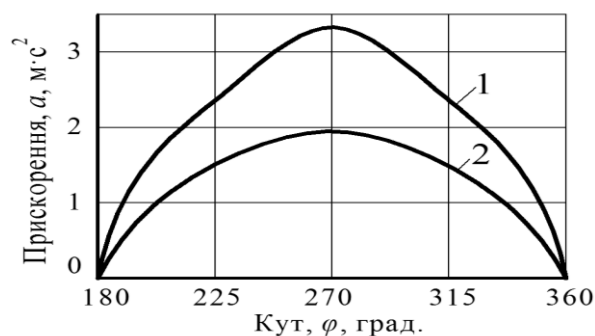


Рисунок 2.8 – Залежність максимального прискорення насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2) від кута повороту центральної труби

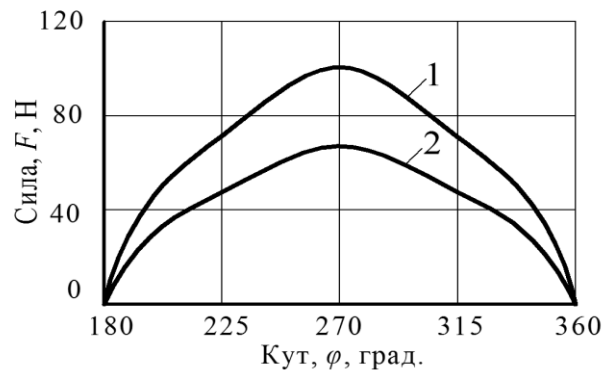


Рисунок 2.9 – Залежність максимальної величини збурювальної сили для насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2) від кута повороту центральної труби

Рис.2.8 та 2.9 характеризують величину змушуючої відцентрової сили, яка виникає за створеного автоколивального руху: для важкої фракції дана характеристика більша на 32%, ніж для середньої.

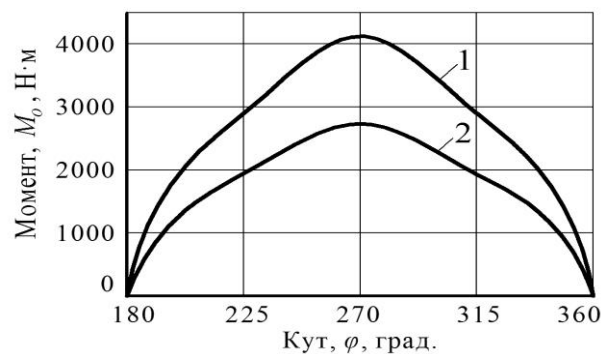


Рисунок 2.10 – Залежність максимальної величини обертового моменту для насіння відповідно важкої (1) та середньої фракції (2) від кута повороту центральної труби

З рис. 2.10 очевидно, що величина змінного крутного моменту, який виникає при обертанні центральної труби, для важкої фракції є більшою на 32,5 %, ніж для середньої. Дана розбіжність і приводить до різних траєкторій руху для досліджуваних фракцій.

Такий обертовий момент є поворотним та призводить до виникнення коріолісового прискорення, що забезпечує рух часток за спіралевидними

траекторіями із поступовим притисканням їх до центральної частини аспіраційного каналу, тобто у вигляді перевернутого конічного параболоїда. Відповідно, сила такого притискання для важкої фракції буде на 32,5% більшою, що збільшує чіткість розділення у нижній приймальній частині апарату.

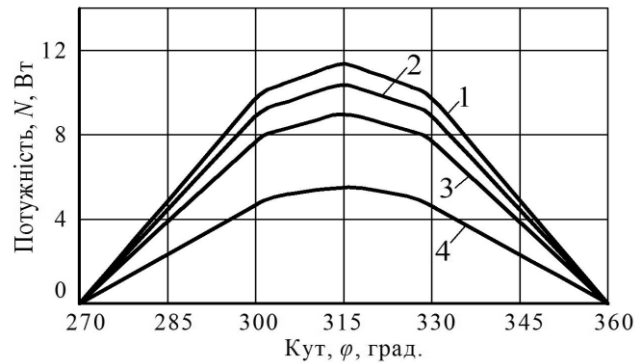


Рисунок 2.11 – Залежність максимальної (1) та мінімальної (2) величини потужності для насіння важкої фракції; максимальної (3) та мінімальної (4) величини потужності для насіння середньої фракції від кута повороту центральної труби при створенні автоколивального режиму

Із рис. 2.11 видно, що максимальна енергія, яка витрачається напором повітря на відповідну зміну траекторії руху часток важкої фракції, складає всього 11,5 Вт, а середньої – 9 Вт, тобто на 22% менше.

Визначали силові характеристики процесу, а саме, змушуючі або збурювальні сили наступним чином:

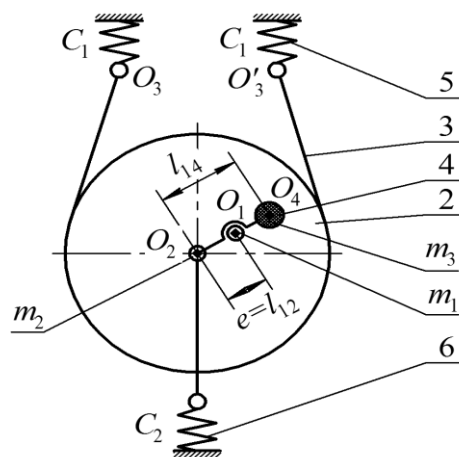
$$F_{ex} = \frac{l_x \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l}; \quad F_{ez} = \frac{l_z \cdot F_n \cdot \sin \omega t}{\sqrt{2} \cdot l}, \quad F = \sqrt{F_{ex}^2 + F_{ez}^2}. \quad (2.90)$$

Аналіз побудованих на рис. 2.6–2.11 графічних залежностей виявив, що за всіма оціночними параметрами має місце істотне розщеплення за величиною показників, що дозволяє підвищити ефективність та якість проектованого процесу віброаспіраційної сепарації; визначити величини робочих та конструкційних параметрів і обґрунтувати режими обробки.

## 2.2 Теоретичне обґрунтування кінематичних характеристик віброхвильового транспортування у зоні інфрачервоного опромінення

На основі принципової схеми віброконвеєрної інфрачервоної сушарки, яка була представлена у 1 розділі роботи (рис. 1.34), розробили розрахункову схему коливної системи для реалізації транспортування продуктового потоку з перемішуванням його шарів, що представлена на рис. 2.12, 2.13.

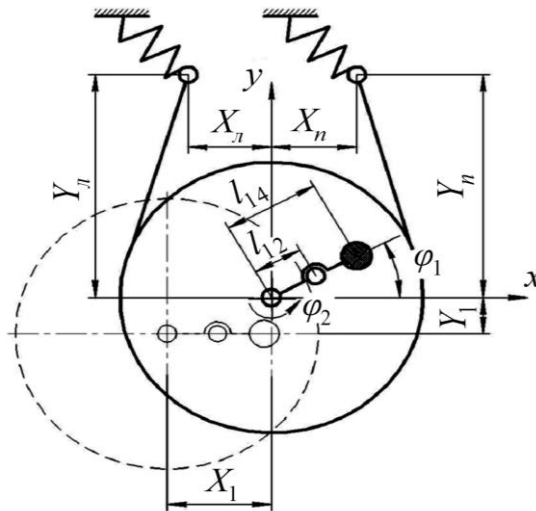
Для генерації коливань при здійсненні міжопераційного транспортування сипкої продукції у досліджуваній конвеєрній сушарці передбачили використання механічного вібропривода комбінованого типу, що поєднує кінематичний спосіб віброзбудження та пружну систему нівелювання паразитних коливань в опорних вузлах приводного механізму. Такий механізм дозволяє мінімізувати енерговитрати при підтриманні інтенсивного віброімпульсного режиму та забезпеченні достатньо комфортних умов роботи підшипникових опор приводного вала [63, 154, 160, 161, 168, 170, 177].



1 – валець; 2 – стрічка; 3 – приводний вал віброзбуджувача; 4 – противага;  
5 – пружна підвіска; 6 – віброопора;  $m_1$  – маса приводного вала з опорним вузлом;  $m_2$  – маса вальця, стрічки та продукції;  $m_3$  – маса противаги;

$C_1$  – жорсткість пружної підвіски;  $C_2$  – жорсткість віброопори

Рисунок 2.12 – Початкове положення досліджуваної коливної системи



$X_1$  – лінійне горизонтальне відхилення центра мас вальця;  $Y_1$  – лінійне вертикальне відхилення центра мас вальця;  $\varphi_1$  – кутове відхилення вальця;  $\varphi_2$  – кутове відхилення центра мас приводного вала віброзбуджувача

Рисунок 2.13 – Розрахункова схема коливальної системи віброхвильового транспортування при відхиленні від положення рівноваги

Динамічне навантаження на останній значно зменшується також через наявність підпружиненої підвіски напрямної стрічки розробленої інфрачервоної сушарки.

Розроблена коливальна система характеризується 4-ма ступенями вільності, а саме, кут повороту приводного вала  $\varphi_1$ , кут повороту вальців або робочих та водночас опорних котків  $\varphi_2$ , лінійні зміщення центра мас приводного вала відносно осей координат:  $X_1$  та  $Y_1$ . Система є тримасною, для якої  $m_0 = m_1 + m_2 + m_3$  – загальна маса рухомих частин системи, кг;  $m_1$  – маса приводного вала, кг;  $m_2$  – маса робочого контейнера, приєднаного з масою продукції, кг;  $m_3$  – маса противаги, кг.

При складанні диференціальних рівнянь руху враховувалися наступні сили: збуджувальна сила, створювана кінематичним способом; сила тяжіння основних елементів системи; сили пружності гнучкої системи приводів; - сили натягу гілок еластичною направляючою  $T_l$  і  $T_p$  та ін.

Збуджуючу силу, що виникає при обертанні ексцентрикового приводного вала віброзбуджувача, можна представити у вигляді добутку двох її проекцій на осі координат  $F_x$  і  $F_y$ :

$$F_x = m_1 l_{12} \omega_1^2 \sin \omega_1 t, \quad (2.91)$$

$$F_y = m_1 l_{12} \omega_1^2 \cos \omega_1 t. \quad (2.92)$$

Відновлюючі або внутрішні пружні сили опору системи виявляють пружні елементи та віброопори, які характеризують виникнення подвійного пружного зв'язку між гнучким вантажонесучим органом і корпусом сушарки, а також між пружними валиками напрямної частини машини та її основою.

Перший пружний зв'язок визначає сила натягу напрямної стрічки  $T$ , яка залежить від сумарної деформації гнучкого зв'язку  $\Delta l$  і її жорсткості  $C_{пр}$ :

$$T = \Delta l \cdot C_{пр}. \quad (2.92)$$

Дані характеристики знаходимо на основі геометричного аналізу досліджуваної коливальної системи. Точки підвісу стрічки  $O_3$  та її контакту з опорними вальцями з лівого та правого боків відповідно позначаємо через  $O_l$ ,  $O_{кло}$ ,  $O_p$ ,  $O_{кпо}$  (рис. 2.14).

Тоді відстань між ними становить:

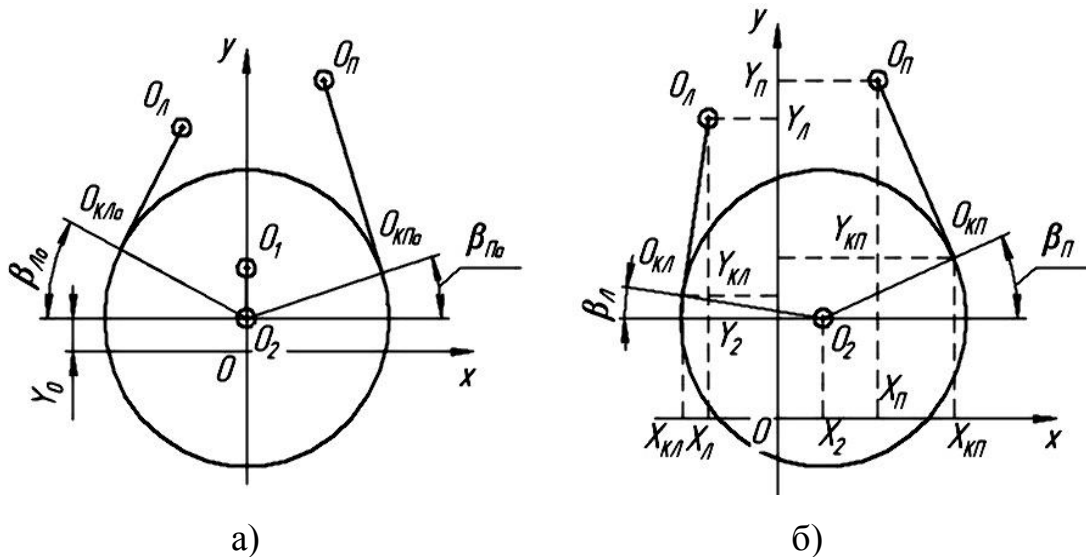
$$O_n O_{кпо} = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2 - R^2}. \quad (2.93)$$

Аналогічно в поточний момент часу ці відстані будуть рівними:

$$\begin{aligned} O_l O_{кл} &= \sqrt{(X_1 - X_n - l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_n - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2 - R^2}, \\ O_n O_{кп} &= \sqrt{(X_n - X_1 + l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_n - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2 - R^2}. \end{aligned} \quad (2.94)$$

Рівняння прямої, що проходить через точки:  $O (X_1; Y_1)$  і  $O_{кл} (X_{кл}; Y_{кл})$ , виражаються залежністю:

$$\frac{Y - Y_1}{Y_{кл} - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_{кл} - X_1}. \quad (2.95)$$



а) система в початковому положенні; б) система в поточному стані

Рисунок 2.14 – Геометричні параметри в'язі вальця зі стрічкою

Тобто

$$-X(Y_{кп} - Y_1) + Y(X_{кп} - X_1) - Y_1(X_{кп} - X_1) + X_1(Y_{кп} - Y_1) = 0,$$

або

$$Y = X \frac{Y_{кп} - Y_1}{X_{кп} - X_1} + Y_1 - X_1 \frac{Y_{кп} - Y_1}{X_{кп} - X_1}. \quad (2.96)$$

Використовуючи наведені рівняння, відстань від точки  $O_P(X_P; Y_P)$  до прямої  $(O; O_{кп})$  приймає вигляд:

$$|O_P O_{кп}| = \frac{-X_P(Y_{кп} - Y_1) + Y_P(X_{кп} - X_1) - Y_1(X_{кп} - X_1) + X_1(Y_{кп} - Y_1)}{\sqrt{(X_{кп} - X_1)^2 + (Y_{кп} - Y_1)^2}},$$

Тобто,

$$|O_P O_{кп}| = (X_{кп} - X_2) \cdot (Y_P - Y_2) - \frac{(Y_{кп} - Y_2)(X_P - X_2)}{\sqrt{(X_{кп} - X_2)^2 + (Y_{кп} - Y_2)^2}}. \quad (2.97)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (2.96) і (2.97) та поділивши чисельник і знаменник правої частини виразу (2.98) на  $(X_{кп} - X_2)$  та враховуючи, що

$$\operatorname{tg} \beta_n = \frac{Y_{кп} - Y_2}{X_{кп} - X_2} \quad (2.98)$$

Після деяких перетворень отримуємо:

$$\frac{(X_{II} - X_1)^2 + (Y_n - Y_1)^2 - \tan^2 \beta_{II} + 2(Y_{II} - Y_1)(X_n - X_1)\tan \beta_{II}}{1 + \tan^2 \beta_{II}} = R^2.$$

Тобто,

$$1 + \tan^2 \beta_{II} [(Y_1)^2 - R^2] + \tan \beta_{II} [(Y_{II} - Y_1)(X_n - X_1)] - R^2 + (X_{II} - X_1)^2 = 0. \quad (2.99)$$

При підстановці чисельних значень переконуємося, що позитивне значення має тільки один корінь квадратного рівняння (2.99):

$$\operatorname{tg} \beta_{II} = \frac{[Y_{II} - Y_2] [X_{II} - X_2] - R\sqrt{[X_{II} - X_2]^2 + [Y_{II} - Y_2]^2 - R^2}}{R^2 - [Y_{II} - Y_2]^2}. \quad (2.100)$$

Користуючись даною методикою, аналогічно виводимо вираз:

$$\operatorname{tg} \beta_{II} = \frac{[Y_n - Y_2] [X_2 - X_{II}] - R\sqrt{[X_2 - X_{II}]^2 + [Y_n - Y_2]^2 - R^2}}{R^2 - [Y_n - Y_2]^2}. \quad (2.101)$$

Для досліджуваного вібропривода сумарна деформація стрічки і пружного елемента підпружиненої підвіски в поточний момент часу для лівої і правої гілок складе:

$$l_{II} = \sqrt{(X_1 - X_n - l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_{II} - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2 - R^2} - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2} + R\varphi_1, \quad (2.102)$$

$$\begin{aligned} \Delta l_n &= |0_{II} O_{KII}| - |0_{II} O_{KIO}| - R\varphi_2 = \\ &= \sqrt{(X_{II} - X_1 + l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_{II} - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2 - R^2} - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2} - R\varphi_2. \end{aligned} \quad (2.103)$$

Складова  $R\varphi_2$  враховує поворот бічних дисків вібратора на кут  $\varphi_2$ .

Тоді сили натягу стрічки для лівої і правої гілок виражаються залежностями:

$$T_{II} = C_{II} (\sqrt{(X_1 - X_{II} - l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_n - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2} - R^2 - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2} - R^2 + R_{\varphi_1}) \quad (2.104)$$

$$T_{II} = C_{II} (\sqrt{(X_n - X_1 + l_{12} \sin \varphi_1)^2 + (Y_n - Y_1 - l_{12} \cos \varphi_1)^2} - R^2 - \sqrt{X_{II}^2 + Y_{II}^2} - R^2 - R_{\varphi_2}). \quad (2.105)$$

Для оцінки закономірностей руху виконавчих органів вібропривода по кожній з незалежних координат використовували рівняння Лагранжа другого роду у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right] - \frac{\partial T}{\partial q} = Qq \quad (2.106)$$

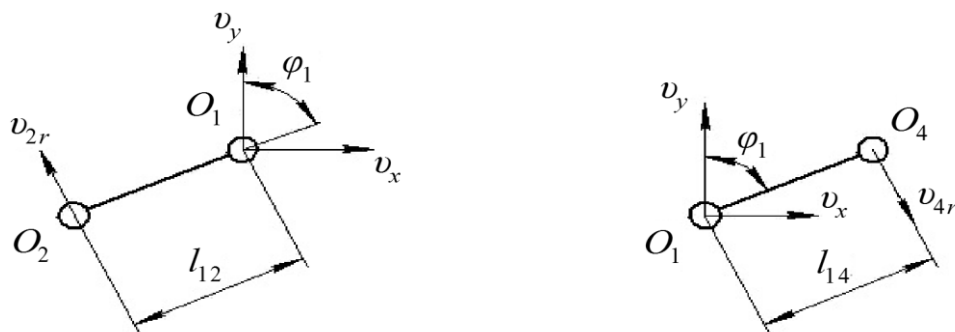
де  $T$  – кінетична енергія системи;  $q$   $[\varphi_1; \varphi_2; X_2; Y_2]$  – узагальнена координата;  $Qq$  – узагальнена сила.

Аналогічно попередньому розрахунку кінетична енергія складових вібробуджувача (рис. 2.15) виражається:

$$T_1 = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2}, \quad (2.107)$$

$$T_2 = \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} + \frac{J_2 \bar{\omega}_2^2}{2}, \quad (2.108)$$

$$T_4 = \frac{J_4 \bar{\omega}_1^2}{2} + \frac{m_4 \cdot v_4^2}{2}. \quad (2.109)$$



для ланки ексцентрикового вала  $O_1O_2$ ; для ланки противаги  $O_1O_4$

Рисунок 2.15 – Розрахункові схеми для визначення кінематичних характеристик комбінованого вібропривода досліджуваної машини

Кінематичні характеристики ланки  $O_1O_2$ :

$$v_1^2 = \dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2,$$

$$v_2^2 = v_1^2 + 2l_{12}\dot{\varphi}_1(0,5l_{12}\dot{\varphi}_1 - \dot{x}_1\cos\varphi_1 - \dot{y}_1\sin\varphi_1). \quad (2.110)$$

Аналогічно для ланки  $O_1O_2$  :

$$J_4 = m_4l_{14}^2,$$

$$v_4^2 = \dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 + 2l_{14}\dot{\varphi}_1[0,5l_{14}\dot{\varphi}_1 + \dot{x}_1\cos\varphi_1 + \dot{y}_1\sin\varphi_1]. \quad (2.111)$$

Тоді кінетична енергія даної вібрисистеми:

$$T = 0,5m_0(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + 0,5(J_2\dot{\varphi}_2^2 + J_3\dot{\varphi}_3^2 + J_4\dot{\varphi}_1^2) + m_2l_{12}\dot{\varphi}_1[0,5l_{12}\dot{\varphi}_1 - \dot{x}_1\cos\varphi_1 + \dot{y}_1\sin\varphi_1]. \quad (2.112)$$

Далі визначаються узагальнені сили коливальної системи (рис. 2.16) по кожній із незалежних координат.

Для узагальненої координати  $\varphi_1$  (рис. 2.16, а):

$$Q_{\varphi_1} = M_K + \sin\varphi_1(P_2l_{12} - P_4l_{14}) - T_Ll_{12}\sin(\varphi_1 + \beta_L) - T_Pl_{12}\sin(\varphi_1 - \beta_P). \quad (2.113)$$

Для узагальненої координати  $\varphi_2$  (рис. 2.16, б):

$$Q_{\varphi_2} = (T_P - T_L)R. \quad (2.114)$$

Для узагальненої координати  $X_1$  (рис. 2.16, в):

$$Q_{X_1} = T_L\sin\beta_L - T_P\sin\beta_P - C_X X_1. \quad (2.115)$$

Для узагальненої координати  $Y_1$  (рис. 2.16, г):

$$Q_{Y_1} = T_L\cos\beta_L + T_P\cos\beta_P - C_Y(Y_1 - \delta_{CT}) - P_0. \quad (2.116)$$

Отримані залежності підставляємо в рівняння Лагранжа (2.116) та після певних перетворень отримуємо:

$$\left. \begin{aligned}
\ddot{X}_1 + \alpha_x \dot{X}_1 + K_x^2 X_1 &= m_0^{-1} [(m_2 l_{12} - m_3 l_{14})(\ddot{\varphi}_1 \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \sin \varphi_1) - \\
&- T_{II} \sin \beta_{II} - T_{II} \sin \beta_{II}], \\
\ddot{Y}_1 + \alpha_y \dot{Y}_1 + K_y^2 Y_1 &= m_0^{-1} [(m_2 l_{12} - m_3 l_{14})(\ddot{\varphi}_1 \sin \varphi_1 + \dot{\varphi}_1^2 \cos \varphi_1) - \\
&- T_{II} \cos \beta_{II} + T_{II} \cos \beta_{II} - P_0], \\
\ddot{\varphi}_1 &= (m_2 l_{14}^2 + m_3 l_{14}^2)^{-1} [(m_1 l_{12} - m_3 l_{14})(\dot{X}_1 \cos \varphi_1 + \dot{Y}_1 \sin \varphi_1) + \\
&+ (P_2 l_{12} - P_3 l_{14}) \sin \varphi + M_o - l_{12} (T_{II} \sin(\varphi_1 + \beta_{II}) + T_{II} \sin(\varphi_1 - \beta_{II}))], \\
\ddot{\varphi}_2 &= J_2^{-1} R (T_{II} - T_{II}).
\end{aligned} \right\} (2.117)$$

За допомогою розглянутих вище припущень та розрахункових методик рівняння (2.117) можна представити у вигляді:

$$\ddot{X}_1 + \alpha_x \dot{X}_1 + K_x^2 X_1 = A_4 \sin \omega_1 t - A_5, \quad (2.118)$$

де  $A_4 = m_0^{-1} (m_2 l_{12} - m_3 l_{14}) \omega_1^2$ .

Рішення рівняння (2.118) набуває вигляду:

$$X_1 = e^{-0,5\alpha_x t} [C_5 \cos \rho_1 t + C_6 \sin \rho_1 t] - \frac{A_4 [\sin \omega_1 t (\omega_1^2 - K_x^2) + \alpha_x \omega_1 \cos \omega_1 t]}{(\omega_1^2 - K_x^2)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2}, \quad (2.119)$$

де  $C_5, C_6$  – постійні інтегрування.

Для зручності частотні характеристики, що представлені у знаменнику формули (2.119), позначаємо через приведену частоту горизонтальних коливань  $\omega_{прх}^2$ .

Аналогічно рівняння представимо у вигляді:

$$\ddot{Y}_1 + \alpha_y \dot{Y}_1 + K_y^2 Y_1 = A_6 \cos \omega_1 t - A_7, \quad (2.120)$$

де  $A_6 = A_4 - 2m_0^{-1} C_{пф} Y_{II} l_{12} \cos \beta (X_{II}^2 + Y_{II}^2 - R^2)^{\frac{1}{2}}$ ;

$A_7 = m_0^{-1} (P_0 - C_Y \delta_{CT})$ .

$C_{пф} = 2C_1 C_{CT} / (C_{CT} + 2C_1)$  – приведена жорсткість пружних елементів;

$C_1$  та  $C_{CT}$  – відповідно жорсткості підпружиненої підвіски та стрічки.

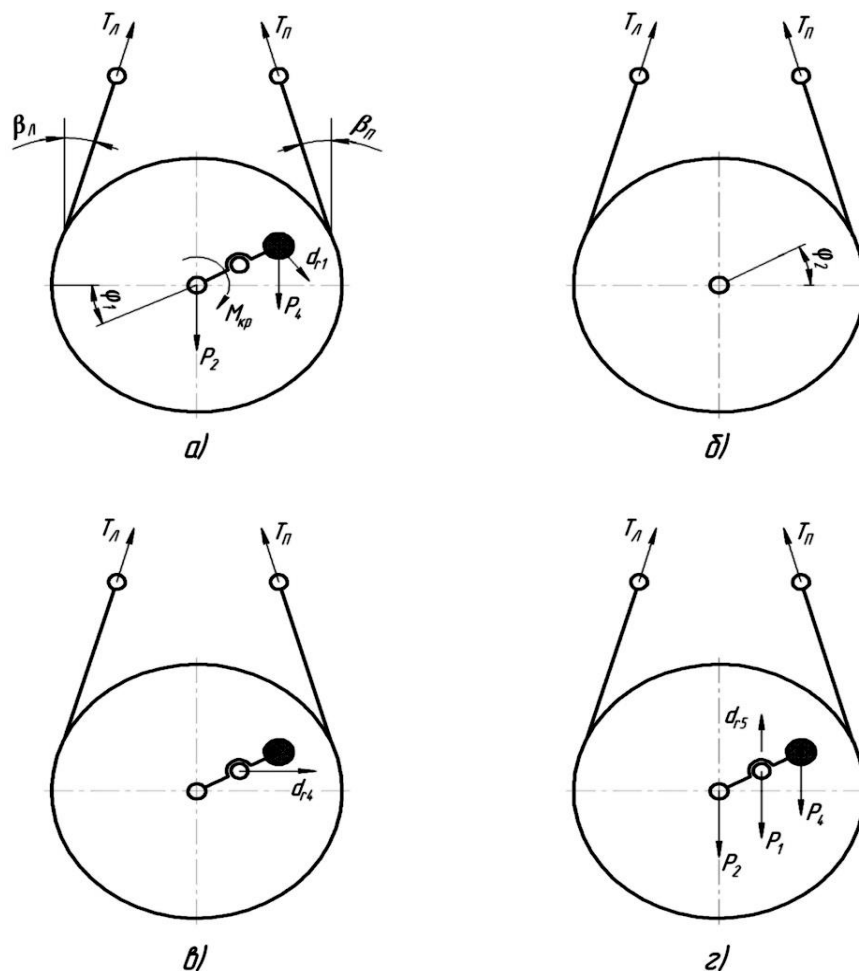
Рішення рівняння (2.120):

$$Y_1 = e^{-0,5\alpha_y t} [C_7 \cos \rho_2 t + C_8 \sin \rho_2 t] + A_6 \frac{[\alpha Y \omega_1 \sin \omega_1 t - (\omega_1^2 - K_Y^2) \cos \omega_1 t]}{(\omega_1^2 - K_Y^2) + \alpha_Y^2 \omega_1^2} - \frac{A_7}{K_Y^2}, \quad (2.121)$$

де  $C_7, C_8$  – постійні інтегрування, знаменник другого доданка аналогічно попередньому позначаємо як  $\omega_{np,y}^2$ .

Для усталеного режиму рівняння руху точок приводного валу комбінованого вібробуджувача:

$$X_1 = A_4 \omega_{np,x}^{-1} [(K_X^2 - \omega_1^2) \sin \omega_1 t - \alpha_X \omega_1 \cos \omega_1 t], \quad (2.122)$$



а – при обертовому русі маси  $m_1$  (приводної системи); б – при обертовому русі маси  $m_2$  (вальця); в – при горизонтальному русі маси  $m_1$ ; г – при вертикальному русі маси  $m_1$

Рисунок 2.16 – Розрахункові схеми для визначення узагальнених сил системи

$$Y_1 = A_6 \omega_{\text{пр}y}^{-1} [(K_Y^2 - \omega_1^2) \sin \omega_1 t - \alpha_y \omega_1 \cos \omega_1 t], \quad (2.123)$$

де  $\omega_{\text{пр}x}^2 = (\omega_1^2 - k_x^2)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2$ ;

$$\omega_{\text{пр}y}^2 = (\omega_1^2 - k_y^2)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2,$$

$$\alpha_x = 2\sqrt{109,4 - \omega_1^2}; \alpha_y = 2\sqrt{350 - \omega_1^2} \quad - \text{ коефіцієнти дисипації у}$$

напрямах відповідних осей координат.

Аналогічно попередній розрахунковій методиці представимо рівняння (2.122), (2.123) у вигляді:

$$X_1 = A_{\text{п}x_1} \sin(\omega_1 t + \varphi_x), \quad (2.124)$$

$$Y_1 = A_{\text{п}y_1} \sin(\omega_1 t + \varphi_y). \quad (2.125)$$

Тоді складові амплітуди коливань точок приводного вала комбінованого вібропривода:

$$A_{\text{п}x_1} = \omega_{\text{пр}x}^{-2} A_4; A_{\text{п}y_1} = \omega_{\text{пр}y}^{-2} A_6,$$

$$A_{\text{п}1} = \sqrt{A_4^2 \omega_{\text{пр}x}^{-4} + A_6^2 \omega_{\text{пр}y}^{-4}}. \quad (2.126)$$

Внаслідок жорсткого кінематичного зв'язку між приводним валом та опорним або робочим вальцем комбінованого віброзбуджувача рівняння руху точок набувають вигляду:

$$X_{K_1} = [-\omega_{\text{нр}x}^{-2} A_4 (\omega_1^2 - K_x^2) + l_{12}] \sin \omega_1 t - A_4 \omega_{\text{нр}x}^{-2} \omega_1 \alpha_x \cos \omega_1 t, \quad (2.127)$$

$$Y_{K_1} = [-\omega_{\text{нр}y}^{-2} A_6 (\omega_1^2 - K_y^2) + l_{12}] \sin \omega_1 t - A_6 \omega_{\text{нр}y}^{-2} \omega_1 \alpha_y \cos \omega_1 t. \quad (2.128)$$

За допомогою розглянутої вище розрахункової методики перетворюються рівняння (2.127), (2.128):

$$X_{K_1} = A_{Kx_1} \sin(\omega_1 t + \varphi_{x_1}), \quad (2.129)$$

де аргумент:

$$\varphi_{x_1} = \arctg \left[ \frac{A_4 \omega_1 \alpha_x}{A_4 (\omega_1^2 - K_x^2) - l_{12} [(\omega_1^2 - K_x^2)^2 + \alpha_x^2 \omega_1^2]} \right],$$

$$Y_{K_1} = A_{K_{Y_1}} \cos(\omega_1 t - \varphi_{Y_1}), \quad (2.130)$$

$$\varphi_{Y_1} = \arctg \left[ \frac{A_6 \omega_1 \alpha_y}{A_6 (\omega_1^2 - K_y^2) - l_{12} [(\omega_1^2 - K_y^2)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2]} \right], \quad (2.131)$$

$$\text{де } A_{K_{X_1}} = \sqrt{l_{12}^2 + A_4 \omega_{npX}^{-4} [A_4 - 2l_{12}^2 (\omega_1^2 - K_x^2)]}, \quad (2.132)$$

$$A_{K_{Y_1}} = \sqrt{l_{12}^2 + A_6 \omega_{npY}^{-4} [A_6 - 2l_{12}^2 (\omega_1^2 - K_y^2)]}. \quad (2.133)$$

Ураховуючи, що для досліджуваної системи  $A_4 = A_6$  та після певних перетворень, основні її параметри можна визначити наступним чином.

Жорсткості пружних в'язей можна прийняти із експериментальних вимірювань:  $C_x = 9800$  Н/м;  $C_y = 31000$  Н/м;  $C_\phi = 900$  Н/м;  $C_{ст} = 40000$  Н/м; частоти власних коливань  $k_x = 109,4$  с<sup>-1</sup>;  $k_y = 350$  с<sup>-1</sup> та коефіцієнти дисипації:

$$\alpha_x = 2\sqrt{109,4 - \omega_1^2}; \alpha_y = 2\sqrt{350 - \omega_1^2}.$$

Ексцентриситет приводного вала становить:  $l_{12} = e = 3$  мм.

Розподіл характерних мас системи складає:

$$m_1 = m_B + m_{прод} = 6 + 0,2 = 6,2 \text{ кг},$$

$$m_2 = m_{пв} + m_{п} = 5 + 0,4 = 5,4 \text{ кг}; m_3 = m_{пр} = 1,2 \text{ кг}.$$

Ординату противаги знаходимо із рівняння статичного балансування системи:

$$m_3 \cdot l_{14} = m_1 \cdot e.$$

$$\text{Таким чином, } l_{14} = \frac{m_1 \cdot e}{m_3} = \frac{6,2 \cdot 3}{1,2} = 15,5 \text{ мм}.$$

Абсолютна амплітуда коливань центра мас приводного валу вібропривода:

$$A_{II} = \sqrt{A_4^2 \omega_{PPx}^{-2} + A_4^2 \omega_{PPy}^{-2}} = A_4 \sqrt{\omega_{PPx}^{-2} + \omega_{PPy}^{-2}}.$$

Траєкторії руху центра мас вальця хвильового рушія:

$$X_B = \left[ -\omega_{PPx}^{-2} A_4 (\omega_1^2 - k_x^2) + l_{12} \right] \cdot \sin(\omega_1 t) - A_4 \cdot \omega_{PPx}^{-2} \cdot \omega_1 \alpha_x \cdot \cos(\omega_1 t), \quad (2.133)$$

$$Y_B = \left[ -\omega_{PPy}^{-2} A_4 (\omega_1^2 - k_y^2) + l_{12} \right] \cdot \cos(\omega_1 t) - A_4 \cdot \omega_{PPy}^{-2} \cdot \omega_1 \alpha_y \cdot \sin(\omega_1 t), \quad (2.134)$$

$$\omega_{PPy}^2 = (\omega_1^2 - k_y^2)^2 + \alpha_y^2 \omega_1^2. \quad (2.135)$$

Складові віброшвидкості центра мас вальця:

$$v_{\theta x} = \left( \frac{A_4 \cdot \omega_1}{\omega_{PPx}^2} (k_x^2 - \omega_1^2) + l_{12} \right) \cdot \cos(\omega_1 t) + \frac{A_4 \cdot \omega_1^2 \cdot \alpha_x}{\omega_{PPx}^2} \cdot \sin(\omega_1 t), \quad (2.136)$$

$$v_{\theta y} = \left( \frac{A_4 \cdot \omega_1}{\omega_{PPy}^2} \cdot (\omega_1^2 - k_y^2) - l_{12} \right) \cdot \sin(\omega_1 t) - \frac{A_4 \cdot \omega_1^2 \cdot \alpha_y}{\omega_{PPy}^2} \cos(\omega_1 t). \quad (2.137)$$

Абсолютна швидкість центра мас вальця:

$$v_B = \sqrt{v_{\theta x}^2 + v_{\theta y}^2}. \quad (2.138)$$

Величина збурювальної сили та її складової:

$$F_x = m_1 e \cdot \omega_1^2 \sin(\omega_1 t), \quad F_y = m_1 e \cdot \omega_1^2 \cos(\omega_1 t), \quad (2.139)$$

$$F_B = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}. \quad (2.140)$$

Величина потужності, що витрачається для надання коливного руху вальця:

$$N_B = F_B \cdot v_B. \quad (2.141)$$

Представлені залежності будували при використанні математичного середовища MathCad (рис .2.17 – 2.20).

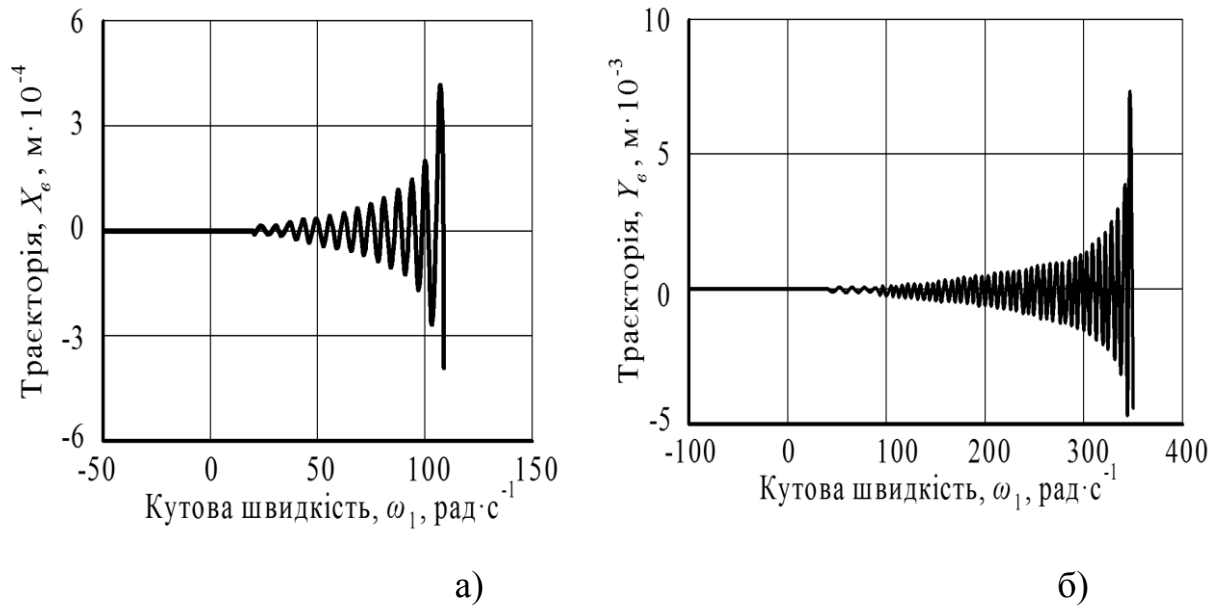


Рисунок 2. 17 – Залежності траєкторії руху центра мас робочого вальця X1 (а) та Y1 (б) вздовж осей плоскої системи координат від кутової швидкості ексцентрикового приводного вала  $\omega_1$

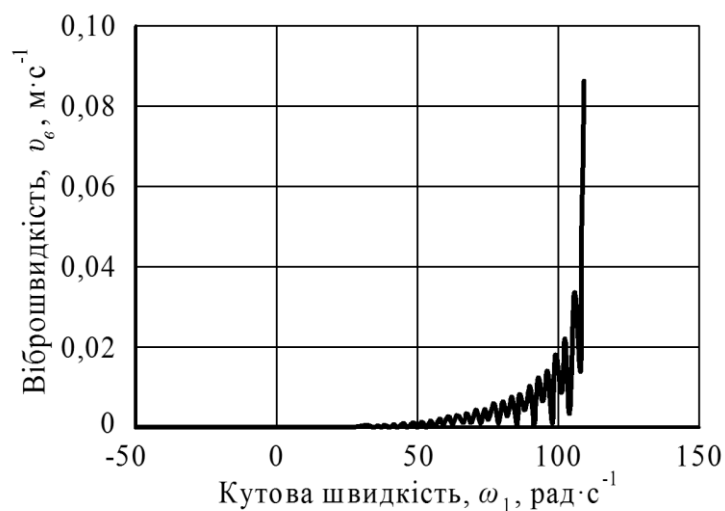


Рисунок 2.18 – Залежність віброшвидкості  $v_e$  робочого вальця від кутової швидкості  $\omega_1$  ексцентрикового приводного вала віброзбудувача

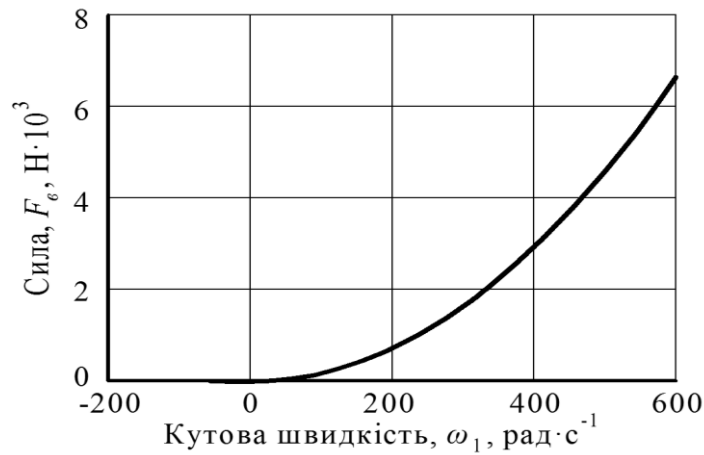


Рисунок 2.19 – Залежність збудовальної сили  $F_e$  від кутової швидкості  $\omega_1$  ексцентрикового приводного вала

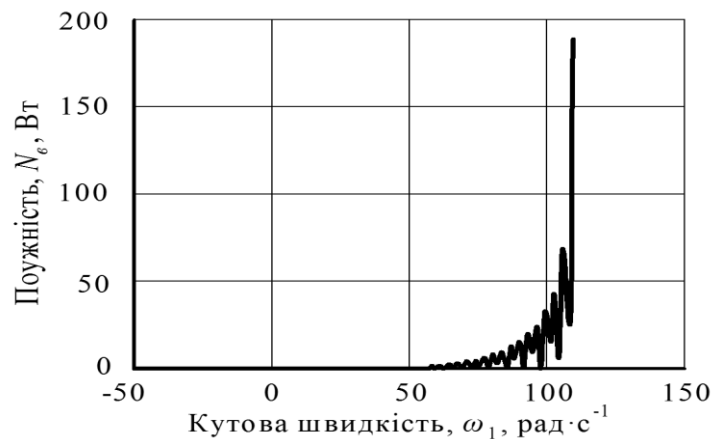


Рисунок 2.20 – Залежність необхідної потужності  $N_e$  віброзбуджувача від кутової швидкості  $\omega_1$  ексцентрикового приводного вала

Графічні залежності траєкторії руху центра мас робочого вальця за осями плоскої системи координат  $X_e$  та  $Y_e$  (рис. 2.17) свідчать про стабільний хвильовий режим руху у межах величин кутової швидкості приводного вала віброзбуджувача  $\omega_1 = 50 \dots 80$  рад/с, що відповідає величині віброшвидкості  $v_e = 0,10 \dots 0,18$  см/с (рис. 2.18). Абсолютне значення збудовальної сили починає істотно зростати за  $F_e = 1 \dots 2$  кН при величині  $\omega_1 = 100 \dots 120$  рад/с (рис. 2.19). Величина потужності віброзбуджувача  $N_e$  різко зростає за кутової швидкості приводного вала вище 100 рад/с (рис. 2.20). Проведений аналіз дозволив обґрунтувати раціональні кінематичні характеристики через

віброшвидкість просування продукції на біжучій хвилі за стабілізації амплітудного режиму та мінімізації енерговитрат на процес.

### 2.3 Теоретичне обґрунтування силових та енергетичних параметрів пневмоімпульсного барботування зернової маси холодоносієм

З метою ефективного зворушення зернової маси використовували розроблені генератори подачі повітря змінного тиску, які розташовували біля торцевих стінок піддона з продукцією, що зберігається. Дані апарати планується монтувати опозитно один одному, що дозволяє створювати динамічні хвилі, які розповсюджуються у зустрічних напрямках (рис. 1.35, 1.36). Такий процес розпушування зернової продукції при формуванні пневмодинамічної хвилі можна назвати імпульсним барботуванням, враховуючи його механізм реалізації [28, 78, 140, 153, 155 – 157, 159, 172].

Здійснюючи математичне моделювання даного процесу імпульсного барботування, була використана теорія «струни», згідно із якою хвильове одномірне рівняння процесу має вигляд:

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{1}{v_{\varphi}^2} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = 0, \quad (2.142)$$

де  $P(x, t)$  – функція тиску, що здійснює та підтримує коливальний процес у сипкому середовищі;  $v_{\varphi}$  – фазова швидкість поширення хвилі;  $x, t$  – змінні процесу: відповідно лінійна координата та час розповсюдження хвилі.

Оскільки загальний розв'язок даного рівняння є відомим, то нами для інтерпретації досліджуваного процесу цей розв'язок показано у вигляді суперпозиції двох гармонічних хвиль:

$$P(x, t) = P_1 \cos(k_1 x - \omega_1 t) + P_2 \cos(k_2 x + \omega_2 t), \quad (2.143)$$

де  $P_1, P_2$  – амплітудні значення тиску;  $k_1, k_2$  – хвильові числа:  $k = \frac{\omega}{v_\varphi}$ ;

$\omega_1, \omega_2$  – циклічні частоти зміни фаз хвилі;  $\omega t = \varphi$  – фаза хвилі.

Опозитне розташування розроблених імпульсних генераторів за однакової рушійної сили формує хвилі з рівними амплітудами силових факторів, які навіть при певному відхиленні початкових фаз при суперпозиції утворюють стоячу хвилю, особливостями якої є (рис. 2.21):

– частинки середовища не рухаються разом із хвилею, а коливаються навколо своїх положень рівноваги;

– у вузлових точках енергія не передається, а у межах відстаней від них у половину довжини хвилі відбувається перетворення кінетичної енергії хвилі у потенційну енергію взаємодії часток сипкої маси продукції;

– утворена хвиля відносно вузлових точок здійснює поперечні коливання, що значно прискорює процес інтенсифікації зернової маси як в осьовому, так і в радіальному напрямках.

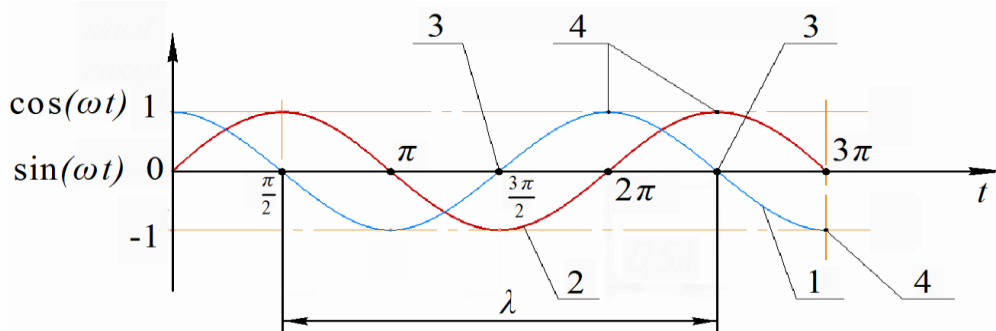
За граничних умов:  $P(x, t) = 0, x = 0, \frac{d^2 \cdot P(x, t)}{d \cdot x^2} = 0$ , а також припущень,

що:  $P_1 = P_2 = P_0, \omega_1 = \omega_2 = \omega$ ; хвилі поширюються без загасання, можливо з певним відхиленням по фазі, розв'язок диференціального хвильового рівняння набуває вигляду:

$$P(x, t) = 2 P_0 \sin kx \cdot \sin \omega t \quad \text{або} \quad P(x, t) = 2 P_0 \cos kx \cdot \cos \omega t. \quad (2.144)$$

Основними параметрами досліджуваного хвильового руху (рис. 14) є хвильове число:  $k = \omega / v_\varphi$ ; фазова швидкість хвилі:  $v_\varphi = \frac{dx}{dt}$ ; довжина

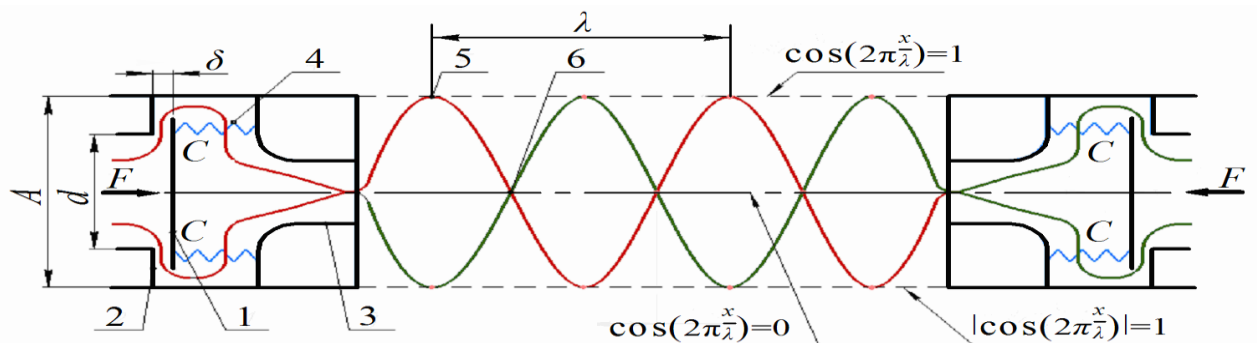
півхвилі:  $\frac{2\pi}{k}$ ; енергія коливального руху:  $E_k = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot P_0^2}{2}$ ; середнє значення густини енергії хвилі:  $G = \frac{E}{V} = \rho_\pi \cdot \omega^2 \cdot \frac{P_0^2}{2}$ ;  $\rho_\pi$  – густина сипкої продукції.



1, 2 – форма розповсюдження динамічної хвилі відповідно за косинусоїдальним та синусоїдальним законам; 3 – вузли; 4 – пучності

Рисунок 2.21 – Параметри утвореної стоячої пневмодинамічної хвилі

Використовуючи дані, наведені на рис. 2.21, можна виділити основні характеристики стоячої хвилі, яка утворюється у результаті суперпозиції двох біжучих хвиль від опозитно розташованих джерел: імпульсних пневмодинамічних генераторів. Утворена стояча хвиля є якісно більш енергонасиченішою, ніж біжуча, так як дозволяє передавати енергію як у повздожньому, так і у поперечному напрямках відносно вузлових точок (рис. 2.22), що дозволяє поширювати зону зворушення зернової маси по всьому об'єму піддона для зберігання зерна.



1 – діафрагма; 2 – сідло діафрагми; 3 – сопло Лаваля;

4 – відновлювальні елементи; 5 – пучності; 6 – вузли

Рисунок 2.22 – Схема процесу пневмоімпульсного барботування

Схема процесу пневмоімпульсного барботування представлено на рис. 2.22, для якого характерні наступні особливості:

– випускний патрубок виконується у вигляді сопла Лаваля з метою підвищити динамічність перебігу досліджуваного процесу;

– відношення діаметрів  $\frac{d_k}{D_k} = 0,7 \dots 0,95$ ;

– раптове відкриття клапана відбувається при тиску  $P_3$  та закриття - при тиску  $P_2$ , для яких рекомендується використовувати наступне співвідношення:

$$\frac{P_3}{P_2} = 3,5 \dots 5,0;$$

– спад тиску спостерігається через проміжок часу  $0,05 \dots 0,20$  с;

– подається повітря під тиском  $P_1 = 0,3 \dots 1,0$  МПа (швидкість підвищення тиску залежить від жорсткості пружини, що може регулюватися гайкою);

– робочі пневмокамери спорожнюється на різницю тисків  $P_3 - P_2$ .

Ударна хвиля через накопичене стиснене повітря формується у соплі. Після вирівнювання тиску у пневмокамері пружина повертає клапан у положення закривання. Збурювальна сила процесу складає:

$$F_{\pi}(x, t) = 2F_{3M} \sin kx \cdot \sin \omega t, \quad (2.144)$$

де  $F_{3M} = \frac{\Delta P}{S}$  – сила тиску, що є збурювальною силою даного коливального процесу, яку можна визначити за формулою:

$$F_{3M} = \frac{F_n}{2 \sin \frac{2\pi}{\lambda} x \cdot \sin \omega t}, \quad (2.145)$$

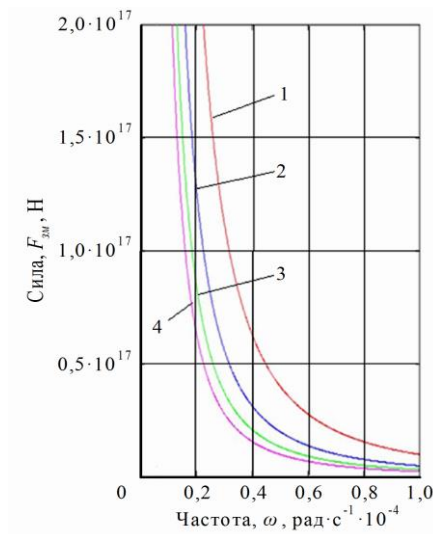
$$F_n = 0,3 \dots 0,5 \text{ МПа}; \quad \Delta P = P_3 - P_2.$$

Враховуючи, що відновлювальна сила  $F_{\pi P} = C_x \delta$ , тиск  $P_3$  складає:

$$P_3 = \frac{4F_3}{\pi d_k^2} = \frac{4C_x \delta}{\pi d_k^2}; \quad P_1 = \frac{F_\pi}{S_k} = \frac{F_\pi \cdot 4}{\pi \cdot D^2},$$

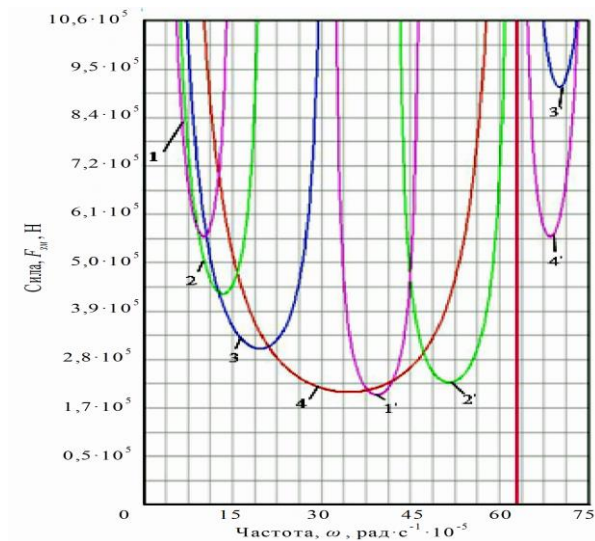
де  $P_3$  – тиск відкриття діафрагми.

Основні силові робочі характеристики імпульсної пневмодинамічної хвилі у розробленому барботері представлені на рис. 2.23 – 2.26, на яких представлено спектр зміни геометричних параметрів імпульсів за різних інтервалів циклічних частот.



- 1 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,05$  с;
- 2 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,1$  с;
- 3 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,15$  с;
- 4 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,2$  с

Рисунок 2.23 – Залежність силового імпульсу пневмодинамічного потоку від циклічної частоти зміни фаз хвилі  $\omega$  для протяжності хвильового імпульсу в межах частот  $\omega = 0-10^{-4}$  рад/с



- 1 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,05$  с;
- 2 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,1$  с;
- 3 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,15$  с;
- 4 – протяжність хвильового імпульсу  $t = 0,2$  с

Рисунок 2.24 – Залежність силового імпульсу пневмодинамічного потоку від циклічної частоти зміни фаз хвилі  $\omega$  для протяжності хвильового в межах частот  $\omega = 0...75$  рад/с

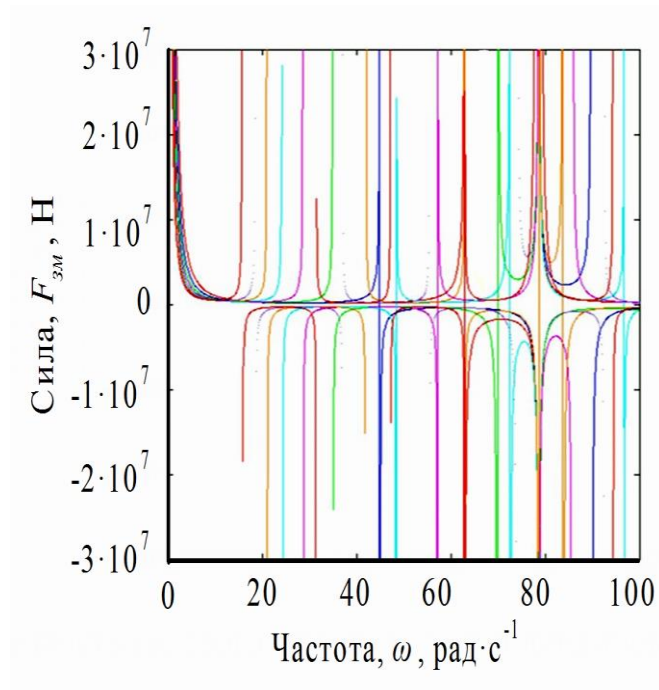


Рисунок 2.25 – Залежність силового імпульсу пневмодинамічного потоку від циклічної частоти зміни фаз хвилі  $\omega$  для протяжності хвильового імпульсу

$t = 0,05; 0,07; 0,09; 0,11; 0,13; 0,15; 0,17; 0,2$  с у межах

частот  $\omega = 0 \dots 100$  рад/с

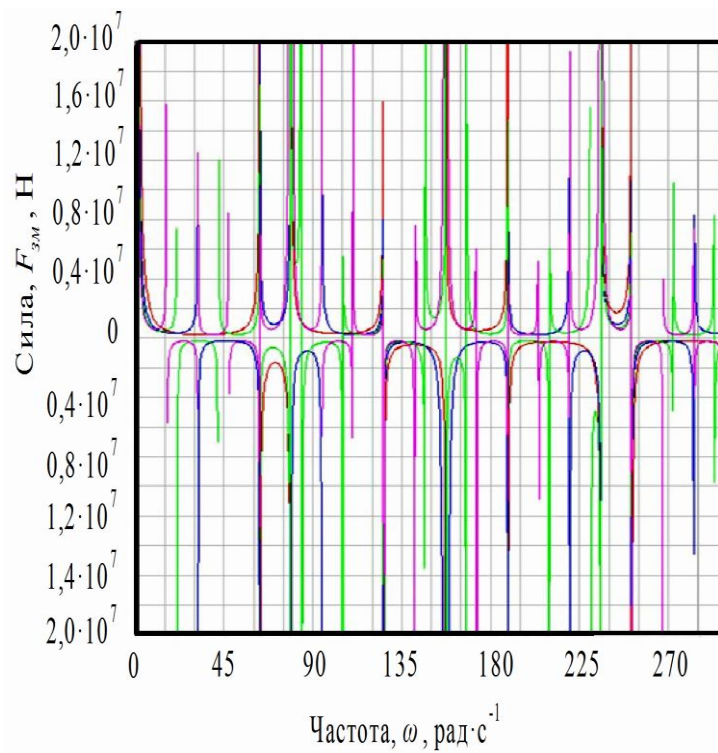


Рисунок 2.26 – Залежність силового імпульсу пневмодинамічного потоку від циклічної частоти зміни фаз хвилі  $\omega$  для протяжності хвильового імпульсу в

межах частот  $\omega = 0 \dots 300$  рад/с

Дані, які наведені на рис. 2.23, показують параболічну форму пневмодинамічного силового імпульсу хвилі та чітко визначають на півперіод його зміни. На рис. 2.24 представлено, на скільки збільшується інтервал фазової частоти хвилі при зміні періоду імпульсів від 0,05 до 0,20 с. Рис. 2.25 та 2.26 ілюструють, що силові імпульси утворених пневмодинамічних хвиль мають зміну як по величині, так і за напрямом, що сприяє інтенсифікації процесу зворушення або барботування.

#### **2.4 Обґрунтування технологічних параметрів пневмоімпульсного барботування зернової маси**

У цілому, представлені на рис. 2.22 - 2.25 графіки дають можливість визначити основні параметри імпульсів для різних фазових частот та періодів імпульсів, зокрема енергію хвилі, що необхідно для розрахунку можливості подолання опору зернової маси у піддоні. Також можемо відзначити, що найбільш сприятливими параметрами досліджуваного процесу є протяжність хвильового імпульсу 0,2 с у межах частот від 0...100 рад/с.

Розрахунок технологічних характеристик проектного процесу барботування проводимо, виходячи із можливості подолання опору зернової маси, що зберігається енергією імпульсної пневмодинамічної дії. Теоретично визначені параметри біжучої хвилі достатньо адекватно відповідають імпульсному пневмодинамічному генераторові Буча – К, для якого енергія хвилі складає 2 КДж при енерговитратах порядку 1,2...1,5 кВт.

Шукані технологічні параметри мають дозволити здійснити прогнозоване координатне розміщення джерел пневматичних потоків по площині та висоті ємкостей для розміщення продукції, їх кількість та можливість забезпечення ефективного зворушення у заданих масивах сипкої маси.

При розміщенні зернової маси об'єм продукції на одному піддоні складає:

$$V_1 = h_{\pi} \cdot l \cdot b = 1,8 \cdot 5 \cdot 3 = 27 \text{ м}^3;$$

де  $m_{IP} = V_1 \cdot \rho_{IP} \cdot n_{II} = 27 \cdot 760 \cdot 10 = 205200$  кг – маса продукції, що можливо розмістити у піддонах;  $l$  та  $b$  – відповідно довжина та ширина експериментального піддона, м;  $h_n$  – висота шару продукції у піддоні, м; приймаємо  $l = 5$  м,  $b = 3$  м,  $h_n = 1,8$  м;  $\rho_{np}$  – щільність продукції, кг/м<sup>3</sup>;  $n_n$  – кількість піддонів.

Необхідну кількість імпульсних пневмодинамічних генераторів або барботерів для ефективного зворушення сипкої маси у піддонах визначали з розрахунку відповідного опору технологічного зернового середовища при розповсюдженні у ньому динамічних хвиль повітряного потоку за наступною формулою [ 55]:

$$P_{об} = k_{acn} \cdot \frac{h_{np}}{d_{екв}} \cdot \frac{6 \cdot k_\rho \cdot k_\phi}{(1 - k_\rho)} \cdot \rho \frac{v_n^2}{2}$$

$k_{acn} = 0,184 \dots 0,265$  – для турбулентного потоку:

$k_{acn} = 0,21$  – аеродинамічний коефіцієнт у процесі аспірації.

$k_{acn} = \frac{k_1}{R_e} + \frac{k_2}{R_e^n}$  для турбулентного потоку:  $k_1 = 9$ ;  $k_2 = 1$ ;  $n = 0,16$  [5];

$d_{екв} = 6,0$  → приймаємо за розміром зернини, мм – еквівалентний діаметр зернівки;

$k_\rho = \frac{\rho_3}{\rho_n} = \frac{1330}{760} = 1,75$  – коефіцієнт щільність продуктової маси;

$\rho_3 = 1,2 \dots 1,5$  т/м<sup>3</sup> →  $\rho_3 = 1330$  кг/м<sup>3</sup> – щільність зернової маси для пшениці;

$\rho_n = 730 \dots 850$  т/м<sup>3</sup> →  $\rho_n = 760$  кг/м<sup>3</sup> – насипна щільність продукції для пшениці;

$k_\phi = 0,52$  – коефіцієнт форми для пшениці;

$\rho = 1,2255$  кг/м<sup>3</sup> – щільність повітря;

$v = 8,9 - 11,5$  м/с →  $v = 100$  м/с – швидкість переміщення імпульсів повітряного потоку.

У результаті шуканий опір, що складає сипке середовище повітряному потоку, становить:

$$P_{on} = 0,21 \cdot \frac{0,7}{6 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{6 \cdot 0,52}{(1-1,75)^3} \cdot 1,2255 \cdot \frac{10^2}{2} = 11,1 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$$

Робочий тиск у системі, що забезпечує пневмоімпульсний генератор становить:

$$P_p = 0,8 \dots 1,0 \text{ МПа} \rightarrow P_p = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2 \cdot$$

Тоді кількість повітряних потоків, що може забезпечити один імпульсний пневмогенератор визначається як:

$$n_n = \frac{P_p}{P_{on}} = \frac{0,9 \cdot 10^6}{11,1 \cdot 10^3} = \frac{900}{11,1} = 81 \text{ потік.}$$

Таким чином, енергії хвилі двох опозитно розташованих пневмоімпульсних генераторів вистачає для здолання опору зернового середовища для однієї робочої ємкості, що достатньо для забезпечення у ній ефективного зворушення сипкої маси потоком холодоносія.

## Висновки за розділом 2

1. За результатами теоретичного аналізу процесу сепарації насіння при виході з живильного пристрою встановлено, що найефективніше розділення насіння соняшнику досягається за кута нахилу розподільника  $\alpha = 40^\circ$  і швидкості сходження матеріалу у потік повітря  $v_0 = 0,8$  м/с.

2. Математичне моделювання процесу віброаспіраційного сепарування у центральній частині розподільника виявило, що: розщеплення траєкторій середньої та важкої фракцій відбувається у межах 20...40 %; швидкості витання часток складають відповідно 3,2...8,0 м/с та їх прискорення 1,8...3,3 м/с<sup>2</sup>, що створює необхідні умови для чіткого та якісного розділення необхідних фракцій.

3. Із огляду на отримані різниці кінематичних характеристик для розділюваних фракцій зерноsumіші діаметр матеріалопроводу для середньої фракції має знаходитися у межах 90–100 мм, а для важкої – 50...70 мм. Такі

результати отримано на основі аналізу руху центральної труби вертикального розподільника, яка знаходиться під впливом збурювальної сили на рівні 68...100 Н та обертового моменту у межах 2700...4100 Нм.

4. Теоретичні графічні залежності траєкторії руху центра мас робочого вальця свідчать про стабільний хвильовий режим руху у межах кутової швидкості приводного вала віброзбуджувача 50...80 рад/с, що відповідає віброшвидкості 0,10...0,18 см/с. Абсолютні значення збурювальної сили та потужності віброзбуджувача різко зростають за кутової швидкості приводного вала більше 100 рад/с, що обмежує верхній режимний частотний інтервал та обумовлює раціональні межі кутових швидкостей 50...80 рад/с.

5. У результаті математичного моделювання процесу імпульсного барботування сипкої маси потоком холодоносія виявлено ефективність створення стоячої пневмодинамічної хвилі за опозитного розташування імпульсних генераторів, що дозволяє передавати кінетичну енергію потоку як у повздовжньому, так і поперечному напрямках, значно інтенсифікуючи зворушення зернової продукції при її зберіганні. Робочий тиск імпульсного барботера має знаходитися у межах 0,3...0,5 МПа та співвідношення тисків відкривання та закривання діафрагми пневматичної робочої камери відповідно  $P_3 = (3,5...5,0)P_2$ .

6. Спектр зміни геометричних параметрів імпульсів фіксованої протяжності за різних інтервалів циклічних частот виявив їх параболічний характер та достатньо близькі траєкторії, що підтверджує схильність таких хвиль до суперпозиції при зустрічному їх русі та високі потенційні можливості інтенсифікації процесу барботування і зворушення зернових мас при опозитному розташуванні імпульсних генераторів.

7. Енергії хвилі двох опозитно розташованих пневмоімпульсних генераторів вистачає для здолання опору зернового середовища у 81 напрямі для однієї робочої ємкості, що достатньо для забезпечення у ній ефективного зворушення сипкої маси потоком холодоносія.

## РОЗДІЛ 3

### ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Програма експериментальних досліджень

1. Дослідити основні характеристики процесу сепарації насінневого матеріалу, зокрема визначити:

- вплив швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі на поділ насіння;
- необхідну довжину вертикального аспіраційного каналу для поліпшення процесу;
- відстань зміщення відносно центральної осі аспіраційного каналу.

2. Дослідити основні характеристики процесу інфрачервоного сушіння насіння сої у рухомому шарі, зокрема:

- вплив швидкості інфрачервоного сушіння залежно на зміну вологості продукції;
- закономірності зміни швидкості сушіння та вологості матеріалу залежно від потужості випромінювача інфрачервоних хвиль та маси продукції.

3. Дослідити основні характеристики процесу охолодження зернових у процесі зберігання, зокрема:

- вплив шпаруватості, вологості та щільності на коефіцієнт теплопровідності;
- вплив температури на якість клейковини у період зберігання;
- вплив температури на індекс деформації клейковини у період зберігання;
- вплив температури на вологість у період зберігання;
- визначити закономірності зміни сили під час проходження пневнодинамічної хвилі у процесі пневноімпульсного барботування зернової продукції.

При виборі та розробці методик виконання досліджень було здійснено складання плану експериментів (рис. 3.1) та їх розгорнутого плану (рис.3.2).

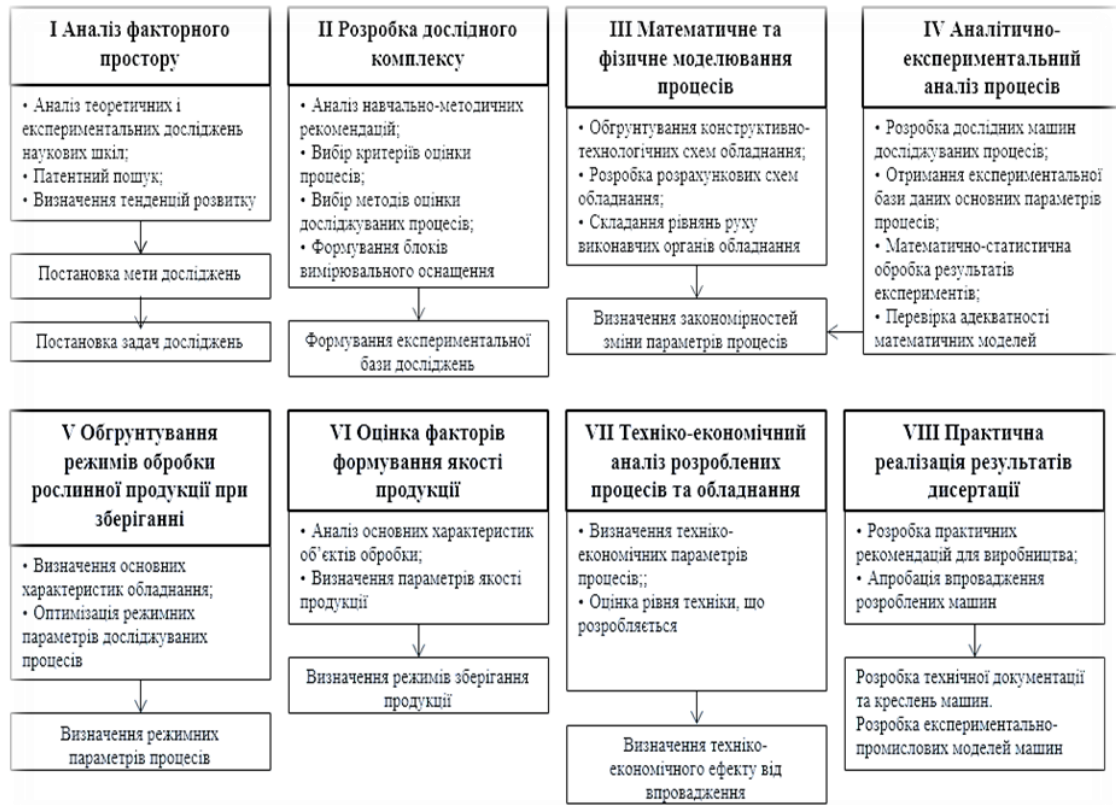


Рисунок 3.1 – План проведення експериментальних досліджень



Рисунок 3.2 – Розгорнутий план досліджень за основними процесами, що розробляються

Для проведення досліджень у процесах: сепарації, міжопераційного транспортування до сушіння, охолодження використовували різну рослинницьку продукцію, а саме насіння соняшнику Ясон, сої (сорт Мрія) , пшениці (сорт Шестопалівка).

У ході експериментальних досліджень були розроблені і виготовлені лабораторні установки та необхідні прилади для реєстрації результатів.

## 3.2 Методики експериментальної оцінки параметрів процесу віброаспіраційного фракціонування насіння соняшнику

### 3.2.1 Експериментальна установка

Експериментальна установка для дослідження віброаспіраційного сепаратора представлена на рис. 3.3, 3.4.



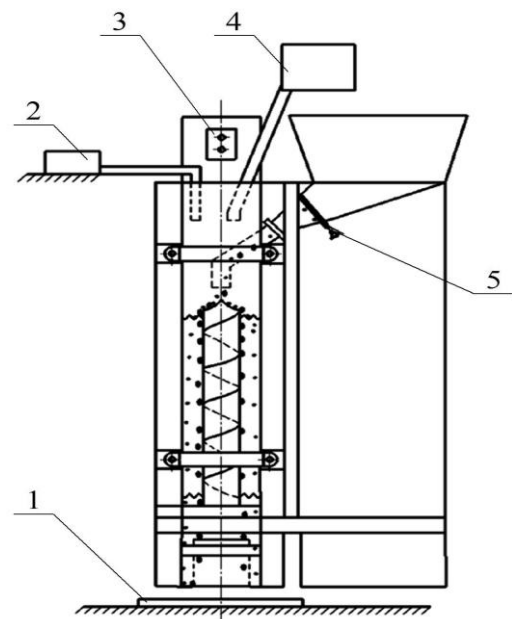
а)

б)

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд:

а) віброаспіраційного сепаратора;

б) конус з парусними елементами



1 – уловлююча поверхня;

2 – трубка Піто–Прандтля;

3 – вентилятор; 4 – анемометр;

5 – регулятор подачі сировини

Рисунок 3.4 – Експериментальна установка для дослідження роботи віброаспіраційного сепаратора

Утворений автоколивальний режим центрально розташованого роторного елемента дозволив збільшити рушійну силу процесу розділення за рахунок використання разом із аспіраційною та гравітаційною дією збурювального знакозмінного обертового моменту, а також поліпшення чіткості фракціонування через виникнення коріолісового прискорення за такого силового впливу.

### **3.2.2 Визначення швидкості повітряного потоку в аспіраційному каналі**

При недостатній швидкості повітряного потоку аеродинамічні властивості насіння не призводять до ефективного розщеплення траєкторій часток окремих фракцій, а в умовах зовнішньої швидкості значна частина насіння буде подана доверху вентилятором. [153, 154, 178, 182-189]

Дослідження характеристик повітряного потоку проводили при використанні експериментальної установки сепаратора та лабораторно-вимірювального оснащення, зокрема, трубки Піто-Прандтля, мікроманометра рідинного компенсаційного з мікрометричним гвинтом типу МКВ-250 (рис. 3.5) та анемометра АРИ-49. В якості робочої рідини використовували денатурований спирт. Діапазон вимірювань мікроманометра складає 0 - 250 Па, допустима похибка – 0,02 % [190].

При проведенні експериментальної оцінки швидкості повітряного потоку спочатку мікроманометр рідинний компенсаційний з мікрометричним гвинтом типу МКВ-250 за допомогою лімба виставляли на нуль. За допомогою гайки, яка переміщує оптичну ємність, встановлювали рівень рідини в системі так, щоб вона дотикалася до вершини штифта-указника. Далі трубку Піто-Прандтля за допомогою гумового перехідника приєднували до виходу мікроманометра для вимірювання величини розрідження повітря. Після вмикання вентилятора трубку Піто-Прандтля встановлювали в отвір у вертикальному аспіраційному каналі на визначену відстань [183, 190].



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд мікроманометра МКВ-250

При цьому рівень рідини в оптичній ємності мікроманометра понизиться. Потім оптичну ємність піднімали до тих пір, поки рівень рідини в оптичній системі та вершина штифта указника не будуть дотикатися. За допомогою лінійки та лімба мікроманометра МКВ-250 визначали висоту стовпа рідини, який врівноважував розрядження. Далі відзначали відлік за двома шкалами та фіксували результат [164, 190].

Динамічний тиск визначали за формулою:

$$P_o = P_n - P_{cm},$$

де  $P_n$  – повний тиск, мм вод. ст.,  $P_{cm}$  – статичний тиск, мм вод. ст.

Переведення показань шкали мікроманометра при вимірюванні в Па розраховували за формулою:

$$P = P_o \cdot K \cdot g,$$

де  $P_o$  – показання шкали мікроманометра при вимірюванні, мм вод.ст.;  $K$  – коефіцієнт, який визначає різницю щільності рідини і повітря при даній температурі;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ .

Для побудови тарувальної кривої використовували анемометр АРІ-49, який встановлювали у визначеній точці вертикального каналу назустріч потоку повітря. Після цього в цій же точці за допомогою трубки Піто-

Прантля фіксували показання шкали мікроманометра МКВ-250. Дослідження проводили в десяти точках.

Критичну швидкість повітряного потоку визначали за умови вилучення або зависання всередині каналу найбільш легкої із сепарованих насінин у такій послідовності.

Під нижнім кінцем аспіраційного каналу вентилятора на відстані встановлення бункерів-поділювачів фракцій (близько 10см) монтували горизонтальну поверхню, виконану з ДСП, яка за своїми розмірами перевищувала діаметр аспіраційного каналу не менше ніж на 20 %, тобто не менша за 300 мм. На плиті відзначили центр аспіраційного каналу та радіуси у межах від 10 мм до 300 мм, через кожні 10 мм. Поверхню плити мастили зверху тонким шаром (0,5-1,0 мм) світлої консистентної рідини Літол-24. Далі проводилася серія експериментів, у ході яких здійснювали вкидання точно по центру 10 насінин різної щільності та за допомогою штангенциркуля та розмічених кіл, визначали радіуси рознесення кожної із насінин, вираховуючи середні величини. Повторювалася серія досліджень при зміні величини повітряного потоку за допомогою регулятора від 0 до 150% критичної швидкості на 10% послідовно, користуючись трубкою Піто-Прандтля.

Використовуючи в якості критерія оцінки максимальну різницю у радіусах рознесення між фракціями насіння, отримали величину раціональної швидкості повітряного потоку в аспіраційному вертикальному каналі розробленого сепаратора, а також необхідні енерговитрати на процес.

### **3.2.3 Визначення довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора**

За недостатньої довжини аспіраційного каналу сепаратора траєкторії руху часток різних фракцій будуть занадто близькі для чіткого розділення, а при великій довжині вертикального каналу спостерігаються перевитрати енергії та збільшення висоти бункера. Окрім того, збільшується ймовірність

повторного витання насіння при обертанні в процесі розщеплення від стінки до центра аспіраційного каналу, що, відповідно, погіршує якість фракціонування [57, 145-150, 179-181].

На основі результатів попередніх експериментальних досліджень при допомозі трубки Піто-Прандтля встановлювали отриману швидкість повітряного потоку та висоту постачання насінин на рівні 10см, тобто на перерізі нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу сепаратора, під яким також на відстані 10см монтували належним чином оснащену плиту з ДСП, що була представлена вище. Згідно з методикою проведення попереднього експерименту, повторювали дослідження при зміні висоти вкидання насіння по відношенню до нижнього кінця вертикального аспіраційного каналу сепаратора у межах від 0мм (10см від площини бункерів-поділювачів) та до 1,0 м через кожні 10мм до максимальної довжини вертикального каналу сепаратора, тобто до верхньої його частини із лопатями вентилятора. Отримані результати дали змогу зробити висновок щодо шуканої раціональної довжини аспіраційного каналу [152, 171, 195, 197].

### **3.2.4 Визначення діаметра аспіраційного каналу установки**

За недостатньо великого діаметра вертикального аспіраційного каналу розщеплення траєкторії падаючих насінин буде обмежено його бічними внутрішніми стінками, що знижує чіткість відбору насіння за щільністю. Окрім того, викликає труднощі встановлення всередині сепаратора патрубку необхідного діаметра для подачі насіннєвого матеріалу. Перевищення розмірів аспіраційного каналу призводить до значних енерговитрат, особливо при створенні повітряного потоку великої продуктивності.

Попередньо був розроблений пристрій для фіксації та подачі насіння та виготовлений у вигляді електромагнітного реле типу РЕС-6 із знятим корпусом, позаду якого була зафіксована скоба для затискання та металева смуга для утримання всього пристрою у просторі. У ході даних

експериментальних досліджень розроблений пристрій монтували точно у центрі перерізу верхньої частини вертикального аспіраційного каналу сепаратора. Під нижнім кінцем вертикального аспіраційного каналу на відстані 10 см була встановлена та підготовлена до випробувань відзначена вище плита з ДСП. Після забезпечення необхідної повторюваності вкидання кожної з 10 піддослідних насінин за попередньою методикою вимірювали найменшу відстань від насінини до найближчої стінки вертикального аспіраційного каналу сепаратора та визначали його середнє значення. У результаті була отримана максимальна відстань постачання насіння у верхній частині аспіраційного вертикального каналу сепаратора, при якій не відбувається зіткнення легкого насіння з бічними стінками сепараційного каналу та, відповідно, обґрунтована раціональна величина діаметра аспіраційного каналу установки [50, 95, 143, 151, 160].

### **3.2.5 Визначення діаметра патрубк постачання насіння усередині вертикального аспіраційного каналу**

Зменшення діаметра патрубк постачання насіння усередині вертикального аспіраційного каналу знижує продуктивність сепаратора, у той час, як його збільшення призведе до міграції насіння по сусідніх приймальних бункерах фракцій.

Аналогічно попереднім дослідженням у вертикальному аспіраційному каналі встановлювали пристрій для фіксації та введення насіння на відстані від нижнього кінця каналу заданої довжини, під нижнім кінцем якого монтували відзначену вище мішень-плиту. Після встановлення пристрою для фіксації та постачання насінин проводили вимірювання відстані радіуса рознесення 10 насінин різної щільності [28, 39, 156, 157, 159, 161, 191-193].

Використовуючи агротехнічні вимоги до розмірів продукції, які відповідають середній масі 1000 шт насінин, відбирали такі, що не придатні до сівби, щоб виключити їх потрапляння до патрубк з цінною фракцією.

Даний циліндричний патрубок необхідних розмірів був закріплений на мішені.

Після цього отримана мішень була змонтована на відстані 20 см від нижнього кінця аспіраційного вертикального каналу сепаратора, тобто циліндричний імітатор горловини фракції I із оцинкованої сталі розташовували точно у місці майбутнього штатного розташування приймача продуктів поділу цінної фракції насінневого матеріалу. Для фракції II був виготовлений циліндричний патрубок із оцинкованої сталі товщиною 0,55 мм та висотою 10 см із зовнішнім діаметром 200 мм та закріплений концентрично навколо циліндра фракції I на тій же мішені.

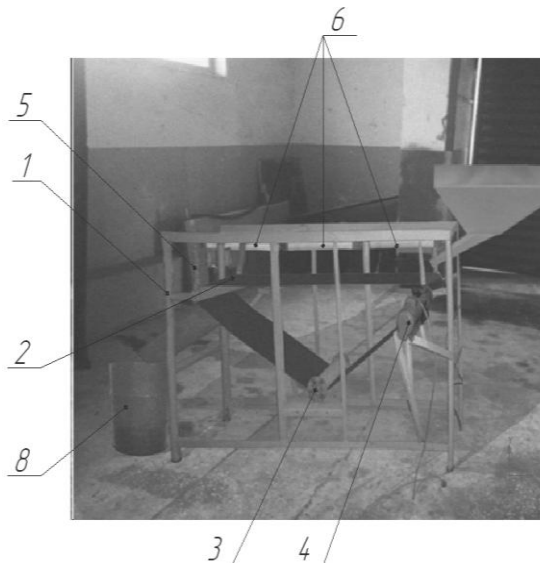
Змінюючи у ході випробувань із необхідною повторюваністю відстань постачання насіння, починаючи від центрального положення через 5 мм, проводили сепарацію піддослідних насінин різної щільності. Отримана відстань постачання насіння у верхній частині вертикального аспіраційного каналу сепаратора дорівнює відповідному діаметру патрубку фракцій продукції, що дозволило обґрунтувати шукані геометричні параметри приймального пристрою розробленого сепаратора [145-148, 194, 196].

### **3.3 Визначення основних параметрів розроблених елементів досліджуваної віброконвеєрної інфрачервоної сушарки**

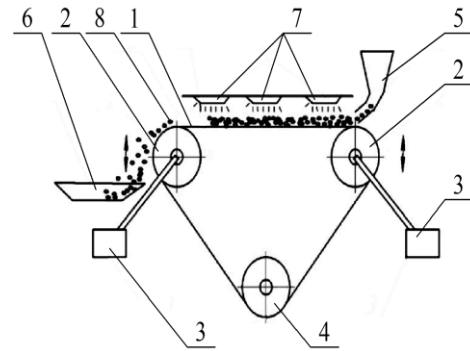
#### **3.3.1 Експериментальна установка**

Серед основних параметрів досліджуваної вібромашини можна відзначити тепломасообмінні та фізико-механічні, які визначалися при використанні розробленої експериментальної моделі конвеєрної сушарки, що представлена на рис. 3.6, 3.7.

Розпущення маси продукції під дією знакозмінних навантажень призводить як до зменшення внутрішнього тертя та вязкості у технологічному середовищі, так і до забезпечення рівномірної теплової обробки сипкої продукції.



1 – рама; 2 – стрічка; 3 – натяжний коток; 4 –привод; 5 –пружні елементи; 6 – випромінювачі; 7 –завантажувальний бункер; 8 – вивантажувальний патрубок  
Рисунок 3.6 – Загальний вигляд установки віброхвильового транспортування насіння в віброконвеєрній інфрачервоній установці



1 – стрічка; 2 – котки; 3–валці; 4 – натяжний коток; 5 – завантажувальний патрубок; 6 – смінь; 7 – інфрачервоні випромінювачі; 8 – оброблюваний матеріал  
Рисунок 3.7 –Експериментальна установка для дослідження роботи віброконвеєрної інфрачервоної сушарки

Таким чином, застосування запропонованої конструкції сушарки з кінематичним методом віброзбудження дасть можливість значно інтенсифікувати процес видалення вільної та фізично зв'язаної вологи за рахунок створення псевдозваженого стану оброблювального матеріалу, зменшити метало- та енергоємність апарату та забезпечити умови ефективного зрівноваження даної коливальної системи.

### 3.3.2 Фізико-механічні параметри процесу

Аналіз віброхвильової коливальної системи проводили за кінематичними, силовими та енергетичними критеріями оцінки. В якості кінематичних характеристик досліджували амплітуду коливань, кутову швидкість обертання приводних валів віброзбуджувачів, віброшвидкість та віброприскорення.

Амплітуду коливань визначали трьома способами: методом концентричних кол за допомогою апаратури Robotron та при використанні ручного віброметра. Перший метод базується на отриманні шуканої амплітуди за візуальною зміною траєкторії кіл, що представлені на спеціальних датчиках, які були наклеєні на віброуючій поверхні. При застосуванні апаратури Robotron попередньо вібраційні датчики жорстко монтувалися на поверхні, що коливається; далі сигнали з датчиків знімалися з осцилографів та перетворювалися у фізичні величини. При використанні віброметрів сигнал з віброуючої поверхні подавався та розшифровувався безпосередньо на ПЕОМ. Останній метод є найбільш простим, компактним, хоча характеризується дещо більшою похибкою вимірювань.

При вимірюванні частоти коливань використовували комплекс електротехнічних пристроїв, який дозволяє повільно змінювати частоту обертання приводного вала віброзбуджувача, контролювати напругу та силу електричного струму. При визначенні частоти обертання приводного вала на торці останнього встановлювали жорстко датчик, який передавав сигнал до тахометра. Використовували також і більш простий спосіб даного вимірювання: за допомогою цифрового частотоміра, який не вимагає громіздкого допоміжного оснащення, хоча і має більшу похибку вимірювань.

Віброшвидкість та віброприскорення визначали аналітично при використанні величин двох попередньо відзначених характеристик, а також вимірюванням при допомозі апаратури Robotron та віброметра.

Амплітудно-частотні характеристики дозволяють виявити ділянки дорезонансних піків та встановленого режиму роботи виконавчих органів

машин, що дозволило обґрунтувати дорезонансний режим за умов ефективного віброзахисту.

Силовий аналіз проводили, досліджуючи параметри вібрації для альтернативних способів незрівноваженості коливальної системи при варіюванні інерційних зусиль, що виникають в опорних котках стрічки при роботі віброзбуджувачів. При цьому варіювали положення дебалансних противаг одна відносно одної, змінюючи тим самим величину інерційних сил у коливальній системі.

Швидкість міжопераційного транспортування сипкої продукції в умовах інфрачервоного опромінення визначали як добуток відзначених вище амплітуди та частоти коливань, так як саме дія даних параметрів призводить до утворення механічної хвилі на поверхні гнучкої вантажонесучої стрічки, що створює необхідний транспортний рух зернової продукції.

Серед енергетичних характеристик досліджували витрати потужності на привод, а також питомі витрати потужності на одиницю коливальної маси системи. Перший параметр визначали за допомогою ватметра, що входить у комплекс вимірювальної апаратури. Другий параметр визначався як добуток величин віброшвидкості та віброприскорення.

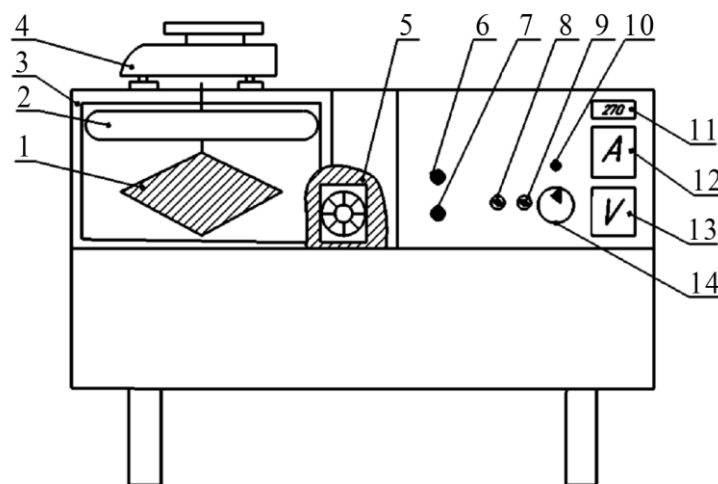
Силові та енергетичні характеристики дають можливість оцінити витрати енергії на привод та побудувати баланс потужності віброзбуджувачів. Комплексний аналіз означених параметрів дозволяє знайти режими, що відповідають максимальній динамічності системи за мінімальних енерговитрат на привод та мінімізації динамічних впливів як на опорні елементи конструкцій, так і на частки продукції або насіння.

### **3.3.3 Тепломасообмінні характеристики досліджуваного процесу інфрачервоного сушіння**

Синхронізацію роботи віброзбуджувачів в опорних котках (вальцах) машини (рис.3.6) проводили з метою отримання таких параметрів хвилі на робочій частині стрічки, щоб забезпечити як стійку подачу продукції, так і

максимальну продуктивність машини. При цьому задовольняли умови досягнення потрібного вилучення вологи за один прохід продукції на хвильовому конвеєрі [154, 166, 167, 179].

Для визначення основних параметрів інфрачервоного опромінення, серед яких можна відзначити температуру у зоні обробки, потужність випромінювачів, час обробки, масові характеристики наважки продукції впродовж термічного впливу, було використано устаткування, що представлено на рис.3.8. [179].



1 – корзина; 2 – інфрачервоний опромінювач; 3 – сушильна камера; 4 – електронні ваги; 5 – вентилятор витяжний; 6, 7 – вмикач та вимикач установки; 8 – вмикач вентилятора; 9 – вмикач інфрачервоного опромінювача; 10 – перемикач показчика температури; 11 – регулятор потужності; 12 – вольтметр; 13 – амперметр; 14 – показчик температури продукту

Рисунок 3.8 – Схема устаткування для сушіння з використанням інфрачервоного опромінювача

Зміну температури на другому етапі здійснювали за допомогою регулювання величини електричної потужності або збільшенням відстані продукту до джерела інфрачервоного опромінювання. Конструкційні рішення з компоновки блоку інфрачервоних ламп і самих генераторів

забезпечували досягнення рівномірного опромінювання згідно вимог переробки відповідного зернового матеріалу.

При виконанні вимірювань усередині сушильної камери 3 розміщували корзинку 1 з наважкою досліджуваного продукту, яка за допомогою мідного дроту сполучена з електронними вагами 4. За допомогою спеціального регулятора встановлювали необхідну потужність інфрачервоного опромінювача. Далі щохвилини знімали показники маси та температур повітря і продукту. Для вимірювання температур повітря і продукту використовували термопару хромель-алюмель, сполучену з потенціометром, який за допомогою перемикача 10 відображав температурні дані на показнику 14. Силу електричного струму визначали за допомогою кліщів, що представлені на рис.3.9 [168, 202].



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд струмових кліщів



Рисунок 3.10 – Загальний вигляд вологоміра для зерна AQUA-15

Для визначення вологості продукції використовували вологомір для зерна AQUA-15 (рис. 3.10). Після вибору потрібного виду сільськогосподарської культури вимірювали електроємність порожньої камери, доки на екрані не з'явиться напис «Засипати пробу». Далі засипали відібрану пробу сої, заповнюючи камеру повністю під самий верх, і вмикали визначення вологості. Через деякий час на екрані з'являлися показники вологості і температури продукції [203].

При обробці результатів експериментальних досліджень користалися статистичним аналізом, який базується на теорії випадкових похибок, що дає можливість з певною ймовірністю вирахувати дійсне значення вимірної величини і оцінити можливі похибки.

Отримані експериментальні дані згідно з планом досліджень ( рис.3.1) дозволили обґрунтувати режимні параметри розробленої віброконвеєрної інфрачервоної сушарки, основні характеристики віброхвильового механізму міжопераційного транспортування сипкої продукції у робочій зоні та провести техніко-економічний аналіз розробленої коливальної системи.

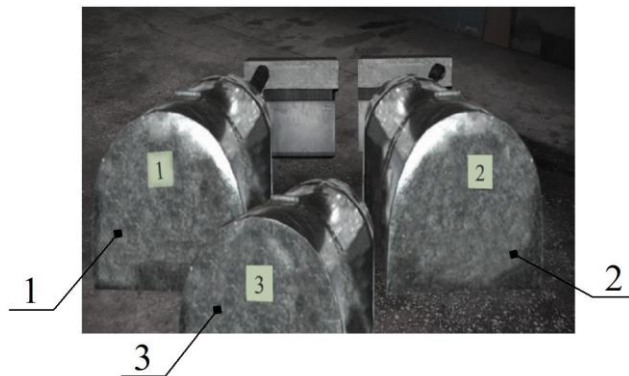
### **3.4 Визначення основних характеристик процесу зберігання при активному вентиляванні холодоносієм**

#### **3.4.1 Експериментальна установка та вимірювальне оснащення**

Нами було запропоновано та виготовлено у Таврійському державному агротехнологічному університеті експериментальні зерносховища для дослідження процесу охолодження пшениці з використанням різних режимів зберігання та встановлення показників якості пшениці, що зберігається [199-200]. Експериментальна установка для дослідження процесу охолодження зерна (рис. 3.11 і рис. 3.12) складається з мінізерносховищ, охолоджувальних пристроїв, датчиків включення та фіксування температурних режимів [205, 206].

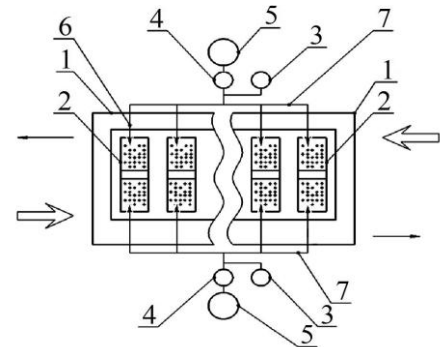
Для кожного із зерносховищ був вибраний температурний діапазон, завдяки якому можливо спостерігати зміну показників якості пшениці. У ході експерименту використовували 3 зерносховища (рис.3.11), де підтримували різний мікроклімат зерносховищ. Два експериментальних зерносховищ, де температура знаходилась відповідно, у першому зерносховищі від 0...8°C, а в другому від 8...15 °С, що стосовно 3 зерносховища ( контрольний варіант без застосування охолодження, тобто базовий). У процесі охолодження

використовували однаковий початковий матеріал, тобто пшениця на початку експерименту була закладена з однаковими показниками.



1 – модель зерносховища №1 із застосуванням охолодження в діапазоні температур зернової маси від  $0...8^{\circ}\text{C}$ ;  
 2 – модель зерносховища №2 із застосуванням охолодження в діапазоні температур зернової маси від  $8...15^{\circ}\text{C}$ ;  
 3 – модель зерносховища №3 без застосування охолодження

Рисунок 3.11 – Загальний вигляд експериментальних установок для зберігання зернової продукції



1 – зерносховище; 2 – піддони;  
 3 – вентилятор;  
 4 – пневмоімпульсний барботер;  
 5 – охолоджувачі;  
 6 – колектори;  
 7 – трубопроводи

Рисунок 3.12 – Експериментальна установка для дослідження системи охолодження із зворушуванням насіння

Зміна подачі холодоагента здійснювалась за рахунок керування частоти обертання вентилятора холодогенератора за допомогою автотрансформатора АОСН-20-220-75, який призначений для роботи зі змінним струмом та містить рухомий струмознімальний контакт у вигляді графітового ролика, що дозволяє повільно змінювати величину напруги. Реєстрація частоти обертання приводного вала вентилятора виконувалась за допомогою безпроводного тахометра UNI-T UT372.

Для визначення енергетичних характеристик досліджуваної установки використовувався електронний ватметр EMF-1. При вимірюванні маси користувалися лабораторними вагами JADEVERSNUGII-150 з діапазоном вимірювання  $0-500\text{ г}$  [203].

Температуру холодоагента оцінювали сертифікованим термометром «Infrared Thermometer», який інтегрований у контролер температури «SPLIT» (рис. 3.13).

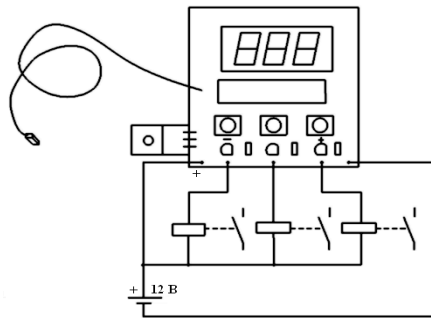


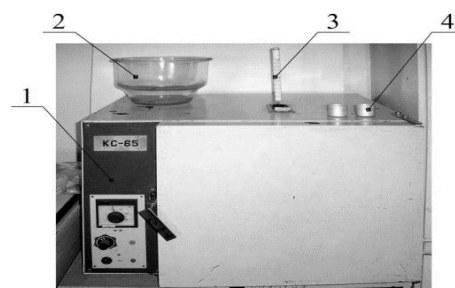
Рисунок 3.13 – Загальний вигляд контролера температури «SPLIT»

Для вимірювання швидкості руху повітря у повітропроводі застосовували ручний анеометр МС-13 ГОСТ 6376-74, що характеризується такими параметрами: діапазон виміру 1-20 м/с, поріг чутливості 0,8 м/с, похибка вимірювання  $\pm 0,3$  м/с. Для вимірювання тиску повітряного потоку у повітропроводі використовували багатомезовий мікроманометр з нахиленою трубкою ММН-240 ТУ-25-01-277-70.

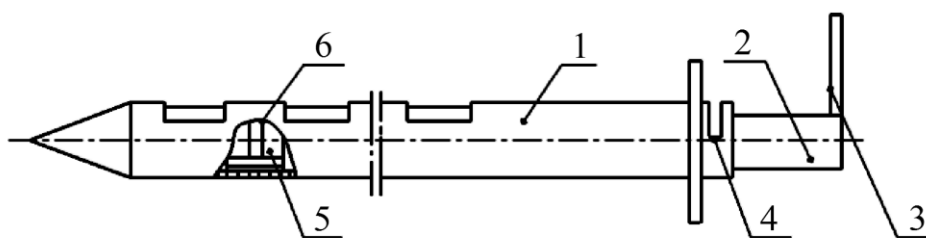
Для контролю вологості зерна використовувався вологомір «Wile-55» (рис. 3.14). Для оцінки забрудненості шкідниками використовувалась мікробіологічна шафа (рис. 3.15) [199-203].



Рисунок 3.14 – Загальний вигляд вологоміра «Wile-55» для контролю вологості зерна



1 – завантажувальна шафа;  
2 – ексикатор; 3 – термометр; 4 – бюкса  
Рисунок 3.15 – Загальний вигляд обладнання для оцінки забрудненості шкідниками зерна



1 – зовнішній патрубок; 2 – внутрішній патрубок; 3 – заслінка; 4 – камера; 5 – важіль; 6 – фіксуєча заслінка

Рисунок 3.16 – Схема трубчастого пробовідбірника

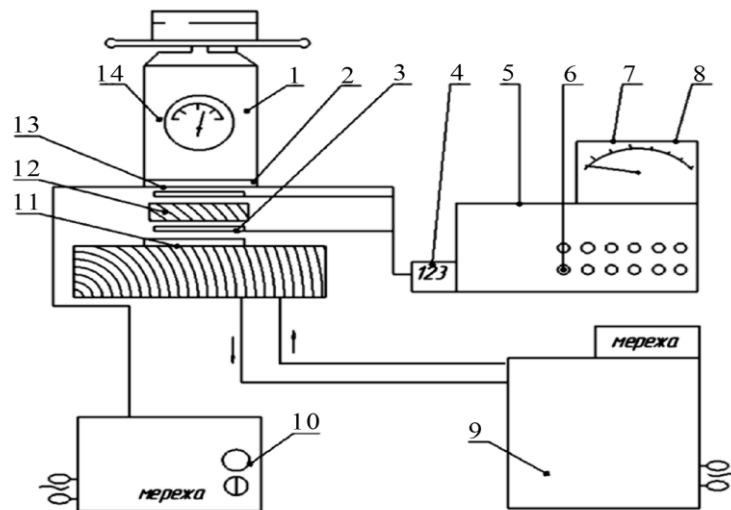
Забір зернової сировини було здійснено за методом точкового відбору з використанням лабораторного пробовідбірника, схема якого зображена на рис.3.16. У зовнішньому патрубку 1 з конічним наконечником і вікнами по довжині щільно вставляється внутрішній патрубок 2, розділений заслінками 3 на ряд камер 4. Кожна камера має вікно, яке за розмірами і розміщенням збігається з отвором у патрубку 1. Під час повороту внутрішньої трубки 2 за допомогою важеля 5 отвори в ній збігаються з отворами в зовнішній трубці або перекриваються її стінками. Положення «камери відкриті» і «камери закриті» фіксуються заслінкою 6, що розміщується у стінці внутрішньої трубки. Після уведення пробовідбірника до приготовленої суміші камери внутрішньої трубки закриті, після фіксації глибини введення пробовідбірника камери відкриваються, у них самопливом засипається суміш, потім камери закриваються і пробовідбірник виймається. При цьому суміш кожної камери становить одну пробу [201].

### 3.4.2 Визначення основних теплообмінних параметрів

Коефіцієнт теплопровідності пшениці визначався на лабораторній установці для визначення коефіцієнта теплопровідності сільсько-господарських матеріалів (рис.3.17).

При виконанні вимірювань спочатку включали термостат 9 та нагрівач 13. Потім продукт поміщали у зразок (комірку) 12, теплоізолюваний

з бічних сторін. Зверху на нього укладали гарячу термопару 3 і притискали нагрівач, знизу - холодну термопару і холодильник 11, у якому закріплено датчик теплового потоку. Затискали за допомогою гвинта і вантажів. Таке розміщення нагрівача 13 (зверху) і холодильника 11 (знизу) вибрано для виключення появи конвективних потоків теплоти у зразку. Особливу увагу звертали на точність встановлення зразка на центр холодильника 11, де розташований датчик теплового потоку, а також точність установки гарячої та холодної термопар на центр зразка. Не допускаються повітряні зазори між зразком, частинами приладу і термопарами: вмикався тумблер «мережа» на блоці живлення 10 потенціометра. Після досягнення стаціонарного режиму теплового потоку через зразок виконували виміри та знімали показання значень термо-ЕРС у віконцях 7 декадних перемикачів 6 [34, 200, 205].



- 1 – прилад для виміру теплопровідності ІТФ-3; 2 – датчик теплового потоку;  
 3 – термопари з підложкою; 4 – перемикач; 5 – потенціометр; 6 – декадні перемикачі; 7 – віконця декадних перемикачів; 8 – гальванометр; 9 – термостат; 10 – блок живлення; 11 – холодильник; 12 – зразок (або комірка);  
 13 – нагрівач; 14 – індикатор товщини зразка

Рисунок 3.17 – Схема установки для визначення коефіцієнта теплопровідності сільськогосподарських матеріалів

Коефіцієнт теплопровідності визначали за формулою:

$$\lambda = \frac{q \cdot \delta}{\Delta t},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу,  $q$  – тепловий потік через зразок, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·К);  $\delta$  – товщина зразка, м;  $\Delta t$  – різниця температур на його поверхнях, °С

Щільність теплового потоку:

$$q = U_q \cdot k_q,$$

де  $U_q$  – розмір термо-ЕРС датчика теплового потоку, мВ;

$k_q$  – коефіцієнт датчика теплового потоку.

Різниця температур холодної і гарячої поверхонь зразка:

$$\Delta t = \frac{U_{\Delta t}}{k_t},$$

де  $U_{\Delta t}$  – розмір термо-ЕРС диференційної термопари, мВ;

$k_t$  – коефіцієнт термопари (0,083 мВ/°С).

Температура гарячої поверхні зразка:

$$t_2 = \frac{U_{t_2}}{k_t},$$

де  $U_{t_2}$  – розмір термо-ЕРС гарячої термопари, мВ.

Температура холодної поверхні зразка:

$$t_x = \frac{U_{t_x}}{k_t},$$

де  $U_{t_x}$  – розмір термо-ЕРС холодної термопари, мВ.

Середня температура, яка зіставлена зі знайденим значенням коефіцієнта теплопровідності

$$t_{cp} = \frac{t_2 + t_x}{2}.$$

Розбіжність у значеннях коефіцієнта теплопровідності для двох зразків, замірених двома термопарами, не перевищувала 2,5 %, що знаходиться в межах помилки досліду 5 % [204].

### 3.4.3 Методика визначення вологості зерна

Вологість зерна визначали методом висушування в сушильній шафі згідно ГОСТ 12041-82 [194, 201, 208]. Для аналізу відбирали пробу масою приблизно 50 г, потім розмелювали на млинку і совком або ложечкою з різних місць проби брали виїмки для наважок по 5 г, які відважували у попередньо зважених бюксах. Зерна висушували при температурі 130°C протягом 40 хв. Після висушування зерна протягом зазначених строків бюкси виймали із шафи, закривали кришками і поміщали на 15-20 хв у ексікатор для охолодження, а потім зважували з точністю до 0,01 г. Вологість зерна (у відсотках) дорівнювала втраті вологи зерном, помноженій на 100 % і поділеній на величину наважки. Аналіз вважався закінченим, якщо розбіжність між паралельними дослідями не перевищувала 0,2%, в іншому разі аналіз повторювали.

У дуже вологому зерні (понад 20 %) вологість визначали з попереднім підсушуванням. Для цього з проби зерна брали наважку 20 г, поміщали у неглибоку чашку діаметром 8-10 см і підсушували у сушильній шафі при температурі 105 °С протягом 30 хв. Потім наважку охолоджували в ексікаторі та зважували. Підсушене зерно розмелювали і далі проводили аналіз вже звичайним способом. Вологість зерна розраховували за формулою [28, 159]:

$$X = 100 - (B - b),$$

де  $B$  – 20-грамова наважка неподрібненого зерна після попереднього підсушування;  $b$  – 5-грамова наважка після повторного висушування.

При достатньо великій кількості вимірювань вологості використовували вологомір «Wile-55» (рис. 3.14). Даний пристрій дозволив оцінювати вміст вологи в цільних зернах та насінні у діапазоні від 8 до 35 % для зернових та від 6 до 25 % для олійних культур. Оскільки вологість зерна може відрізнятися у різних частинах партії зерна, то здійснювали не менше п'яти вимірювань.

#### 3.4.4 Визначення якісних характеристик зернової продукції, що зберігається

Серед критеріїв оцінки якості зернової продукції, що підлягає зберіганню, вибрали кількість і якість клейковини, під якою розуміють високогідратовану білкову речовину, що складається, в основному, з гліадину і глютеніну. У процесі досліджень було використане ручне відмивання клейковини [204, 207].

Для виміру індексу деформації клейковини був використаний прилад ІДК-1 (рис. 3.18), принцип і метод роботи якого засновані на вимірі величини залишкової деформації проби клейковини після дії тарованого навантаження пуансона протягом заданого контрольного часу, зокрема 30 с.



1 – кнопка вмикання; 2 – кнопка «Пуск»; 3 – «калібрування» стрілки амперметра; 4 – шкала індикатора; 5 – лампочка «Відлік»; 6 – кнопка «Гальмо»; 7 – падаючий вантаж (пуансон); 8 – столик для кульки клейковини

Рисунок 3.18 – Загальний вигляд приладу ІДК-1 для виміру індексу деформації клейковини

Параметри якості клейковини пшениці і пшеничної муки хлібопекарського і макаронного розмелу визначають за її здатністю чинити опір деформуючому навантаженню стискання двома площинами при фіксованому часі дії.

Оцінка пружності клейковини розпочиналася з увімкнення приладу для його підігріву за 15-20 хв до початку. Потім відбирали наважку 4 г клейковини з відмитої проби та скачували у кульку, яку завантажували у чашку з водою на 15 хв. Далі натискали кнопку 6 та піднімали пуансон у верхнє положення, у центр столика 8 клали клейковину, натискали кнопку 2 і відпускали її. Через 30 с після загорання лампочки 5 знімали показання зі шкали індикатора 4.

### **3.5 Методика обробки результатів експериментальних досліджень**

#### **3.5.1 Застосування теорії подібності для фізико-математичного моделювання процесу охолодження зернової продукції**

У досліджуваному процесі можна вважати, що загальну гідродинамічну ситуацію в апараті може характеризувати сумарна середня швидкість потоку холодоагента та число, що відповідає критерію Рейнольдса (Re). Ураховуючи імпульсний перебіг основних проєктованих процесів охолодження сипких мас, запис числа Рейнольдса модифікували за рахунок приведення його до характерних параметрів процесу конвекції холодоносія у «вібраційному полі».

Для цього приймали в якості характерного розміру системи діаметр оброблюваного матеріалу (насінини), а за характерну швидкість – частоту потоку: у результаті модифіковане число Рейнольдса набуде вигляду [207, 208].

$$\text{Re}_B = \frac{\rho \cdot d^2 \cdot \Pi}{\mu} \quad (3.1)$$

де  $\rho$  – щільність,  $\text{кг/м}^3$ ;  $d$  – діаметр насінини,  $\text{м}$ ;  $\Pi$  – величина потоку холодоагента,  $\text{кг/с}$ ;  $\mu$  – динамічна в'язкість технологічного середовища,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ .

Співвідношення між конвективними та молекулярними процесами переносу тепла характеризується числом Пекле ( $Pe$ ).

$$Pe_B = Re_B \cdot Sc, \quad (3.2)$$

де  $Sc$  – число Шмідта;

$$Sc = \frac{\nu}{D}, \quad (3.3)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії (волога – повітря);  $D = 0,216 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

$\nu$  – кінематична в'язкість технологічного середовища,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Підставляючи (3.1) і (3.3) у (3.2), отримаємо:

$$Pe_B = \frac{\rho \cdot d^2 \cdot \Pi}{\mu} \cdot \frac{\nu}{D}, \quad (3.4)$$

$$Pe_B = \frac{\rho d^2}{D}. \quad (3.5)$$

Модифіковане вібраційне число Стентона – число подібності

$$St = \frac{\beta}{d\Pi}, \quad (3.6)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт масовіддачі при охолодженні.

Маса видаленої вологи при сушінні за проміжок часу:

$$M = \beta \cdot F \cdot (C_H - C_\tau), \quad (3.7)$$

де  $F$  – площа поверхні насінини,  $\text{м}^2$ ;

$C_H$  – концентрація вологи в повітрі в умовах насичення при температурі повітря;

$C_\tau$  – поточне значення концентрації вологи в повітрі.

Шуканий вираз для числа Стентона в узагальнених змінних набуде вигляду:

$$St_B = A Re_B^n \Pi_1^m T^k. \quad (3.8)$$

де  $\Pi_1$  – безрозмірний параметричний комплекс завантаження;

$$\Pi_1 = \frac{V_3}{V_{\Pi}}, \quad (3.9)$$

де  $V_3$  – об'єм завантаження, м<sup>3</sup>;  $V_{\Pi}$  – об'єм контейнера, м<sup>3</sup>;  $T$  – безрозмірна температура;

$$T = \frac{T_3}{T_{\Pi}}, \quad (3.10)$$

де  $T_3$  – температура зерна, під час охолодження якого визначається на основі бази експериментальних даних;  $T_{\Pi}$  – початкова температура зерна, °С;  $A$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $k$  – константи, визначення яких знаходиться на основі експериментальних даних.

### 3.5.2 Методика статистичної оптимізації досліджуваних систем

Статистичну оптимізацію досліджуваних процесів при реалізації зберігання зернової та олійної сировини проводили на основі експериментальних випробувань за використання методу Бокса-Бенкіна. Даний різновид активного планування експерименту є некомпозиційним планом другого порядку типу  $3^k$  [94, 170].

За даного методу змінна варіюється на трьох рівнях: - 1, 0, 1; що значно спрощує процес проведення експерименту, скорочує матеріальні витрати та протяжність проведення дослідів порівняно з повним факторним експериментом або з іншими центральними композиційними планами. При проведенні оптимізації такий план містить велику кількість факторів на нульовому рівні, тому кількість розрахунків істотно скорочується. Окрім того, план Бокса-Бенкіна має високу ступінь ортогональності, а саме, тільки вільний член  $b_0$  та коефіцієнти  $b_{ii}$  за квадратичних членів корельовані між собою.

Регресійну модель використовуємо у вигляді:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i z_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} z_i z_j, \quad (3.11)$$

де  $y$  – відгук;

$b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії;

$z_i, z_j$  – значення факторів;

$k$  – кількість факторів.

Для визначення параметрів даної регресійної моделі був використаний метод найменших квадратів. Коефіцієнти регресійної моделі визначалися за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}; \quad b_i = A \sum_{j=1}^N z_{ij} y_j, \quad (3.12)$$

$$b_{ii} = D \sum_{j=1}^N z_{ij} z_{ij} y_j, \quad (3.13)$$

$$b_{ii} = B \sum_{j=1}^N z_{ij}^2 + C \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N z_{ij}^2 y_j - \frac{1}{\rho \cdot n_0} \sum_{u=1}^{n_0} y_{0u}, \quad (3.13)$$

де  $n_0$  – кількість досліджень у центрі плану;

$u$  – номер паралельного дослідження в центрі плану;

$y_{0u}$  – значення функції відгуку в  $u$ -му досліді;

$N$  – кількість дослідів в матриці планування;

$z_{ij}$  – закодоване значення  $i$ -го фактора в  $j$ -му досліді;

$k$  – кількість факторів;

$A, B, C, D, \rho$  – константи, які залежать від кількості факторів.

Перевіряли значущість параметрів моделі за критерієм Стюдента. При цьому визначали дисперсії коефіцієнтів моделі за формулами [34, 169, 186]:

$$S_{b_0}^2 = \frac{1}{n_0} S_y^2; \quad S_{b_i}^2 = A S_{b_i}^2, \quad S_{b_{ii}}^2 = D S_y^2, \quad (3.14)$$

$$S_{b_{ii}}^2 = B_1 S_y^2, \quad (3.15)$$

де  $S_y^2 = \frac{1}{n_0 - 1} \sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2$  - дисперсія відтворюваності експерименту;

$\bar{y}_0$  - середнє значення відгуків в результаті проведення  $n_0$  дослідів в центрі плану;

$$B_1 = \frac{11}{96}.$$

Для кожного коефіцієнта моделі знаходили критичне значення критерію Стюдента за формулою:

$$t_{bi} = \frac{b_i}{S_{bi}^2}. \quad (3.16)$$

У разі невідповідності досліджуваній коефіцієнт регресійної моделі є незначимим. Тоді перевірці підлягає наступний коефіцієнт.

Перевіряли адекватність побудованої моделі за критерієм Фішера. Розрахункове значення критерію знаходили за формулою:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (3.17)$$

$$\text{де } S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{f}.$$

Якщо розрахункове значення критерія Фішера є меншим за теоретичне, тобто  $F_p < F_m$ , то побудована регресійна модель є адекватною.

Перейдемо від нормованих значень факторів до їх реальних значень, для чого виконаємо заміну:

$$x_i = z_i \frac{x_i^g - x_i^h}{2} + \frac{x_i^g + x_i^h}{2}, \quad (3.18)$$

де  $z_i$  – нормоване значення фактору  $i$ ,

$x_i$  – реальне значення фактору  $i$ ,

$x_i^g$  – значення фактору  $i$  на верхньому рівні,

$x_i^h$  – значення фактору  $i$  на нижньому рівні.

На основі розробленої моделі будували поверхні відгуків та визначали раціональні величини досліджуваних параметрів.

## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 4.1 Аналіз основних параметрів процесу віброаспіраційної сепарації насіння соняшнику

##### 4.1.1 Швидкість повітряного потоку в аспіраційному каналі

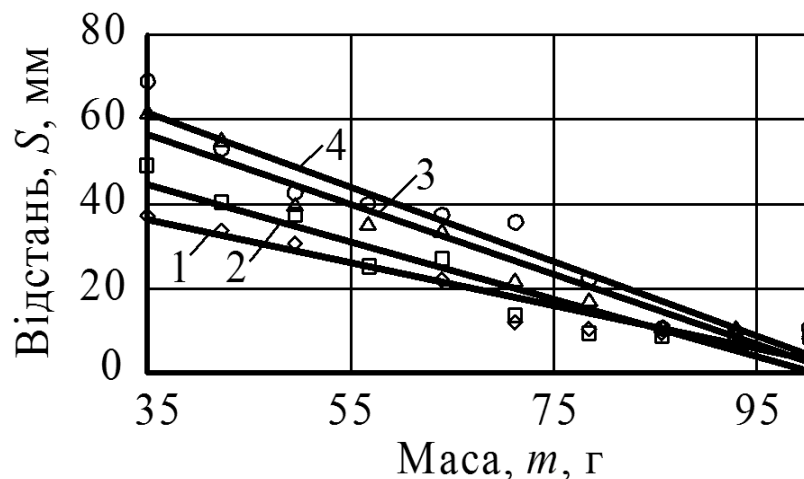
На основі експериментальної оцінки при виборі раціональної швидкості повітряного потоку всередині аспіраційного каналу вібросепаратора були отримані результати, що занесені до табл. 4.1 [55, 153, 196, 197, 215, 216].

Таблиця 4.1 – Середній радіус рознесення вибірки насінин залежно від швидкості повітряного потоку всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратора

Швидкість потоку, м/с Маса насінини, г	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	Відстань зміщення насінин від осі подільника, мм					
0,035	35	42	55	70	78	-
0,041	32	38	45	62	60	-
0,047	30	35	42	45	48	-
0,054	25	28	28	40	45	10
0,060	15	25	30	38	42	20
0,074	10	14	15	25	40	25
0,082	9	12	10	20	25	29
0,090	10	10	10	13	12	32
0,093	8	9	8	12	10	45
0,100	7	9	9	11	12	50

Дані табл. 4.1 показують, що зі збільшенням швидкості повітряного потоку до 6 м/с найлегше насіння відноситься вентилятором від приймальних патрубків, що вимагає використання додаткового обладнання для його вловлювання. В той же час при швидкості 3,5-4,0 м/с важке насіння не зможе попасти у бункер цінної фракції.

Криві на графіку рис. 4.1, як і на всіх наступних графіках, апроксимували методом найменших квадратів за допомогою середовища [Microsoft Excel](#) 2010. Указаний метод виявляє закономірності відлітання насіння від осі розподільника в залежності від його маси. Так як прийшли до висновку, що швидкість повітряного потоку 3,5 м/с та 6 м/с не підходять, тому їх на графіку не будували [163, 209-212].



1 – 4,0 м/с; 2 – 4,5 м/с; 3 – 5,0 м/с; 4 – 5,5 м/с

Рисунок 4.1 – Залежність відстані, на яку відхилено насіння соняшнику від його ваги при різній швидкості повітряного потоку

Як видно з рис. 4.1 достатньо ефективною швидкістю повітряного потоку всередині аспіраційного каналу віброаспіраційного сепаратора є 5,5 м/с. При цій швидкості важке насіння краще змінює свою траєкторію, тому гарантовано попадає до бункера цінної фракції, при цьому траєкторія руху легкого насіння масою до 0,06 г показує сектор руху, за якого воно гарантовано потрапить до бункера некондиційної фракції.

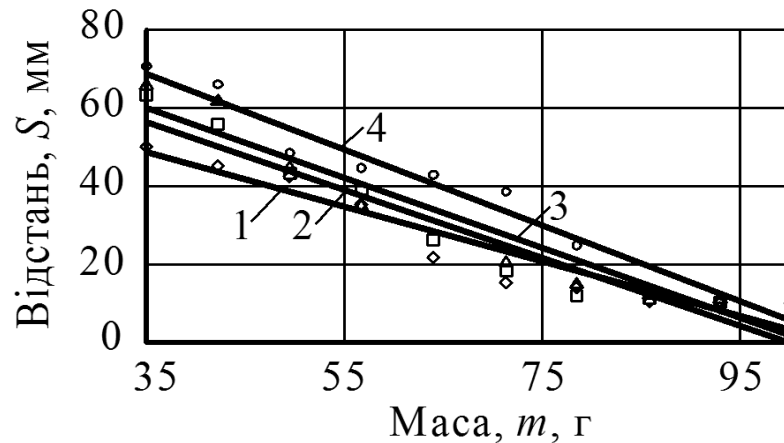
#### 4.1.2 Довжина вертикального аспіраційного каналу сепаратора

Отримані результати випробування довжини аспіраційного каналу заносили до табл. 4.2, у якій наведені параметри для оцінки залежності довжини аспіраційного каналу віброаспіраційного сепаратора від маси насіння. Кожне із значень, наведених в таблиці, враховувалося як середнє арифметичне серед усіх випробувань із необхідною для отримання достовірного результату повторністю [17, 171, 209].

Таблиця 4.2 – Середня відстань рознесення десяти насінин різної маси залежно від довжини аспіраційного каналу за раціональної швидкості повітряного потоку

Маса насінини, г	Довжина вертикального аспіраційного каналу, м							
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	Відстань зміщення відносно центральної осі вертикального аспіраційного каналу в горизонтальному напрямку, мм							
0,035	14	19	24	34	50	62	65	70
0,041	13	18	22	32	45	55	62	65
0,047	15	16	21	25	42	42	45	48
0,054	11	18	18	21	35	38	35	45
0,060	10	15	15	18	22	25	28	42
0,074	9	12	11	15	15	18	20	38
0,082	11	13	11	12	14	11	15	25
0,090	9	12	10	11	11	12	13	12
0,093	9	9	9	9	10	9	12	10
0,100	10	10	9	10	10	9	11	12

З таблиці 4.2 видно, що при довжині аспіраційного каналу 0,1-0,4м змінення траєкторії насіння відносно осі розподільника незначна, тому їх відкидали та у наступних дослідженнях вони не враховувалися. На основі приведених даних було побудовано графік (рис. 4.2) залежності змінення вертикальної траєкторії відносно осі розподільника в горизонтальному напрямі всередині аспіраційного каналу від довжини аспіраційного каналу.



1 – 0,5 м; 2 – 0,6 м; 3 – 0,7 м; 4 – 0,8 м

Рисунок 4.2 – Залежність відстані, на яку відхилено насіння соняшнику від його ваги при різній довжині аспіраційного каналу

Аналізуючи графік на рис. 4.2, прийшли до висновку, що найбільш раціональною довжиною аспіраційного каналу є 0,8 м. Так як саме при такій довжині аспіраційного каналу важке насіння (більше 0,06 г) змінює свою траєкторію більше за 40мм та гарантовано попадає до бункера цінної фракції.

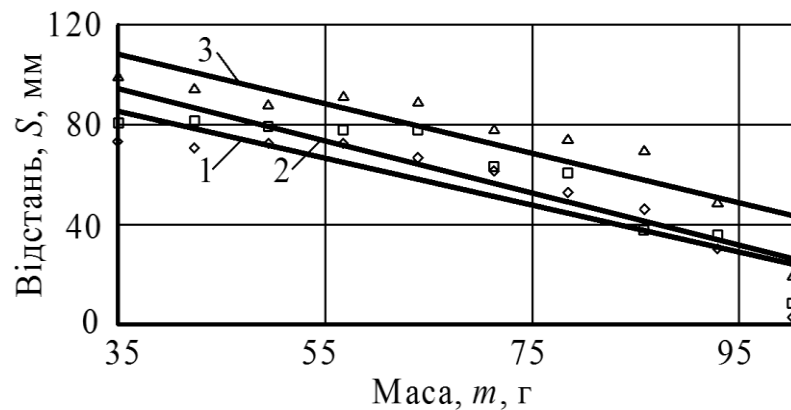
#### 4.1.3 Діаметр основного аспіраційного каналу

У табл. 4.3 та відповідно на рис. 4.3 були наведені відстані зміни траєкторії 10 насінин відносно осі розподільника у горизонтальному напрямі в аспіраційному каналу віброаспіраційного сепаратора [197, 208, 209] .

Отримані результати виявили (рис. 4.3), що необхідно використовувати діаметр аспіраційного каналу 200 мм при рознесенні важкого насіння до 105 мм від осі розподільника через те, що такі насінини гарантовано не будуть долітати до бічної стінки аспіраційного каналу, так як у результаті ударного контакту створюється хаотичність та, відповідно, непередбачуваність потрібної траєкторії руху. Збільшення діаметра аспіраційного каналу понад 200 мм призводить до зростання енергетичних витрат на створення повітряного потоку.

Таблиця 4.3 – Середня відстань рознесення насіння різної маси в залежності від зміщення вкидання насіння відносно центральної осі вертикального аспіраційного каналу

Маса насінини, г	Відстань зміщення відносно центральної осі вертикального каналу, мм		
	20	10	0
0,035	20	9	3
0,041	50	36	31
0,047	70	38	46
0,054	75	61	53
0,060	78	64	62
0,074	90	78	67
0,082	92	78	73
0,090	89	80	73
0,093	95	82	71
0,100	100	81	74



1 – 0 мм; 2 – 10 мм; 3 – 20 мм

Рисунок 4.3 – Залежність відстані, на яку відхилено насіння соняшнику від його ваги при зміщенні відстані вкидання насіння відносно центральної осі вертикального каналу

#### 4.1.4 Обґрунтування раціональних конструкційних параметрів парусних елементів, що монтуються на центральній трубі розподільника

Експериментальні дослідження віброаспіраційного розподільника виявили, що максимальна величина крутного моменту центральної труби

розподільника досягається при куті нахилу парусних елементів у  $45^{\circ}$  (рис.4.4) [196, 197].

Із рис. 4.4 очевидно, що площа поверхні парусного елемента складає:

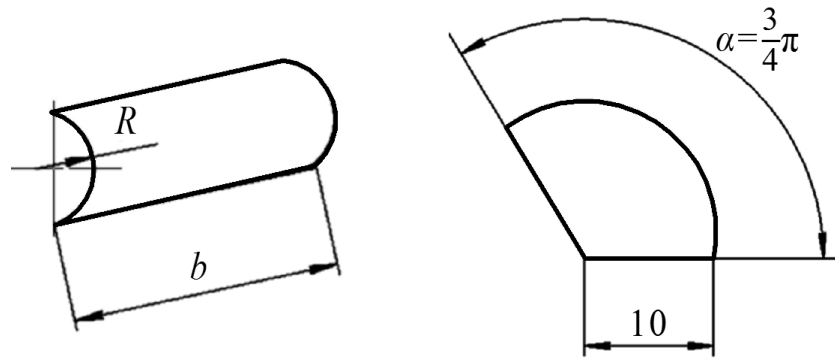


Рисунок 4.4 – Основні конструкційні параметри парусного елемента

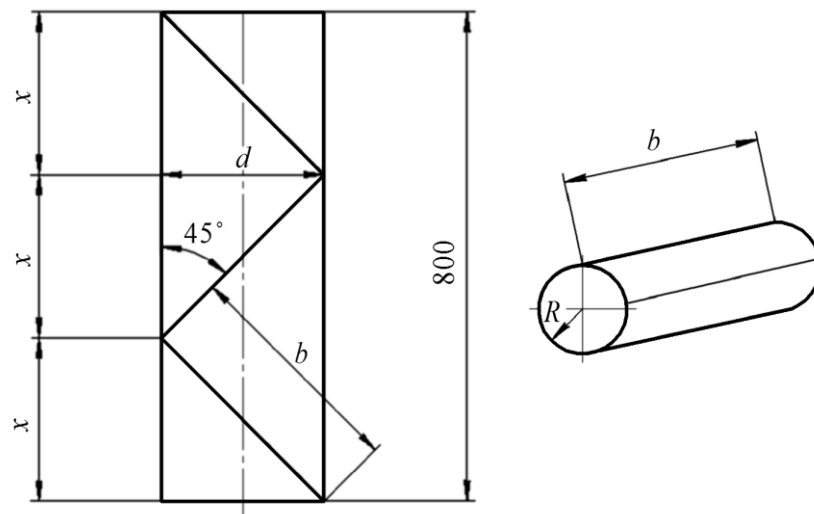


Рисунок 4.5 – Розрахункові схеми для оцінки геометричних параметрів при конструюванні парусних елементів

$$S_{II} = \frac{5}{4} \pi r b.$$

Ураховуючи, що сила потоку повітря, яка генерується вентилятором:

$$F_{\Pi} = \frac{N}{v_{\Pi}} = \frac{150}{5} = 30 \text{ Н} \quad \text{та її складові є} \quad F_{\Pi_1} = F_{\Pi_2} = F_{\Pi} \sin 45 = \frac{\sqrt{2}}{2} F_{\Pi},$$

то сила тиску повітря на один парусний елемент визначали як:

$$P_{\Pi_1} = F_{\Pi_1} \cdot S_{\Pi} = \frac{\sqrt{2}}{2} F_{\Pi} \frac{5}{4} \pi r b.$$

Із рис. 4.5 видно, що основні геометричні характеристики системи становлять:

$$\frac{d}{x} = \operatorname{tg} 45^{\circ} = 1 \quad \text{та, відповідно,} \quad d = x = 40 \text{ мм.}$$

У результаті певних математичних перетворень визначили, що для ефективної роботи віброаспіраційної установки потрібно 20 парусних елементів.

## 4.2 Основні технологічні параметри процесу віброконвексного інфрачервоного сушіння

Серед основних технологічних параметрів досліджуваного процесу віброконвексного інфрачервоного сушіння відзначали вологість зернового матеріалу у відносній  $W$  (початкове її значення  $W_n$  та кінцеве  $W_k$ ) та диференціальній формі  $dW$ , швидкість просування продукції  $\mathcal{G}_n$  на стрічці або деформувальному вантажонесучому органі, питома навантаження на стрічку  $q$ , потужність інфрачервоних випромінювачів  $N_e$  та кількість терморадіаційних блоків або модулів  $z_m$ , протяжність сушіння  $\tau$ , температуру у робочій зоні  $t$ , масу продукції  $m$ , що висушується, продуктивність сушарки за видаленою вологою  $\Pi_e$ , швидкість сушіння  $dW/dt$ .

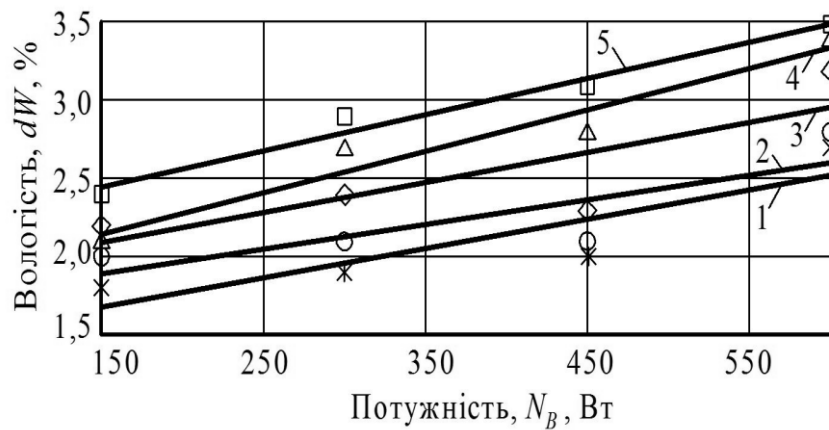
Таблиця 4.4 – Параметри процесу інфрачервоного сушіння насіння сої у рухомому шарі при зміні кількості випромінюючих блоків  $z_m$ .

$z_m$	$g_n$ , см/с	$W_n$ , %	$W_k$ , %	$dW$ , %	$N_e$ , Вт
1	0,1	18,5	16,7	1,8	150
1	0,15	18,5	16,5	2,0	150
1	0,3	18,5	16,7	2,2	150
1	0,4	18,5	16,4	2,1	150
1	0,6	18,5	16,1	2,4	150
2	0,1	19,2	16,3	1,9	300
2	0,15	19,2	17,1	2,1	300
2	0,3	19,2	16,8	2,4	300
2	0,4	19,2	16,5	2,7	300
2	0,6	19,2	16,3	2,9	300
3	0,1	18,9	16,9	2,0	450
3	0,15	18,9	16,8	2,1	450
3	0,3	18,9	16,6	2,3	450
3	0,4	18,9	16,1	2,8	450
3	0,6	18,9	15,8	3,1	450
4	0,1	19,5	16,8	2,7	600
4	0,15	19,5	16,7	2,8	600
4	0,3	19,5	16,3	3,2	600
4	0,4	19,5	16,1	3,4	600
4	0,6	19,5	16	3,5	600

Використовуючи дані табл. 4.4, побудували сімейства залежностей диференціальної швидкості сушіння  $dW$  від потужності випромінювача при фіксованій швидкості просування продукції  $v_n$  (рис.4.6) та від швидкості подачі продукції  $v_n$  за певних величин потужності випромінювача  $N_e$  (рис.4.7).

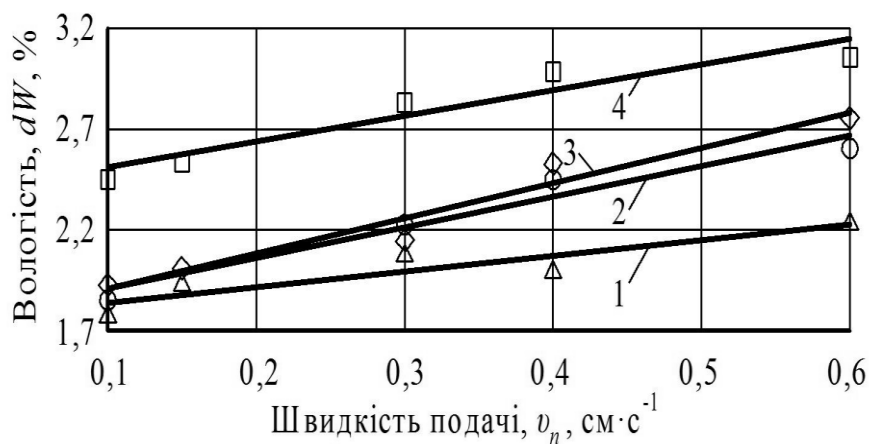
За результатами графічної оцінки на рис. 4.6 можна спостерігати, що найбільша зміна вологості сої у 1,3 % має місце при швидкості подачі матеріалу у робочій зоні 0,4 см/с; при збільшенні потужності опромінення у 4 рази найвища зміна вологості в 1,62 рази знову спостерігається при швидкості транспортуванні матеріалу 0,4 см/с, що дозволяє визначити дану швидкість як робочу при виконанні інфрачервоного сушіння.

При зміні швидкості транспортування сої у 6 разів: з 0,1 до 0,6 см/с (рис.4.7) спостерігали максимальну зміну вологості на 1,1 % за потужності опромінення 450 Вт; швидкість даної зміни практична однакова при потужності опромінення 300 та 450 Вт. Тому, враховуючи економічну складову оцінки, найбільш раціональною можна вважати потужність інфрачервоного поля у 300 Вт.



1 – 0,1 см/с; 2 – 0,15 см/с; 3 – 0,3 см/с; 4 – 0,4 см/с;  
5 – 0,6 см/с

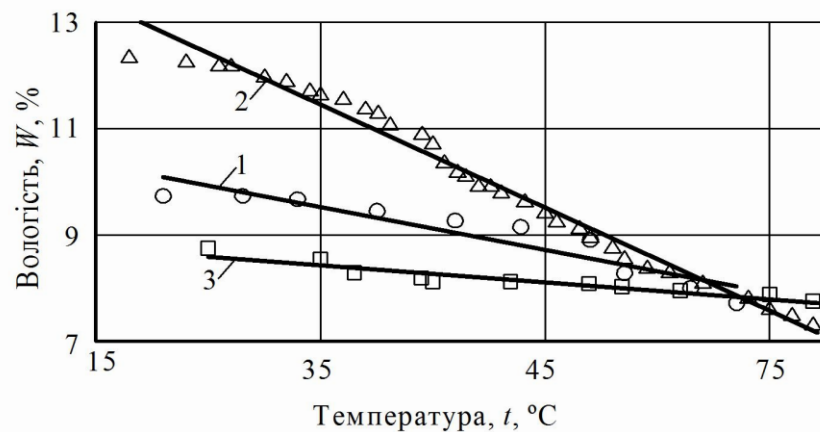
Рисунок 4.6 – Залежності диференціальної відносної вологості від потужності випромінювача при фіксованій швидкості просування продукції



1 – 150 В; 2 – 300 В; 3 – 450 В; 4 – 600 В

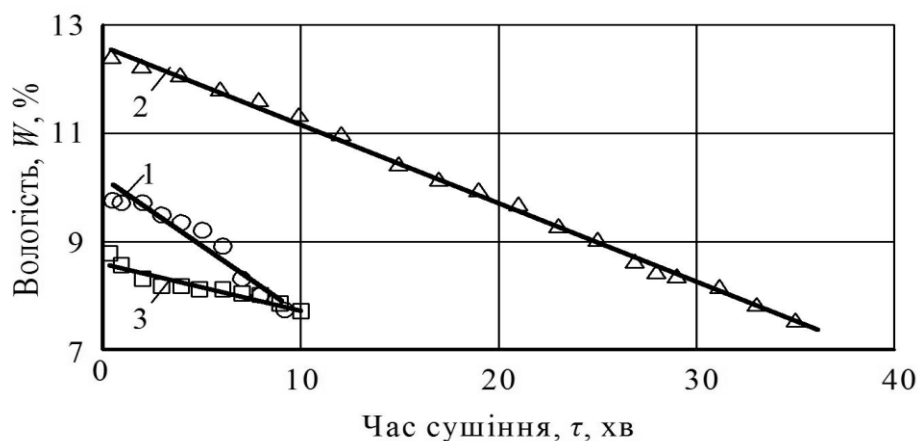
Рисунок 4.7 – Залежності диференціальної відносної вологості від швидкості подачі продукції за певних величин потужності випромінювача

Використовуючи експериментальні дані, побудували сімейства залежностей зміни відносної вологості сої від температури продукції (рис. 4.8) та від часу сушіння (рис. 4.9); продуктивності сушарки за видаленою вологістю від температури продукції (рис. 4.10) та від часу сушіння (рис. 4.11). Дані параметри отримували для фіксованих величин маси продукції, що оброблялася, тобто для 500, 600, 800 г.



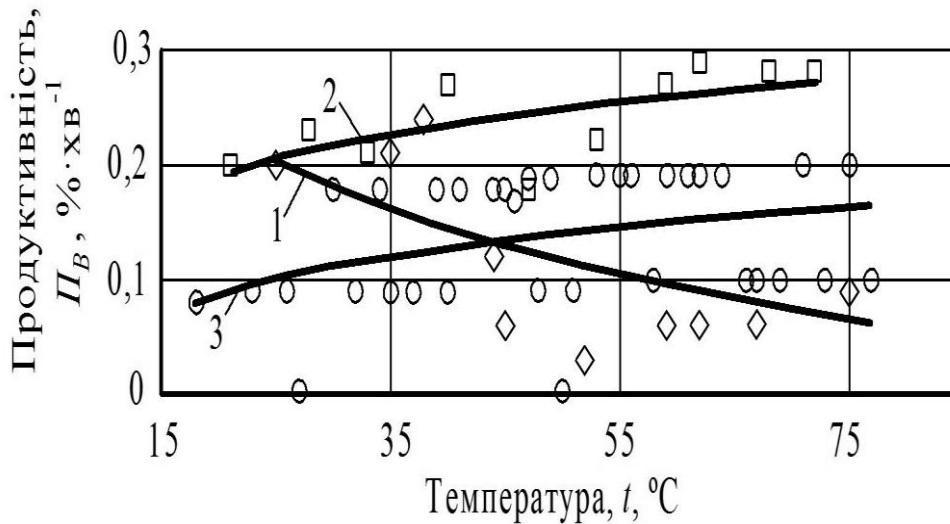
1 – 500 г; 2 – 600 г; 3 – 800 г;

Рисунок 4.8 – Залежності зміни відносної вологості сої від температури продукції при завантаженні різних мас продукції



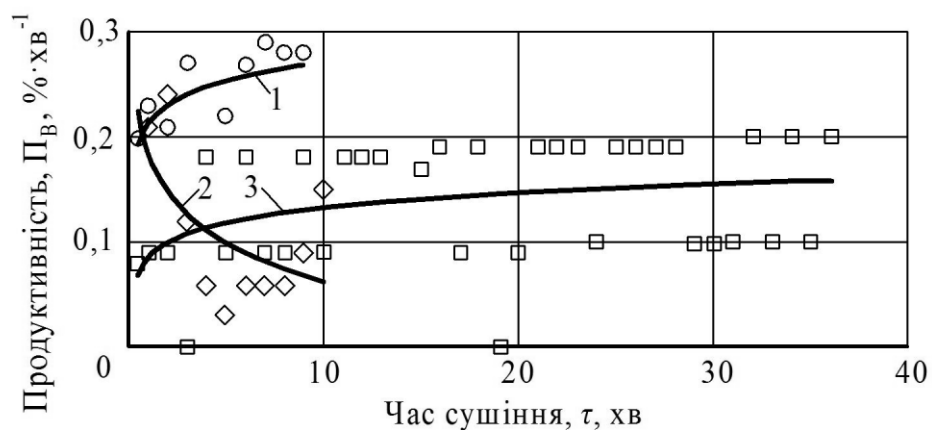
1 – 500 г; 2 – 600 г; 3 – 800 г;

Рисунок 4.9 – Залежності зміни відносної вологості сої від часу сушіння при завантаженні різних мас продукції



1 – 500 г; 2 – 600 г; 3 – 800 г;

Рисунок 4.10 – Залежність продуктивності сушарки за видаленою вологістю від температури продукції при завантаженні різних мас продукції



1 – 500 г; 2 – 600 г; 3 – 800 г;

Рисунок 4.11 – Залежність продуктивності сушарки за видаленою вологістю від часу сушіння при завантаженні різних мас продукції

При збільшенні температури у зоні обробки на  $50^{\circ}\text{C}$  у результаті інфрачервоного опромінення найбільш істотно зменшується вологість на 4 % наважки продукції у 600 г (рис. 4.9). Досягнення вологості сої до 8 % за вибраних режимів інфрачервоного сушіння було отримане для наважки продукції 500 г з продуктивністю за видаленою вологою у  $0,25\ \text{\%/хв}$ , для

наважки продукції 600 г – за продуктивності у 0,13 %/хв та для наважки продукції 800 г - за продуктивності у 0,11 %/хв. (рис. 4.10). Отже, збільшення маси продукції в 1,6 раза зумовило зменшення продуктивності за видаленою вологою у 2,27 раза.

Аналіз останніх графіків свідчить, що видалення вільної води та настання стадії постійної швидкості сушіння для наважки продукції масою 500 г складає: час обробки 15 хв, температура у робочій зоні 70 °С та продуктивність сушарки за видаленою вологою 0,27 %/хв; для наважки продукції масою 600 г дані показники становлять відповідно 20 хв, 75 °С та 0,16 %/хв. При цьому загальна тенденція зміни теплофізичних параметрів терморадіаційного сушіння при зміні маси продукції, що обробляється, не змінюється, про що свідчить паралельність графічних залежностей досліджуваних характеристик.

### **4.3 Фізико-математичне моделювання процесу віброконвексного інфрачервоного сушіння насіння сої**

#### **4.3.1 Критеріальне рівняння процесу**

На основі експериментальної бази даних сушіння (табл. 4.5), що була отримана при дослідженні зміни фізико-механічних та тепломасообмінних параметрів олійної культури, зокрема сої, за умов інфрачервоного сушіння оцінювали найбільш значимий факторний простір процесу та визначили його основні характеристики.

Серед основних показників досліджуваного процесу сушіння можна відзначити: коефіцієнт масообміну  $\beta$  ; швидкість транспортування продукції  $v$ ; коефіцієнт температуропровідності  $\alpha$ ; потужність, що витрачається на процес  $N_0$ ; діаметр зернівки сої  $d$ ; питому теплоту пароутворення  $r$ ; час обробки продукції  $\tau$  ; масу видаленої води  $m_v$ ;  $\omega$  – кутову швидкість приводного вала, які заносимо до табл. 4.5.

За допомогою вихідних даних табл. 4.6 та представлених параметрів можна зазначити основні критерії подібності, що описують даний процес у

вигляді:  $Pe = \frac{v \cdot d}{a}$  – число Пекле [221, 222].

де  $a = 12,6 \cdot 10^{-8} \frac{M^2}{c}$  – коефіцієнт температуропровідності;

$St = \frac{\beta}{v}$  – число Стантона;

$Bu = \frac{E_0}{Q_0}$  – число Бурдо.

$$N_o = N_{on} + N_{np} = 900 + 300 = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт}$$

де  $N_{on}$  – потужність випромінювачів, Вт;  $N_{np}$  – потужність приводних двигунів, Вт;  $E_0 = N_o \cdot \tau$  – енергія, що витрачається на процес;  $Q_0 = m_0 \cdot r$  – кількість теплоти, що необхідна для випаровування вологи масою  $m_0$ ;  $r = 2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг.

Коефіцієнт масообміну  $\beta$  визначали за формулою

$$\beta = \frac{\Pi_v}{\Delta x \cdot S_3};$$

де  $\Delta x = \frac{m_0}{m_n}$ ; – кількість видаленої вологи, що приходить на одиницю маси

продукції, що висушується;  $S_3 = 2\pi d(l + 1,5d)$  – площа поверхні зернівки сої, що для сортувального довгастого насіння  $d = 5,5 \dots 6,5$  мм; то приймаємо  $d = 6$  мм, довжина  $l = 8-10$  мм  $\rightarrow l = 9$  мм :  $S_3 = 678,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ; об'ємна продуктивність  $\Pi_v$  [229, 230, 244, 245, 248].

$$\text{Число Фруда } Fr = \frac{a_c}{g} = \frac{A\omega^2}{g} = \frac{A\omega \cdot \omega}{g} = \frac{v \cdot \omega}{g},$$

де  $a_c$  – прискорення силового поля,  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ ;  $A$ ,  $\omega$  – амплітуда та кутова швидкість, м, рад/с.

Продуктивність за видаленою вологою  $\Pi_v$  визначається як

$$П_B = \frac{m_B}{\tau},$$

Об'ємна продуктивність  $П_v$  складає:

$$П_v = V_m \cdot П_B,$$

де  $V_m$  – об'ємна маса вологи,  $V_m = 1/\rho_B$ , м<sup>3</sup>/кг,

$\rho_B$  – щільність вологи,  $\rho_B = 1,178$  кг/м<sup>3</sup>

Таким чином,

$$Вu = \frac{N_o \tau}{m_B \gamma}.$$

Враховуючи, що

$$П_v = \frac{m_B}{\rho_B r} \cdot \frac{N_o r}{N_o r} = \frac{N_o}{\rho_B r} \cdot \frac{1}{Вu},$$

$$Вu = \frac{N_o}{П_v \rho_B r}.$$

Таблиця 4.5 – Вихідні експериментальні дані інфрачервоного сушіння насіння сої у рухомому шарі

№ п/п	$v$ , см/с	$N_{оп}$ , Вт	$\tau$ , с	$m_B$ , г	$m_n$ , г	$\Delta X$ , кг/кг	$m_B/\tau$ , г/с	$\tau/m_B$ , с/г
1	0,15	220	85	5,1	294,9	0,017	0,06	16,67
2	0,15	220	205	8,1	291,9	0,028	0,04	25
3	0,15	220	380	13,8	286,2	0,048	0,036	27,78
4	0,15	220	520	20,4	279,6	0,073	0,039	25,64
5	0,4	220	45	0,3	299,7	0,001	0,075	13,33
6	0,4	220	84	0,9	299,1	0,003	0,0107	93,46
7	0,4	220	160	5,1	294,9	0,017	0,0319	31,35
8	0,4	220	235	8,7	291,3	0,03	0,037	27,03
9	0,6	220	50	0,45	299,55	0,002	0,008	125
10	0,6	220	95	0,75	299,25	0,003	0,0079	126,6
11	0,6	220	140	4,2	295,8	0,014	0,03	33,3
12	0,6	220	320	7,2	292,8	0,025	0,0225	44,44

**Примітки:**  $v$  – швидкість транспортування продукції, см/с;  $N_{оп}$  – потужність інфрачервоного випромінювання, Вт;  $\tau$  – час обробки, с;  $dW/dt$  – швидкість видалення вологи, %/хв;  $m_B$  – маса видаленої вологи, кг;  $m_n$  – маса продукції, що висушується;  $\Delta X$  – маса видаленої вологи, що приходить на одиницю маси продукції, кг.

Таблиця 4.6 – Основні параметри досліджуваного процесу

№	Найменування параметра	Символ	Розмірність
1	Середній коефіцієнт масовіддачі	$\beta$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
2	Маса видаленої вологи	$m_B$	кг
3	Швидкість транспортування продукції (віброшвидкість)	$v_c$	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
4	Коефіцієнт температуропровідності	$a$	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
5	Час обробки продукції	$\tau$	с
6	Питома теплота пароутворення	$r$	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
7	Діаметр зернини продукції	$d_3$	м
8	Потужність, що витрачається на процес	$N_0$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
9	Кутова швидкість обертання приводного вала	$\omega$	рад/с

При моделюванні використовували другу теорему подібності Федермана-Букінгема, методику «теорії розмірностей» для визначення ступеневих коефіцієнтів для безрозмірних комплексів величин. Згідно з даними методами аналізу, склали таблицю розмірностей у вигляді табл. 4.7 [223, 224].

Таблиця 4.7 – Матриця розмірностей

Позначення	v	$\tau$	d	a	$m_B$	$N_0$	r	$\omega$	$\beta$
	n	q	k	p	$\varepsilon$	m	s	t	$\delta$
M, кг					1	1			
L, м	1		1	2		2	2		1
T, с	-1	1		-1		-3	-2	-1	-1

Для даного факторного простору число змінних 9 за кількості розмірностей 3. Тому за  $\pi$ -теоревою кількість безрозмірних комплексів становить  $9 - 3 = 6$ .

Далі шукану критеріальну залежність представляємо у вигляді ступеневого ряду [227]:

$$\beta = v^n \cdot \tau^q \cdot d^k \cdot a^p \cdot m_B^\varepsilon \cdot N^m \cdot r^s \cdot \omega^t,$$

$$\left. \begin{aligned} n + m &= 0, \\ n + k + 2p + 2m + 2s &= 1, \\ -n + q - p - 3m - 2s - t &= -1, \end{aligned} \right\}$$

$$k + q + p - m - t = 0,$$

$$\varepsilon = -m,$$

Шукаємо критеріальне рівняння з ступеневого ряду:

$$n = q - p - 3m - 2s - t + 1,$$

$$k = m - q - p + t,$$

$$\beta = v^{(q-p-3m-2s-t+1)} \cdot \tau^{(m-k-p+t)} \cdot d^{(m-q-p+t)} \cdot m_B^{-m} \cdot a^p \cdot r^s \cdot N_0^m \cdot \omega^t \rightarrow St =$$

$$\frac{\beta}{v} = \left( \frac{v \cdot d}{a} \right)^{-p} \cdot \left( \frac{N \cdot \tau}{m \cdot B \cdot r} \right)^m \cdot \left( \frac{v \cdot \omega}{q} \right)^{-t} \cdot v^{(q-3m-2s)} \cdot \tau^{(-k+p+t)} \cdot r^{(m+s)} \cdot x \omega^{2t} \cdot q^{-t} \cdot d^{(m-q+t)} =$$

$$Pe^{-p} \cdot Bu^m \cdot Fr^{-t} \cdot d^{(m-q+t)} \cdot v^{(q-3m-2s)} \cdot q^{-t} \cdot \tau^{(-k+p+t)} \cdot r^{(m+s)} \cdot \omega^{2t}$$

$$\beta = v^{(q-p-3m-2s-t+1)} \cdot \tau^{(m-k-p+t)} \cdot d^{(m-q-p+t)} \cdot m_B^{-m} \cdot a^p \cdot r^s \cdot N_0^m \cdot \omega^t \rightarrow St$$

В узагальнених змінних число Стантона складає:

$$St = A Pe^{-p} \cdot Bu^m \cdot Fr^{-t} \quad (4.1)$$

де  $A = \tau^{(-k+p+t)} \cdot r^{(m+s)} \cdot d^{(m-q+t)} \cdot g^{-t} \cdot \omega^{2t}$  – постійна складова, що визначається технологічно-конструкційними параметрами системи.

Визначимо значення критеріїв Стантона  $St$ , Пекле  $Pe$ , Бурдо  $Bu$ , Фруда  $Fr$  за представленими вище формулами і заносимо їх в до табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Основні розрахункові параметри для інфрачервоного сушіння сої

Ноп, Вт	$\Pi_v,$ $10^{-6}$ $\text{м}^3/\text{с}$	$\beta,$ $10^{-3}$ $\text{м}/\text{с}$	$v,$ $\text{см}/\text{с}$	$St$	$Pe$	$Bu$	$Fr,$ $10^{-2}$
220	0,0707	6,134	0,15	4,089	71,4	1,59	1,223
220	0,047	2,476	0,15	1,651	71,4	2,39	1,223
220	0,0424	1,302	0,15	0,868	71,4	2,66	1,223
220	0,046	0,93	0,15	0,62	71,4	2,45	1,223
220	0,088	12,97	0,4	3,24	190,5	1,275	3,26
220	0,0126	6,19	0,4	1,548	190,5	8,94	3,26
220	0,0376	3,26	0,4	0,815	190,5	2,99	3,26
220	0,0436	2,138	0,4	0,5345	190,5	2,59	3,26
220	0,009	6,635	0,6	1,106	286	11,96	4,89
220	0,0093	4,571	0,6	0,762	286	12,11	4,89
220	0,035	3,686	0,6	0,614	286	3,185	4,89
220	0,0265	1,563	0,6	0,2605	286	4,25	4,89

Таблиця 4.9 – Параметри критеріїв подібності досліджуваного процесу

№	St	Pe	Pe <sup>-p</sup>	Bu	Bu <sup>m</sup>	St/(Pe <sup>-p</sup> ·Bu <sup>m</sup> )	Fr · 10 <sup>-2</sup>
1	1,106	71,4	0,00001362	1,59	1,74	172207,36	1,223
2	0,762	71,4	0,00001362	2,39	2,84	42653,03	1,223
3	0,614	71,4	0,00001362	2,66	3,23	19723,62	1,223
4	0,2605	71,4	0,00001362	2,45	2,93	15548,30	1,223
5	3,24	190,5	0,00000104	1,275	1,34	2337274,91	3,26
6	1,548	190,5	0,00000104	8,94	13,83	108081,52	3,26
7	0,815	190,5	0,00000104	2,99	3,72	211584,09	3,26
8	0,5345	190,5	0,00000104	2,59	3,13	164838,71	3,26
9	4,089	286	0,00000036	11,96	19,60	158276,64	4,89
10	1,651	286	0,00000036	12,11	19,89	107430,17	4,89
11	0,868	286	0,00000036	3,185	4,01	429365,25	4,89
12	0,62	286	0,00000036	4,25	5,67	128899,32	4,89

Використовуючи дані табл. 4.8 та 4.9, що були отримані у ході подальшого графоаналітичного дослідження степеневих функцій, визначаємо степеневі коефіцієнти за наступною методикою:

– будуємо графік функції  $St = f(Pe)$  та визначаємо кут його нахилу до горизонтальної осі  $\alpha$ , із якого (рис.4.12) :  $p = tg \alpha$  або  $p = - tg \alpha = - 0,14$

– будуємо графік функції  $\frac{St}{Pe^{-p}} = f(Bu)$  та визначаємо аналогічно кут  $\gamma$ :  $m = tg \gamma = 0,55$  ( рис. 4.13);

– будуємо графік функції  $\frac{St}{Pe^{-p} \cdot Bu^m} = f(Fr)$  та визначаємо аналогічно кут  $\Theta$  (рис.4.14) –  $2t = tg \Theta$  або  $t = -0,5 tg \Theta = -0,5 \cdot 6,3 = -3,15$

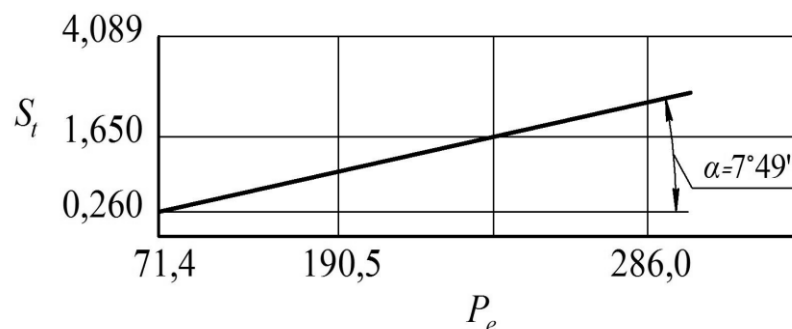


Рисунок 4.12– Залежність між критеріями Стантона і Пекле

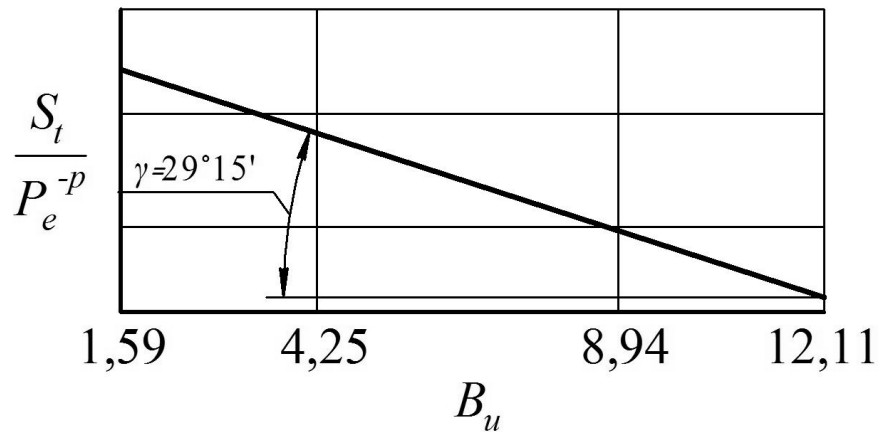


Рисунок 4.13 – Залежність між безрозмірним комплексом  $St/Pe^{-0,14}$  та критерієм Бурдо

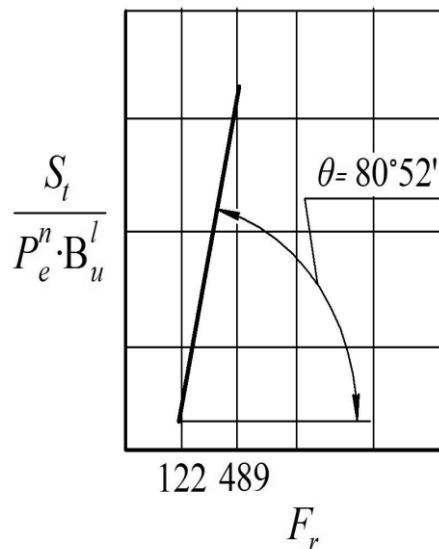


Рисунок 4.14 – Залежність між безрозмірним комплексом  $St/(Pe^{-0,14} \cdot Bu^{0,55})$  та критерієм Фруда

Остаточно рівняння (4.5) набуває вигляду:

Використовуючи критеріальне рівняння (4.6), можна проектувати типорозмірний ряд інфрачервоних сушарок залежно від закладених параметрів процесу [265-268].

$$St = A Pe^{-p} \cdot Bu^m \cdot Fr^{-t} = A \cdot Pe^{-0,14} \cdot Bu^{0,55} \cdot Fr^{-3,15}. \quad (4.2)$$

На основі графічних залежностей, що представлені на рисунках 4.12...4.14, знаходили величини степеневих коефіцієнтів критеріального рівняння, яке остаточно набуває вигляду у рівнянні 4.\2.

### 4.3.2 Оцінка швидкості сушіння насіння сої за використання віброконвекційної інфрачервоної установки

За використання попередньо представленої експериментальної бази даних визначали параметри основних етапів досліджуваного інфрачервоного сушіння залежно від швидкісних параметрів силового поля. Необхідні для дослідження величини параметрів заносили до табл. 4.10 та, використовуючи отримані дані, будували сімейства графічних експериментальних залежностей для представлених швидкостей транспортування насіння сої (рис. 4.15) [237, 242, 243].

Етап постійної швидкості сушіння починається через 205 с обробки при швидкості транспортування продукції 0,15 см/с; через 520 с обробки при швидкостях 0,4 та 0,6 см/с. Для вказаного режиму швидкість сушіння за швидкості транспортування продукції 0,15 см/с перевищує на 12-13 % як за швидкостей переміщення сипкої маси 0,4 та 0,6 см/с [260 -263].

Таблиця 4.10 – Питомі енергетичні та технологічні показники інфрачервоного сушіння насіння сої у рухомому шарі продукції

Швидкість транспортування продукції $v$ , см/с	Час обробки продукції $\tau$ , с	Відносна вологість продукції $\Delta W$ , %	Швидкість видалення вологи $dW/dt$ , %/с $\cdot 10^{-3}$
0,15	85	0,7	8,24
0,15	205	2,7	13,17
0,15	380	4,6	12,11
0,15	520	6,8	13,1
0,4	45	0,1	2,22
0,4	84	0,3	7,97
0,4	160	1,7	10,63
0,4	235	2,9	12,34
0,6	50	0,15	3,0
0,6	95	0,58	6,1
0,6	140	1,2	8,57
0,6	320	2,4	7,5

Рис. 4.15 - 4.16 відображають залежності інфрачервоного сушіння сої для різних швидкостей транспортування насіннєвого матеріалу вздовж робочої довжини тепломасообмінної установки.

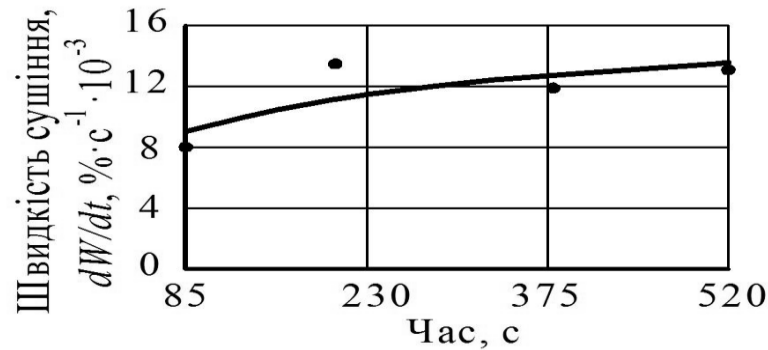


Рисунок 4.15 – Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,15 см/с

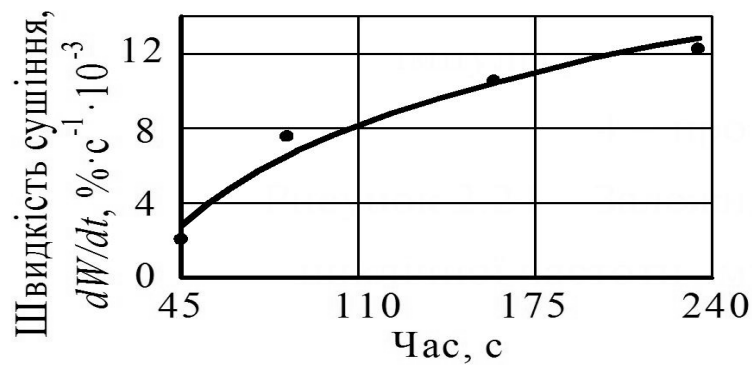


Рисунок 4.16 – Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,4 см/с

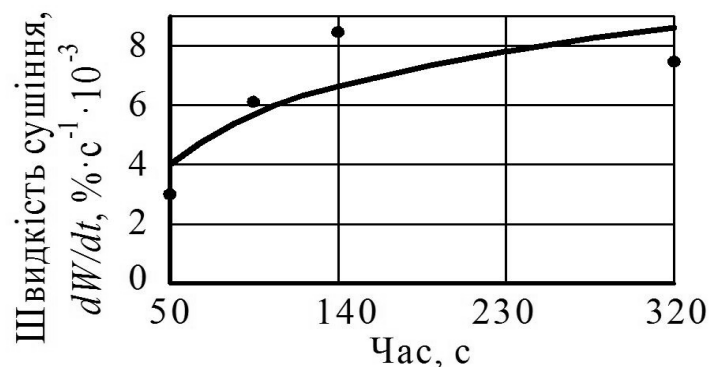


Рисунок 4.17 – Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,6 см/с

Таким чином, найбільш ефективним робочим режимом транспортування насіння сої в умовах інфрачервоного сушіння є інтервал швидкостей 0,15... 0,40 см/с.

#### **4.4 Обґрунтування основних параметрів процесу зберігання зернової продукції в охолодженому стані**

Газопроникність зернових мас дозволяє ефективно здійснювати активне вентиляванні або дезінфекцію технологічного середовища; створює у зерновій масі нормальний газообмін для корисної мікрофлори, що сприяє подовженню терміну зберігання продукції [205, 271, 272]. Величина шпаруватості зернової маси залежить від багатьох фізико-механічних властивостей продукції, зокрема при зростанні вологості зменшується сипучість та, відповідно, щільність укладання; підвищення гранулометричного складу зерен збільшує шпаруватість; більш шорстка поверхня зерна сприяє менш щільному укладанню зернин.

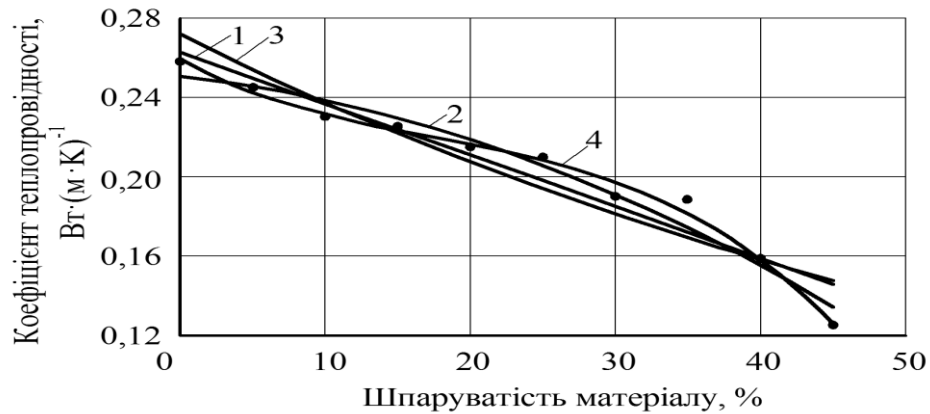
Шпаруватість розраховували з відношення:

$$S = \frac{(W - V)}{W} \cdot 100 \quad (4.3)$$

де  $W$  – загальний об'єм, що займає зернова маса, см<sup>3</sup>;  $V$  – істинний об'єм твердих частинок зернової маси, см<sup>3</sup>.

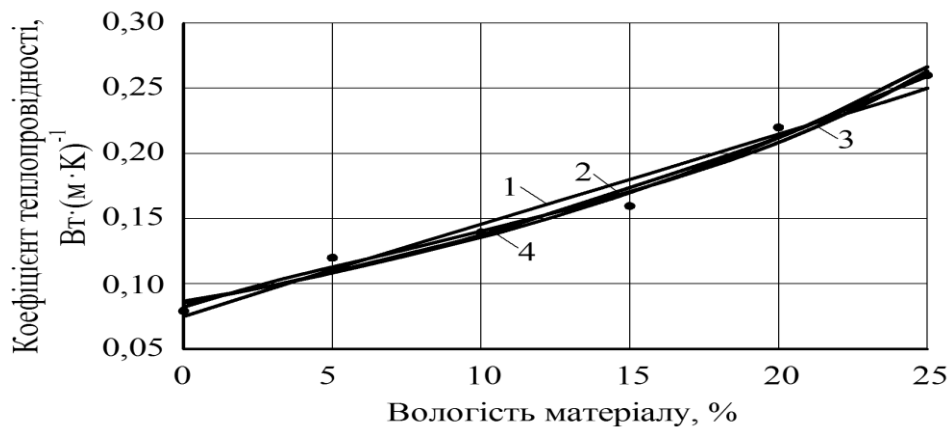
У математичному середовищі MathCAD здійснили обробку експериментальних даних, що представлено залежністю коефіцієнта теплопровідності від шпаруватості (рис.4.18). Найбільш наближеною до представленого експериментального графіка є поліноміальна залежність, при використанні якої можна отримати значення шпаруватості або коефіцієнта теплопровідності без розрахунків поточних точок [26, 27, 138, 217, 225].

Теплопровідність зернового шару з підвищенням вологості зерна спочатку збільшується, а потім знижується [27, 28, 39, 218, 247]. Отримані залежності коефіцієнта теплопровідності від вологості (рис. 4.19) дозволили обрати поліноміальну залежність, яка є найбільш наближеної до експериментальних досліджень.



1 – лінійна ; 2 – квадратична; 3 – експоненціальна; 4 – поліноміальна

Рисунок 4.18 – Залежність коефіцієнта теплопровідності від шпаруватості матеріалу

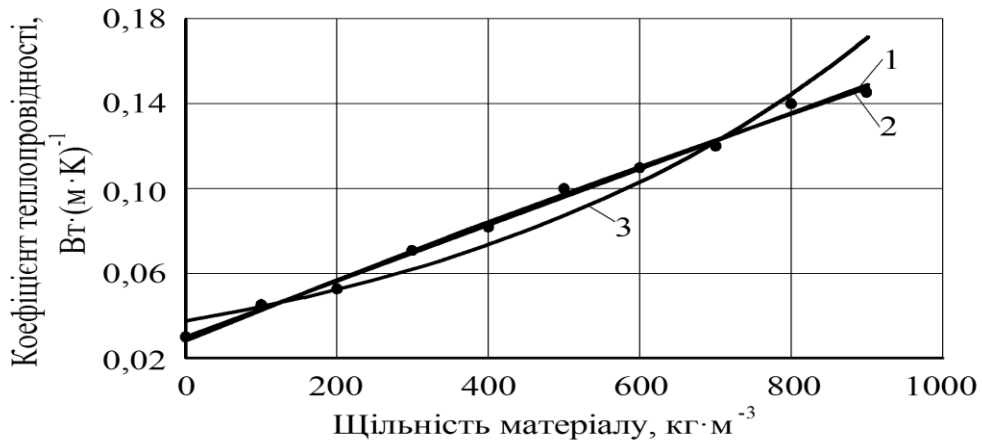


1 – лінійна ; 2 – квадратична; 3 – експоненціальна; 4 – поліноміальна

Рисунок 4.19 – Залежність коефіцієнта теплопровідності від вологості матеріалу

Аналогічно попередньому аналізу за допомогою комп'ютерної програми розраховували залежність коефіцієнта теплопровідності від

щільності (рис. 4.20), перебіг якої найбільш достовірно описує квадратична залежність [219, 220, 221, 228, 231].



1 – лінійна ; 2 – квадратична; 3 – експоненціальна

Рисунок 4.20 – Залежність коефіцієнта теплопровідності від щільності матеріалу

#### 4.4.1 Вміст клейковини та індекс деформації клейковини

Хлібопекарські властивості зерна пшениці визначаються масовою часткою білка, сирієї клейковини, а також її якістю [248 - 259], під якою приймали вміст білкових речовин зерна, що здатні при набуханні у воді утворювати зв'язну еластичну масу. Сира клейковина, що виділяється із тіста відмиванням, містить до 70 % води, при перерахунку на суху речовину 82 ... 88 % її складають білки - гліадин і глютенін. Вміст сирієї клейковини приблизно у два рази перевищує вміст білка [16, 27, 39, 85, 131, 224].

Для аналізу терміну зберігання та середньої температури у зерноховищі на клейковину пшениці були застосовані лінійна та квадратична регресійні моделі, що були побудовані за критерієм мінімізації суми квадратів відхилень або методом найменших квадратів. Для чого було проведено експериментальне дослідження у двох зерноховищах. Заміри проводились 1 раз на тиждень на протязі 28 тижнів. У першому зерноховищі

середня температура зерна коливалась від 0 до 8 °С, у другому зерносховищі температура коливалась від 8 до 15 °С. Було досліджено два типи регресійної моделі – лінійна та параболічна [241].

Отримана лінійна регресійна модель, побудована на основі експериментальних даних має вигляд:

$$y = 27,97505 + 0,00372x_1 + 0,0478x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 54,609 > F_{табл}(0,05; 2; 25) = 3,39$ ).

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{iTTEO} - y_i)^2}{n-1}},$$

де  $y_i$  – експериментальні дані;  $y_{i\text{теор}}$  – теоретичні дані, які розраховано на основі регресійної моделі,  $n$  – кількість експериментів [234].

Для нашого випадку  $\sigma_e = 0,04611$ .

Квадратична регресійна модель, що була побудована на основі отриманих даних має вигляд:

$$y = 27,4725 + 0,02807x_1 + 0,0621x_2 - 0,000461x_1^2 - 0,0067x_2^2$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 213,67 > F_{табл}(0,05; 4; 20) = 2,8$ ). Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,018. Таким чином, квадратична модель забезпечує меншу похибку та краще описує досліджувану залежність [47].

На рис. 4.21, 4.22 наведено залежності вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$  для зерносховища № 1.

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 24 тижнів при температурі не більше  $3,9^{\circ}\text{C}$ , клейковина при цьому складе 27,9 %.

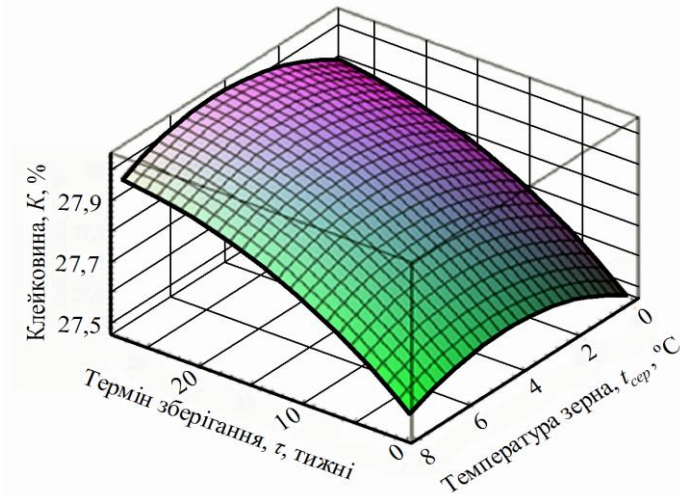


Рисунок 4.21 – Залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 94,896 > F_{табл}(0,05;2;25) = 3,39$ ).

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних дани дорівнює 0,509 [224, 234].

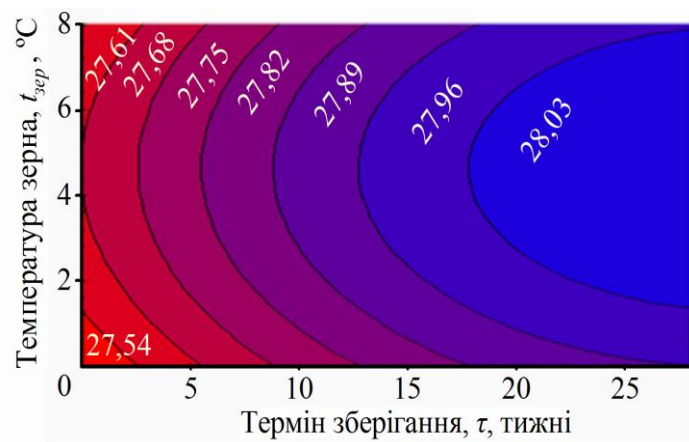


Рисунок 4.22 – Двовірна залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 24 тижнів при температурі не більше  $3,9^{\circ}\text{C}$ , клейковина при цьому складе 27,9 %.

Для експериментального зерносховища №2 отримали регресійну залежність:

$$y = 69,392 - 0,5776x_1 - 3,13809x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha=0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{\text{набл}}=94,896 > F_{\text{табл}}(0,05;2;25)=3,39$ ).

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,509.

Квадратична регресійна модель, побудована на основі даних табл. 4.2, має вигляд:

$$y = -21,4681 - 1,4414x_1 + 14,7789x_2 + 0,03069x_1^2 - 0,82105x_2^2.$$

При перевірці значимості параметрів моделі було виявлено, що параметр моделі при факторі  $x_1x_2$  незначимі (при рівні значимості  $\alpha = 0,05$ ), тому із моделі їх вилучили. Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{\text{набл}}=14328 > F_{\text{табл}}(0,05;4;23)=2,8$ ). Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,031.

Таким чином, квадратична модель забезпечує меншу похибку та краще описує досліджувану залежність.

На рис. 4.23, 4.24 наведено залежності вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{\text{сер}}$  для зерносховища № 2.

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 24 тижнів при температурі не більше  $9^{\circ}\text{C}$ , клейковина при цьому складе 28,1 %.

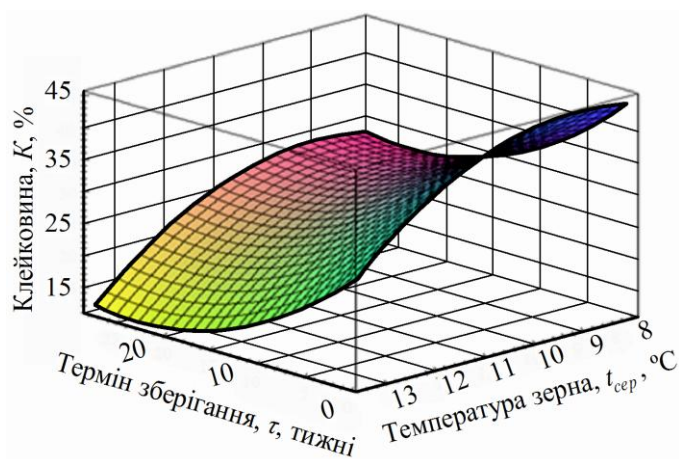


Рисунок 4.23 – Залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

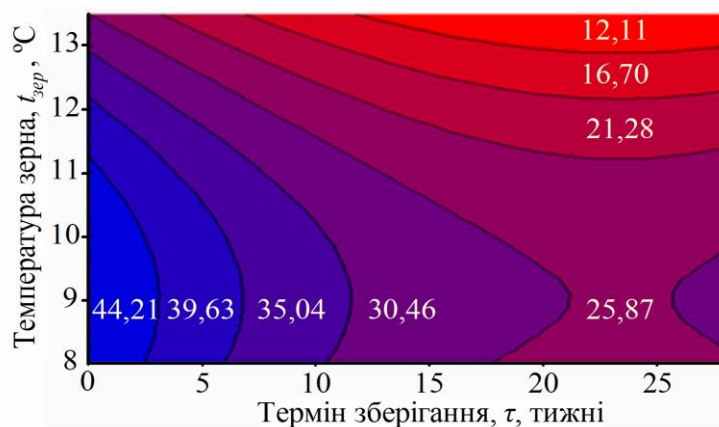


Рисунок 4.24 – Двомірна залежність вмісту клейковини пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

Для аналізу впливу факторів «Термін зберігання» та «Середня температура у зерносховищі» на показник «Індекс деформації клейковини пшениці» було проведено експериментальне дослідження в двох зерносховищах. Заміри проводились 1 раз на тиждень на протязі 28 тижнів. При кожному замірі фіксувалася середня температура зерна в зерносховищі та визначався показник «Індекс деформації клейковини пшениці», % [239, 240, 270]. Було досліджено два типи регресійної моделі – лінійну та квадратичну. Регресійні моделі побудовані за критерієм мінімізації суми квадратів відхилень (методом найменших квадратів) [225, 234].

Лінійна регресійна модель, побудована на основі експериментальних даних, має вигляд

$$y = 56,76718 + 0,1426x_1 + 13437x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 123,41 > F_{табл}(0,05; 2; 2; 25) = 3,39$ ).

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,764.

Квадратична регресійна модель, побудована на основі даних:

$$y = 71,2042 - 0,8456x_1 - 0,6575x_2 + 0,01788x_1^2 + 0,00509x_1x_2 + 0,060x_2^2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 941,4 > F_{табл}(0,05; 5; 22) = 2,66$ ). Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00581.

Таким чином, квадратична модель забезпечує меншу похибку та краще описує досліджувану залежність.

На рис. 4.25, 4.26 наведено залежності ІДК пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$  для зерносховища № 1 [234].

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 23 тижнів при температурі не більше  $4,5^{\circ}\text{C}$ , ІДК при цьому складе 60 %.

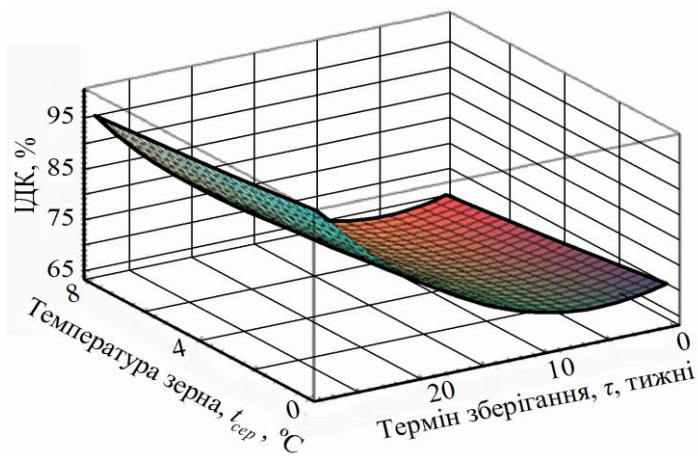


Рисунок 4.25 – Залежність ІДК пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

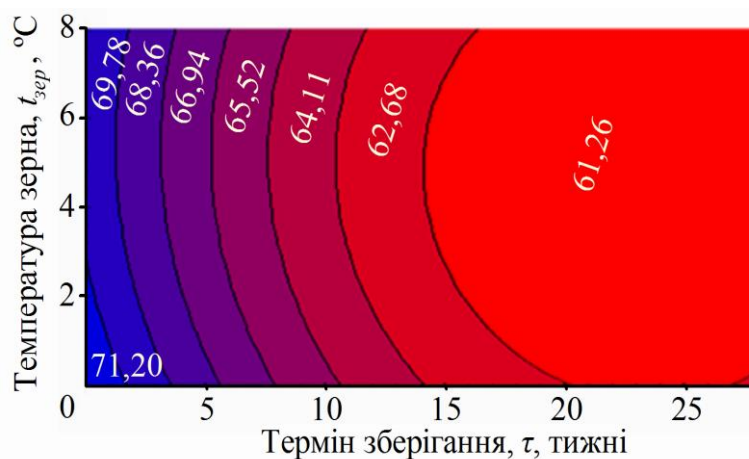


Рисунок 4.26 – Двовірна залежність ІДК пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

Для зерносховища №2 побудована лінійна регресійна модель, яка має вигляд:

$$y = 65,4488 - 0,11732x_1 + 0,2501x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha=0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл}=82,36 > F_{табл}(0,05;2;25)=3,39$ ).

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,577.

Квадратична регресійна модель має вигляд:

$$y = 84,9157 - 0,9736x_1 - 1,78446x_2 + 0,014054x_1^2 + 0,53159x_2^2 + 0,03295x_1x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл}=259 > F_{табл}(0,05;4;5;22)=2,66$ ). Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00517.

Таким чином, квадратична модель забезпечує меншу похибку та краще описує досліджувану залежність.

На рис. 4.27 і 4.28 залежності ІДК пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$  для зерносховища № 2.

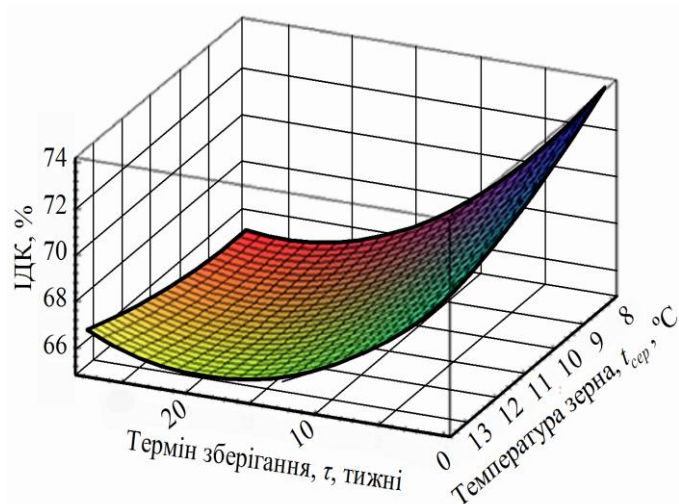


Рисунок 4.27 – Залежність ІДК пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

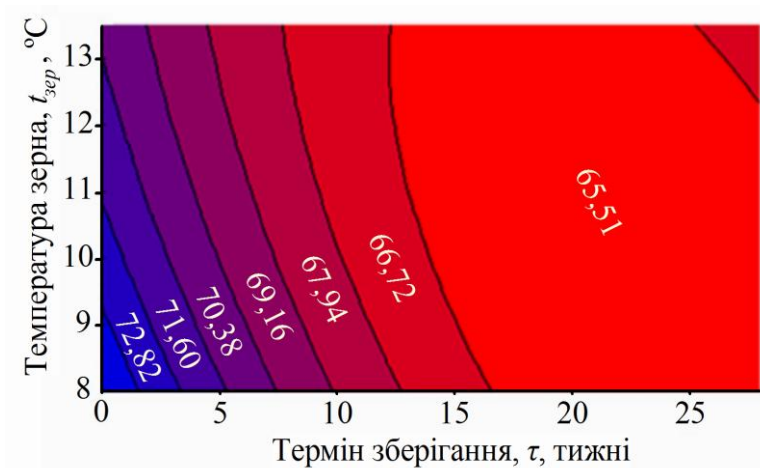


Рисунок 4.28 – Двовірна залежність ІДК пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 23-24 тижнів при температурі не більше  $9,5^{\circ}\text{C}$ , ІДК при цьому складе 65 %.

#### 4.4.2 Вихідна вологість

Для аналізу вихідної вологості також були проведені експериментальні дослідження у двох зерносховищах. Заміри проводились 1 раз на тиждень на протязі 28 тижнів. [26, 243, 246].

Лінійна регресійна модель має вигляд:

$$y = 11,65061 + 0,02019x_1 + 0,14232x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 76,42 > F_{табл}(0,05; 2; 25) = 3,39$ ).

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,08693.

Квадратична регресійна модель має вигляд :

$$y = 12,8866 - 0,05357x_1 - 0,08399x_2 + 0,001142x_1^2 + 0,00034x_1x_2 + 0,012828x_2^2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 879,2 > F_{табл}(0,05; 5; 22) = 2,66$ ). Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,01743683.

Таким чином, квадратична модель забезпечує меншу похибку та краще описує досліджувану залежність.

На рис. 4.29 і 4.30 наведено Залежність вологості пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$  для зерносховища № 1.

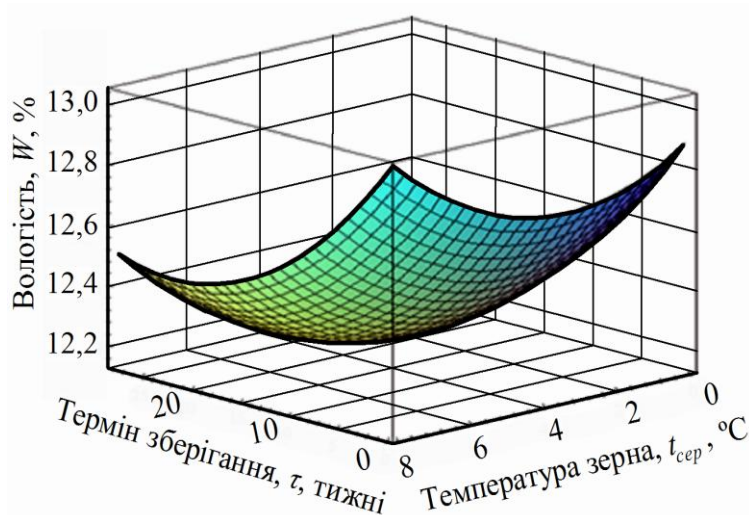


Рисунок 4.29 – Залежність вологості пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

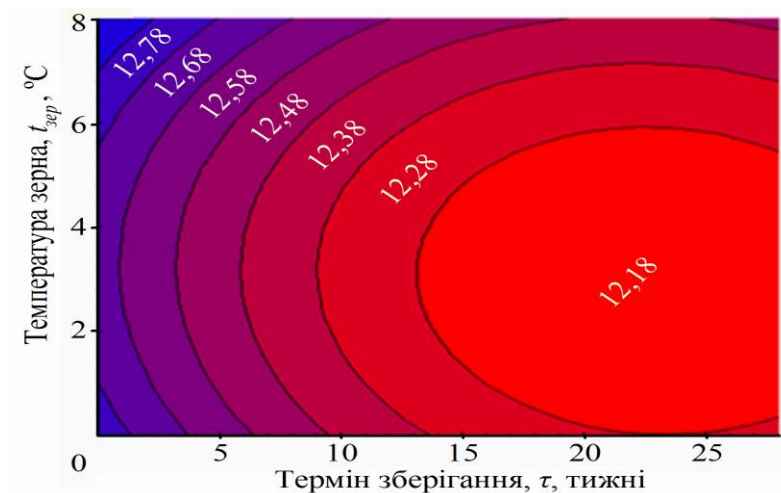


Рисунок 4.30 – Двомірна залежність вологості пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 23-24 тижнів при температурі не більше 3 °C, вологість при цьому складе 12,14 %.

Також була побудована лінійна регресійна модель для зерносховища №2:

$$y = 8,18138 + 0,04148x_1 + 0,3344x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна

$$F_{набл} = 49,79 > F_{табл}(0,05; 2; 25) = 3,39$$

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,1541.

Квадратична регресійна модель:

$$y = 13,74241 + 0,163711x_1 - 0,74771x_2 - 0,00152x_1^2 + 0,051092x_2^2 - 0,00958x_1x_2.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  показала, що модель адекватна ( $F_{набл} = 7096,5 > F_{табл}(0,05; 5; 22) = 2,66$ ).

Середнє квадратичне відхилення теоретичних та експериментальних даних дорівнює 0,00913 [47].

Таким чином, квадратична модель забезпечує меншу похибку та краще описує досліджувану залежність.

На рис. 4.31 і 4.32 наведено графіки поверхні і рівнів регресійної моделі квадратичної залежності вологості для зерносховища №2.

При оптимізації технологічних режимів даного процесу зберігання виявили, що найбільш сприятливим терміном зберігання є 23-24 тижнів при температурі не більше  $9,54^{\circ}\text{C}$ , вологість при цьому складе  $12,11\%$ .

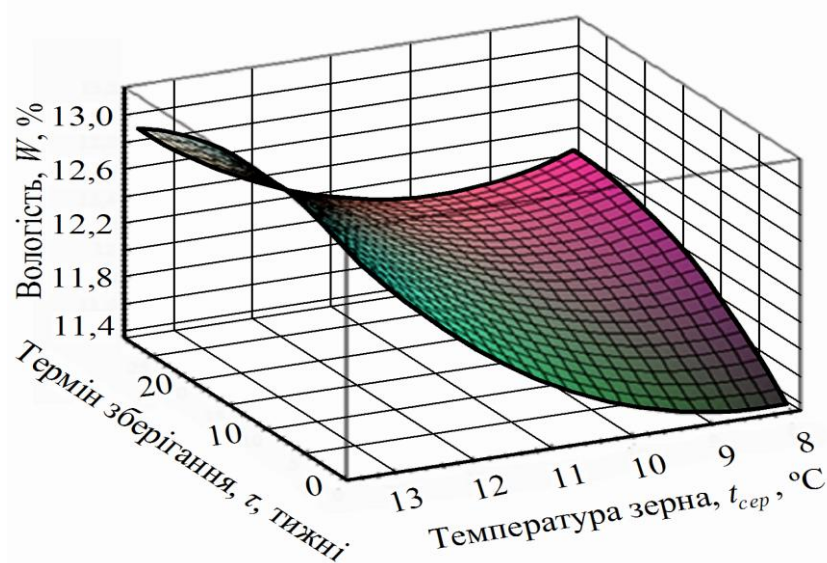


Рисунок 4.31 – Залежність вологості пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

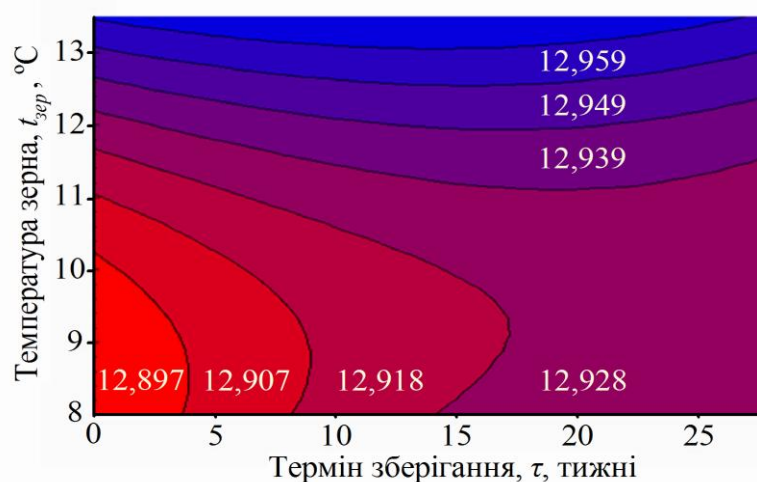


Рисунок 4.32 – Двомірна залежність вологості пшениці від терміну зберігання  $\tau$  та температури зерна  $t_{сер}$

## 4.5 Статистична оптимізація основних параметрів досліджуваних процесів зберігання

Стохастичне моделювання здійснювали за методом Бокса-Бенкіна згідно методики, що наведена у 3 розділі дисертації.

### 4.5.1 Процес фракціонування насіння

У табл. 4.11 наведені нормовані величини основних факторів досліджуваного процесу фракціонування насіння соняшнику на всіх рівнях. Експеримент проводили для насіння середньої та важкої фракцій. У ході досліджень вимірювали відсоток насіння після сепарації у відповідному приймальному бункері. У якості відгуків використовували величини:  $y_1$  – відсоток правильно відсепарованого насіння для важкої фракції,  $y_2$  – відсоток правильно відсепарованого насіння для середньої фракції [234, 269].

Таблиця 4.11 – Рівні вимірювання факторів, що мають вплив на процес поділу насіння соняшнику

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання		
				Верхній $z_i = +1$	Нульовий $z_i = 0$	Нижній $z_i = -1$
Швидкість сходження насіння (м/с)	$v_0$	$z_1$	0,25	0,9	0,775	0,65
Кут введення насіння (град)	$\alpha$	$z_2$	15	45	37,5	30
Швидкість повітря (м/с)	$v_v$	$z_3$	1,5	6	5,25	4,5
Кут поворота аспіраційного каналу (град)	$\beta$	$z_4$	180	360	270	180
Розмір парусного елемента (мм)	$a$	$z_5$	10	15	10	5

Для визначення параметрів регресійної моделі виду:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i z_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} z_i z_j$$

де  $y$  – відгук;  $b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії;  $z_i, z_j$  – значення факторів;  $k$  – кількість факторів.

Використовували метод найменших квадратів.

Коефіцієнти регресійної моделі визначалися за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{n_o} \sum_{u=1}^{n_o} y_{ou},$$

$$b_i = A \sum_{j=1}^N z_{ij} y_j,$$

$$b_{il} = D \sum_{j=1}^N z_{ij} z_{lj} z_j,$$

$$b_{ii} = B \sum_{j=1}^N z_{ij}^2 + C \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N z_{ij}^2 y_j^2 - \frac{1}{p \cdot n_o} \sum_{u=1}^{n_o} y_{ou},$$

де  $n_o$  – кількість досліджень в центрі плану;

$u$  – номер паралельного дослідження в центрі плану;

$y_{ou}$  – значення функції відгуку в  $u$ -му досліді;

$N$  – кількість дослідів в матриці планування;

$z_{ij}$  – закодоване значення  $i$ -го фактора в  $j$ -му досліді;

$k$  – кількість факторів;

$A, B, C, D, p$  – константи, які залежать від кількості факторів.

У нашому випадку:

$$n_o = 6, N = 46, k = 5, A = \frac{1}{16}, B = \frac{1}{12}, C = -\frac{11}{96}, D = \frac{1}{4}, p = 2.$$

Значення розрахованих коефіцієнтів моделі наведено у табл. 4.12.

Перевіримо значущість параметрів моделі перевіряли за критерієм Стьюдента.

Розрахуємо дисперсії коефіцієнтів моделі за формулами:

$$S_{b_o}^2 = \frac{1}{n_o} S_y^2,$$

$$S_{b_i}^2 = A S_y^2,$$

$$S_{b_{ii}}^2 = D S_y^2,$$

$$S_{b_{ii}}^2 = B_1 S_y^2,$$

де  $S_y^2 = \frac{1}{n_o - 1} \sum_{u=1}^{n_o} (y_{ou} - \bar{y}_o)^2$  - дисперсія відтворюваності експерименту;  $\bar{y}_o$  - середнє значення відгуків в результаті проведення  $n_o$  дослідів у центрі плану;

Таблиця 4.12 – Параметри регресійної моделі

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$
78,33	21,017	-7,535	6,82	0,623	1,5588
$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$	$b_{15}$	$b_{23}$	$b_{24}$
0,027	0,003	-0,005	0,0558	0,02	-0,022
$b_{25}$	$b_{34}$	$b_{35}$	$b_{45}$		
0,0388	-0,002	0,0588	0,0168		
$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$	$b_{44}$	$b_{55}$	
-3,5489	-4,32	-3,91	-1,99	-7,79	

$$B_1 = \frac{11}{96}.$$

$$n_1 = 6, N = 46, k = 5, A = \frac{1}{16}, B = \frac{1}{12}, C = -\frac{11}{96}, D = \frac{1}{4}, p = 2.$$

У нашому випадку

$$S_y^2 = \frac{1}{6-1} \cdot 0,06 = 0,012$$

$$S_{b_o}^2 = 0,002, S_{b_i}^2 = 0,00075, S_{b_{il}}^2 = 0,00138, S_{b_{ii}}^2 = 0,01$$

Значимість розрахункових коефіцієнтів моделі перевіряли за критерієм Стюдента при рівні значимості 0,05. Для кожного коефіцієнта моделі знаходили критичне значення критерію Стюдента за формулою:

$$t_{bi} = \frac{b_i}{s_{bi}}.$$

У табл. 4.13 наведено розраховане значення критерію Стюдента для кожного коефіцієнта регресійної моделі.

Табличне значення критерію Стюдента при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  і кількості ступенів волі  $k = 26$  дорівнює  $t_{кр} (0,05; 26)$ .

Таким чином наступні коефіцієнти моделі  $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{23}, b_{24}, b_{25}, b_{34}, b_{35}, b_{45}, b_{33}$  – не значимі і їх із регресійної моделі слід вилучити.

Таблиця 4.13 – Критерії Стюдента для кожного коефіцієнта регресійної моделі

$t_{b0}$	$t_{b1}$	$t_{b2}$	$t_{b3}$	$t_{b4}$	$t_{b5}$
1751,44	767,26	-275,28	248,85	22,78	56,53
$t_{b12}$	$t_{b13}$	$t_{b14}$	$t_{b15}$	$t_{b23}$	$t_{b24}$
0,728136	0,080904	-0,13484	1,504814	0,53936	-0,5933
$t_{b25}$	$t_{b34}$	$t_{b34}$	$t_{b35}$		
1,046358	-0,05394	1,585718	0,453062		
$t_{b11}$	$t_{b22}$	$t_{b33}$	$t_{b44}$	$t_{b55}$	
48,96	-136,51	-123,52	-63,03	-245,96	

Таким чином, регресійна модель з урахуванням тільки значимих параметрів має вигляд:

$$y = 78,335 + 21,017z_1 - 7,517z_2 + 6,820z_3 + 0,598z_4 + 1,558z_5 - 17,514z_1^4 - 4,320z_2^2 - 3,919z_3^2 - 1,996z_4^2 - 7,793z_5^2.$$

Перевіряли адекватність побудованої моделі за критерієм Фішера. Розрахункове значення критерію знаходили за формулою:

$$F_p = \frac{S_{ad}}{S_y^2},$$

$$\text{де } S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{f},$$

$$S_E = \sum_{uu}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2 = 0,06,$$

$$S_R = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = 0,46$$

$\hat{y}_i$  – теоретичні значення, розраховані на основі регресійної моделі,  
 $f = N - k' - (n_0 - 1) = 46 - 11 - (6 - 1) = 30$  – кількість ступенів волі,

$k'$  - кількість коефіцієнтів регресійної модулі з урахуванням тільки значимих параметрів.

$$S_{ad}^2 = \frac{0,46 - 0,06}{30} = 0,013,$$

$$F_p = \frac{0,013}{0,012} = 1,083,$$

$$F_T(0,05; 30; 5) = 4,4.$$

Оскільки  $F_p < F_T$ , то побудована регресійна модель адекватна.

Перейдемо від нормованих значень факторів до їх реальних значень, для чого виконаємо заміну

$$x_i = z_i \frac{x_i^B x_i^H}{2} + \frac{x_i^B x_i^H}{2},$$

де  $z_i$  – нормоване значення фактору  $i$ ;

$x_i$  – реальне значення фактору  $i$ ;

$x_i^B$  – значення фактору  $i$  на верхньому рівні;

$x_i^H$  – значення фактору  $i$  на нижньому рівні.

Формули переходу для кожного з факторів мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 8z_1 - 6,2; \\
 x_2 &= 0,133z_2 - 5; \\
 x_3 &= 1,33z_3 - 7; \\
 x_4 &= 0,011z_4 - 3; \\
 x_5 &= 0,2z_5 - 2.
 \end{aligned}$$

Модель має вигляд:

$$\begin{aligned}
 y &= -1089,517x_1 + 1905,589x_2 + 82,258x_3 + 0,139x_4 + 6,547x_5 - \\
 &1120,935x_1^2 - 0,076x_2^2 - 6,968x_3^2 - 0,024x_4^2 - 0,311x_5^2
 \end{aligned}$$

На основі побудованої моделі знайшли оптимальні значення параметрів сепаратора, використовуючи методи класичної оптимізації.

Для цього розв'язали систему рівнянь і знайшли стаціонарні точки:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial y}{\partial x_1} &= 1905,589 - 2241,870x_1 = 0 \\
 \frac{\partial y}{\partial x_2} &= 4,758 - 0,153x_2 = 0 \\
 \frac{\partial y}{\partial x_3} &= 82,258 - 13,936x_3 = 0 \\
 \frac{\partial y}{\partial x_4} &= 0,139 - 0,493x_4 = 0 \\
 \frac{\partial y}{\partial x_4} &= 0,139 - 0,493x_4 = 0 \\
 \frac{\partial y}{\partial x_5} &= 6,547 - 0,623x_5 = 0
 \end{aligned} \right\}$$

Розв'язок системи рівнянь:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0,85; \\
 x_2 &= 30,975; \\
 x_3 &= 5,9025; \\
 x_4 &= 283,5; \\
 x_5 &= 10,5.
 \end{aligned}$$

Побудували матрицю Гесе, елементами якої є значення других похідних в стаціонарній точці:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = -2241,870, \frac{\partial y}{\partial x_1 \partial x_i} = 0, i = 2 \dots 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = -0,153, \frac{\partial y}{\partial x_2 \partial x_i} = 0, i = 1, 3, 4, 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_3^2} = -13,935, \frac{\partial y}{\partial x_3 \partial x_i} = 0, i = 1, 2, 4, 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_4^2} = -0,493, \frac{\partial y}{\partial x_4 \partial x_i} = 0, i = 1, 2, 3, 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_5^2} = -0,623, \frac{\partial y}{\partial x_5 \partial x_i} = 0, i = 1, 2, 3, 4;$$

$$\begin{pmatrix} -2241,87 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,153 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -13,935 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,493 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,623 \end{pmatrix}.$$

Знаходили кутові мінори:

$$A_1 = -2241,87; A_2 = 343,00611; A_3 = -4779,7901; A_4 = 2356,436; A_5 = 1468,060$$

Таким чином, матриця Гесе є негативно визначеною, з чого випливає, що знайдена точка є точкою локального максимуму.

Оптимальні значення:

$$v_0 = x_1 = 0,85 \frac{M}{c};$$

$$a = x_2 = 30,975^0;$$

$$v_0 = x_3 = 5,9025 \frac{M}{c};$$

$$\beta = x_4 = 283,5^0;$$

$$a = x_5 = 10,5 \text{ мм.}$$

Раціональне значення відгуку (відсоток важкої фракції) при цих значеннях факторів, яке знайдено з рівняння регресії, дорівнює 91,008 %.

На рис. 4.33 наведено графіки поверхні відгуку  $y = (v_0, a, v_v, \beta, a)$  при фіксованих значеннях факторів  $v_v = 5,9025$  м/с,  $\beta = 283,5^\circ$ ;  $a = 10,5$  мм.

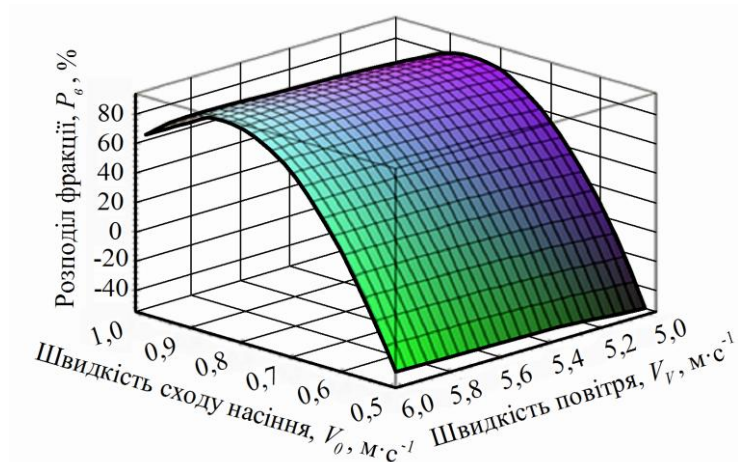


Рисунок 4.33 – Залежність розподілу фракцій від швидкості сходження насіння  $V_0$  та швидкості повітря  $V_v$  при фіксованих значеннях факторів:

$$\beta = 283,5^\circ, a = 10,5 \text{ мм}; \alpha = 31,0^\circ$$

На рис. 4.34 наведено графіки поверхні відгуку  $y = (v_0, a, v_v, \beta, a)$  при фіксованих значеннях факторів  $v_0 = 0,85 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $\beta = 283,5^\circ$ ,  $a = 10,5$  мм

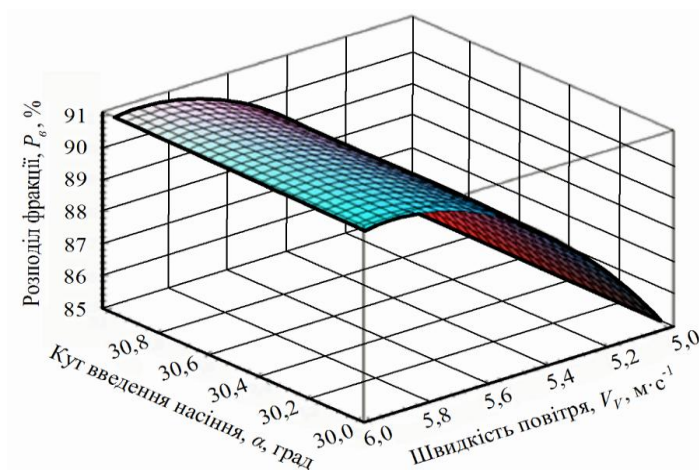


Рисунок 4.34 – Залежність розподілу фракцій від кута введення насіння  $\alpha$  та швидкості повітря  $V_v$  при фіксованих значеннях факторів:

$$V_0 = 0,85 \text{ м/с}, \beta = 283,5^\circ, a = 10,5 \text{ мм}$$

На рис. 4.35 наведено графіки поверхні відгуку  $y = (v_0, a, v_v, \beta, a)$  при фіксованих значеннях факторів  $a = 30,975^\circ$ ,  $\beta = 283,5^\circ$ ,  $a = 10,5$  мм

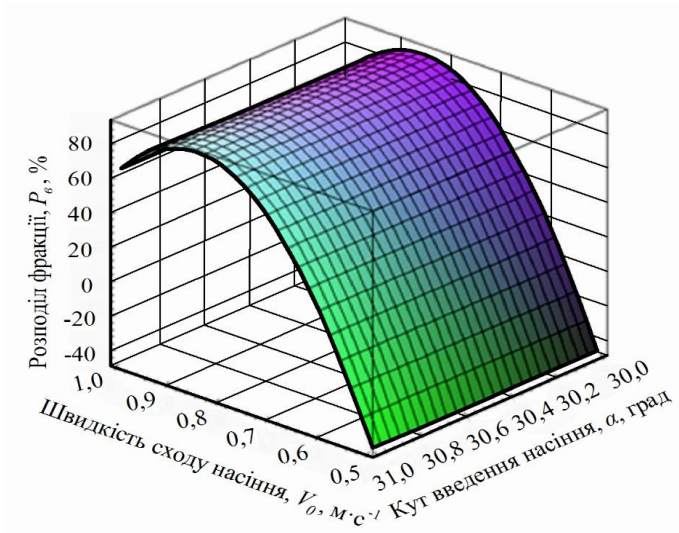


Рисунок 4.35 – Залежність розподілу фракцій від швидкості сходження насіння  $V_0$  та від кута введення насіння  $\alpha$  при фіксованих факторів:

$$a = 30,975^\circ, \quad \beta = 283,5^\circ, \quad a = 10,5 \text{ мм}$$

Для визначення параметрів регресійної моделі виду:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i z_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} z_i z_j,$$

де  $y$  – відгук;

$b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії;

$z_i, z_j$  – значення факторів;

$k$  – кількість факторів.

Використовували метод найменших квадратів.

Значення розрахованих коефіцієнтів моделі наведено у таблиці 4.14.

В нашому випадку

$$S_y^2 = \frac{1}{6-1} \cdot 6,31 = 1,262$$

$$S_{b_0}^2 = 0,208, S_{b_i}^2 = 0,078, S_{b_{ij}}^2 = 0,3125, S_{b_{ii}}^2 = 0,1432.$$

Для перевірки значимості коефіцієнтів моделі за критерієм Стьюдента для кожного коефіцієнта знаходимо критичне значення критерію.

Таблиця 4.14 — Параметри регресійної моделі

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$
75,486	20,388	-6,911	6,905	0,219	0,504
$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$	$b_{15}$	$b_{23}$	$b_{24}$
0,025	0,02375	-0,0205	-0,02265	-0,00225	-0,0215
$b_{25}$	$b_{34}$	$b_{35}$	$b_{45}$		
0,00135	-0,03775	-0,0124	0,02885		
$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$	$b_{44}$	$b_{55}$	
-	-	-	-	-	
15,672	4,295	3,831	0,589	5,069	

В табл. 4.15 наведено розраховане значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнта регресійної моделі.

Таблиця 4.15 – Критерії Стьюдента при рівні значимості

$t_{b0}$	$t_{b1}$	$t_{b2}$	$t_{b3}$	$t_{b4}$	$t_{b5}$
164,593	72,596	-24,609	24,585	2,779	2,796
$t_{b12}$	$t_{b13}$	$t_{b14}$	$t_{b15}$	$t_{b23}$	$t_{b24}$
0,044508	0,042283	-0,0365	-0,04032	-0,00401	-0,03828
$t_{b25}$	$t_{b34}$	$t_{b35}$	$t_{b45}$		
0,0024	-0,0672	-0,0221	0,0514		
$t_{b11}$	$t_{b22}$	$t_{b33}$	$t_{b44}$	$t_{b55}$	
-41,21	-11,30	-10,07	-1,55	-13,33	

Табличне значення критерію Стьюдента при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  і кількості ступенів волі  $k = 26$  дорівнює  $t_{кр}(0,05; 26) = 2,056$ .

Таким чином, наступні коефіцієнти моделі  $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{15}, b_{23}, b_{24}, b_{25}, b_{34}, b_{35}, b_{45}$  – не значимі і їх із регресійної моделі слід вилучити.

Регресійна модель з урахуванням тільки значимих параметрів має вигляд:

$$y = 75,786 + 20,388z_1 - 6,911z_2 + 6,905z_3 + 0,219z_4 + 0,504z_5 - 15,672z_1^2 - 4,295z_2^2 - 3,831z_3^2 - 0,589z_4^2 - 5,069z_5^2.$$

Перевіряли адекватність побудованої моделі за критерієм Фішера.

$$S_{ad}^2 = \frac{17,291 - 6,31}{30} = 0,367;$$

$$F_p = \frac{0,367}{1,262} = 0,29;$$

$$F_T(0,05; 30; 5) = 4,4.$$

Оскільки  $F_p < F_T$ , то побудована регресійна модель адекватна.

Перейдемо від нормованих значень факторів до їх реальних значень.

Формули переходу для кожного з факторів мають вид:

$$x_1 = 0,125z_1 + 0,775;$$

$$x_2 = 7,5z_2 + 37,5;$$

$$x_3 = 0,75z_3 + 5,25;$$

$$x_4 = 90z_4 + 270;$$

$$x_5 = 5z_5 + 10.$$

Модель має вигляд:

$$y = -989,167 + 1717766x_1 + 4,805x_2 + 80,718x_3 + 0,0417x_5 - 1033,008x_1^2 - 0,0763x_2^2 - 6,811x_3^2 - 0,727 \cdot 10^{-4} \cdot x_4^2 - 0,203x_5^2.$$

На основі побудованої моделі знайшли оптимальні значення параметрів сепаратора за допомогою методів класичної оптимізації. Для цього розв'язали систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial x_1} &= -2006,016x_1 + 1717,766 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= -0,1527x_2 + 4,805 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= -13,621x_3 + 80,718 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_4} &= -0,000145x_4 + 0,4156 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_5} &= -0,4055x_5 + 4,156 = 0 \end{aligned} \right\} .$$

Розв'язок системи рівнянь:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,856; \\ x_2 &= 31,466; \\ x_3 &= 5,925; \\ x_4 &= 286,7; \\ x_5 &= 10,248. \end{aligned}$$

Матриця Гесе, елементами якої є значення других похідних в стаціонарній точці:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = -2006,016; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_i} = 0, \quad i = 2 \dots 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = -0,1527; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_2 \partial x_i} = 0, \quad i = 1, 3, 4, 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_3^2} = -13,621; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_3 \partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, 4, 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_4^2} = -0,000145; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_4 \partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, 5;$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_5^2} = -0,4055; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial x_5 \partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4;$$

$$\begin{pmatrix} -2006,016 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0,1527 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -13,621 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,000145 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,4055 \end{pmatrix}.$$

Кутові мінори:

$$A_1 = -2006,016, A_2 = 306,318, A_3 = -4172,366, A_4 = 0,6050, A_5 = 0,2453.$$

Таким чином, матриця Гесе є негативно визначеною, з чого випливає, що знайдена точка є точкою локального максимуму.

Оптимальні значення:

$$v_0 = x_1 = 0,856 \frac{м}{с};$$

$$a = x_2 = 31,466^\circ;$$

$$v_v = x_3 = 5,925 м / с;$$

$$\beta = x_4 = 286,7^\circ;$$

$$a = x_5 = 10,248 мм.$$

Рациональне значення відгуку (відсоток середньої фракції) при цих значеннях факторів, яке знайдено з рівняння регресії, дорівнює 88,341%.

На рис. 4.36 наведено графіки поверхні відгуку  $y = (v_0, \alpha, v_v, \beta, a)$  при фіксованих значеннях факторів  $v_v = 5,925 м/с$ ,  $\beta = 286,7^\circ$ ,  $a = 10,248 мм$ .

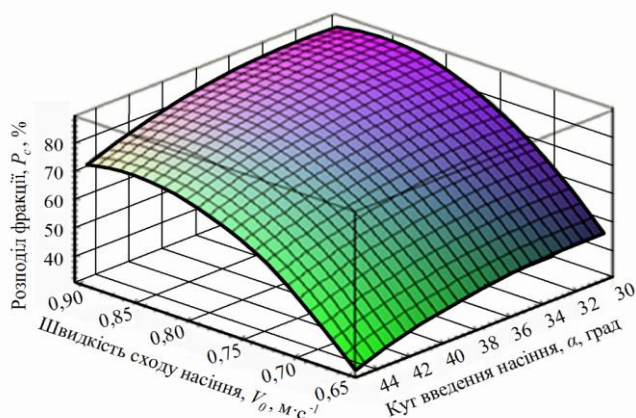


Рисунок 4.36– Залежність розподілу фракцій від швидкості сходження насіння  $V_0$  та кута введення насіння  $\alpha$  при фіксованих значеннях факторів:

$$V_v = 5,93 м/с, \beta = 286,7^\circ, a = 10,2 мм$$

На рис. 4.37 наведено графіки поверхні відгуку  $y = (v_0, \alpha, v_v, \beta, a)$  при фіксованих значеннях факторів  $v_v = 0,856$  м/с,  $\beta = 286,7^\circ$ ,  $a = 10,248$  мм.

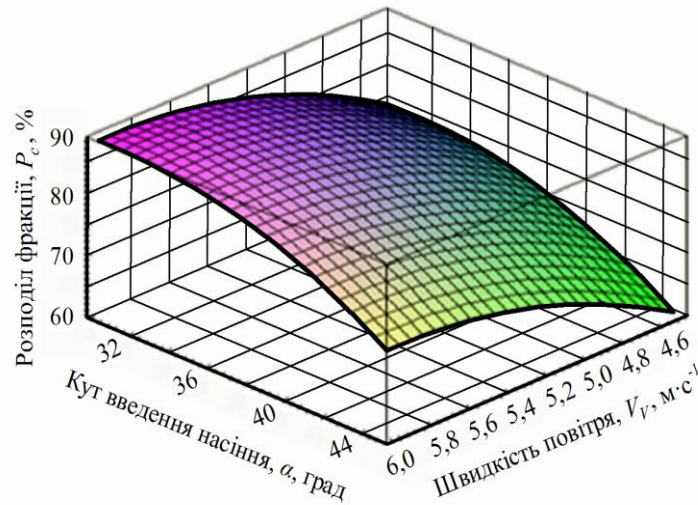


Рисунок 4.37 – Залежність розподілу фракцій від кута введення насіння  $\alpha$  та швидкості повітря  $V_v$  при фіксованих значеннях факторів:

$$V_0 = 0,85 \text{ м/с}, \beta = 286,7^\circ, a = 10,2 \text{ мм}$$

На рис. 4.38 наведено графіки поверхні відгуку  $y = (v_0, \alpha, v_v, \beta, a)$  при фіксованих значеннях факторів  $\alpha = 31,466^\circ$ ,  $\beta = 286,7^\circ$ ,  $a = 10,248$  мм.

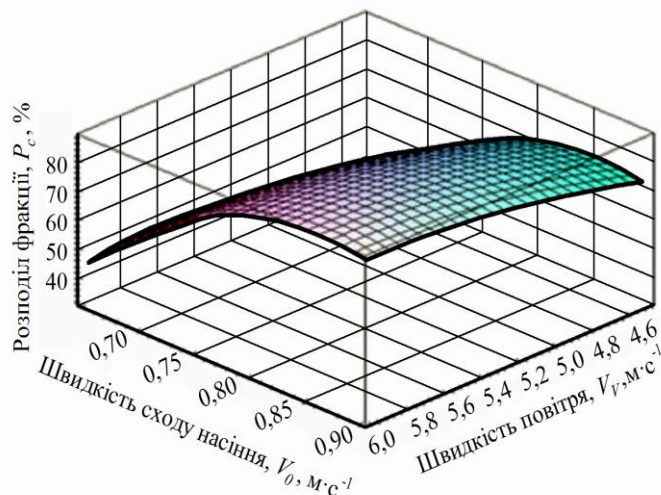


Рисунок 4.38 – Залежність розподілу фракцій від швидкості сходження насіння  $V_0$  та швидкості повітря  $V_v$  при фіксованих значеннях факторів:

$$\alpha = 31,466^\circ, \beta = 286,7^\circ, a = 10,248 \text{ мм.}$$

#### 4.5.2 Процес сушіння насіння сої

Для аналізу параметрів сушіння були проведені експериментальні дослідження. Експеримент проводився по плану повнофакторного есперемента типу  $2^4$ , кількість повторень кожного експерименту  $m = 3$ .

У табл. 4.16 наведені значення факторів на всіх рівнях і їх нормованих значень.

Що стосовно відгуків, то виступають значення:  $y_1$ -вологість оброблюваного матеріалу, %. У табл. 4.16 наведено план проведення експерименту в нормованих значеннях факторів і відповідні середні значення відгуків. Кількість повторень кожного експерименту  $m = 3$ .

Таблиця 4.16 – Рівні вимірювання факторів, що мають вплив на процес сушіння насіння сої

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання		
				Верхній $z_i = +1$	Нульовий $z_i = 0$	Нижній $z_i = -1$
Амплітуда коливання, мм	$A$	$z_1$	3,5	5	3,25	1,5
Відстань від поверхні, мм	$d$	$z_2$	10	25	20	15
Потужність випромінювання, Вт	$N$	$z_3$	100	400	350	300
Маса, г/хв	$m$	$z_4$	700	2300	2650	3000

Для визначення параметрів регресійної моделі виду

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i z_i + \sum_{i,j=1}^k b_{i,j} z_i z_j,$$

де  $y$  – відгук;  $b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії;  $z_i, z_j$  – значення факторів;  $k$  – кількість факторів.

Коефіцієнти регресійної моделі визначали за формулами:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N z_{ij} \bar{y}_j,$$

де  $N$  – кількість досліджень ( $N=16$ );

$z_{ij}$  – закодоване значення  $i$ -го фактора в  $j$ -му досліді;

$k$  – кількість факторів.

Значення розрахованих коефіцієнтів моделі наведено у таб. 4.17.

Перевірка значущості параметрів моделі за критерієм Стюдента при рівні значимості 0,05 показала, що всі параметри моделі значимі [208, 243].

Таблиця 4.17 - Параметри регресійної моделі

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	
-1,26487	0,24051	0,07589	0,00752	0,00553	
$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$	$b_{23}$	$b_{24}$	$b_{34}$
0,00829	0,00023	-0,00019	-0,00003	-0,00003	-0,0000034

Таким чином, регресійна модель має вигляд:

$$y = -1,26487 + 0,24051x_1 + 0,07589x_2 + 0,00752x_3 + 0,00553x_4 + 0,00829x_1x_2 + 0,00023x_1x_3 - 0,00019x_1x_4 - 0,000003x_2x_3 - 0,0000034x_3x_4.$$

Розраховане значення критерію Фішера дорівнює  $F_p = 1,75$ ,  $F_T(0,05;6;15)=2,79$ .

Оскільки,  $F_p < F_T$ , то побудована регресійна модель адекватна при рівні значущості 0,05.

Як відомо, раціональні значення вологості оброблюваного матеріалу 12,35 - 12,45 %. Відповідно до побудованої моделі таке значення вологості досягається при наступних значеннях параметрів:

$$A = x_1 = (3,5 \pm 0,45) \text{ мм};$$

$$d = x_2 = (20 \pm 1,3) \text{ мм};$$

$$N = x_3 = (350 \pm 13) \text{ Вт};$$

$$m = x_4 = (2670 \pm 90) \text{ г / хв.}$$

На рис. 4.39 наведено графіки поверхні відгуку при фіксованих значеннях факторів  $A = 3,5$  мм;  $d = 20$  мм.

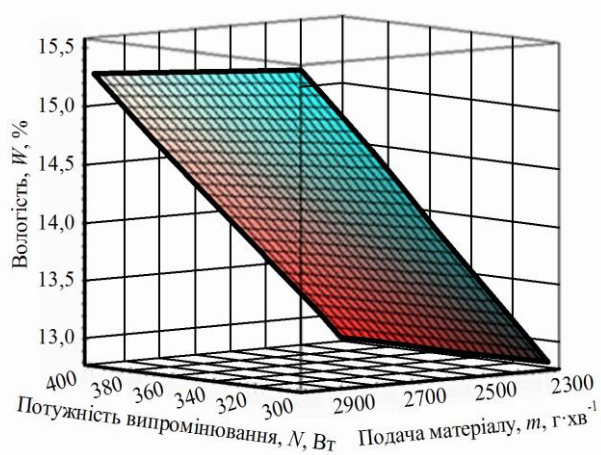


Рисунок 4.39 – Залежність вологості насіння від потужності випромінювання  $N$  та подачі матеріалу  $m$  при фіксованих значеннях факторів:

$$A = 3,5 \text{ мм}, d = 20 \text{ мм}$$

На рис. 4.40 наведено графіки поверхні відгуку при фіксованих значеннях факторів  $m = 2670$  г/хв,  $N = 350$  Вт.

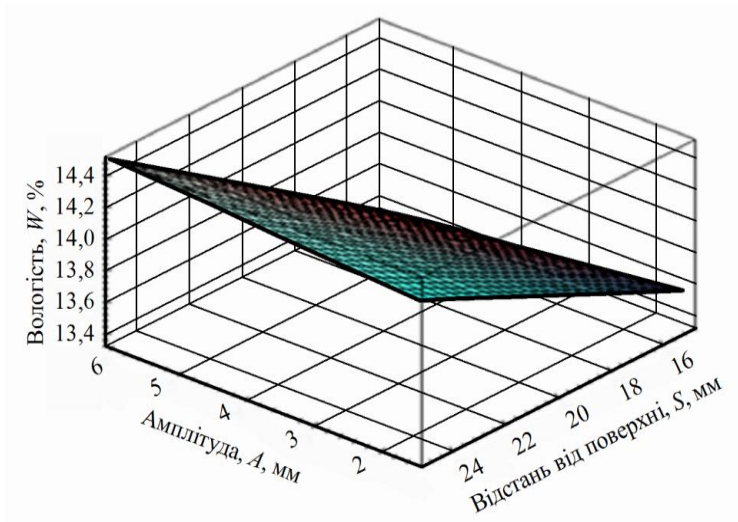


Рисунок 4.40 – Залежність вологості насіння від амплітуди  $A$  та відстані від поверхні  $S$  при фіксованих значеннях факторів:

$$m = 2670 \text{ г/хв}, N = 350 \text{ Вт}$$

На рис. 4.41 наведено графіки поверхні відгуку при фіксованих значеннях факторів:  $N = 350 \text{ Вт}$ ,  $d = 20 \text{ мм}$ .

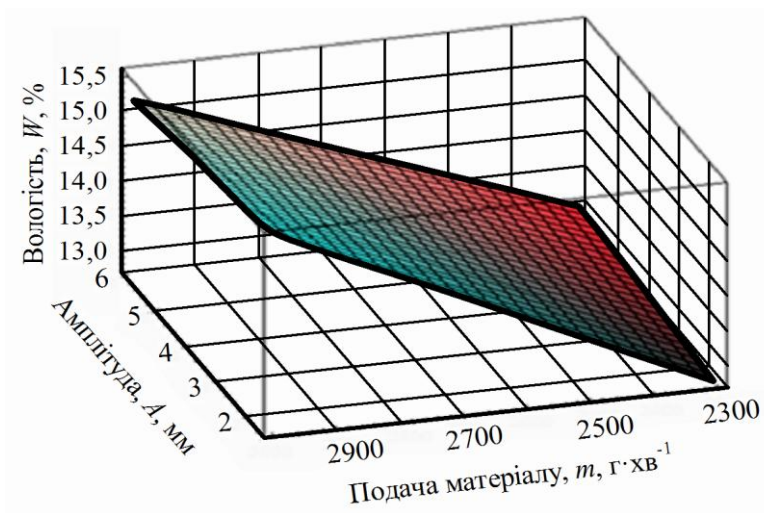


Рисунок 4.41 – Залежність вологості насіння від амплітуди  $A$  та при подачі матеріалу  $m$  при фіксованих значеннях факторів:

$$N = 350 \text{ Вт}, d = 20 \text{ мм}$$

Для визначення параметрів регресійної моделі виду

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i z_i + \sum_{i,j} b_{ij} z_i z_j,$$

де  $y$  – відгук;

$b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії;

$z_i, z_j$  – значення факторів;

$k$  – кількість факторів

Коефіцієнти моделі визначали за формулами:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_j^N z_{ij} \bar{y}_j,$$

де  $N$  – кількість досліджень ( $N=16$ );

$z_{ij}$  – закодоване значення  $i$ -го фактора в  $j$ -му досліді;

$k$  – кількість факторів.

Значення розрахованих коефіцієнтів моделі наведено у табл. 4.18.

Таблиця 4.18 – Параметри регресійної моделі

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
96,5371	0,5357	-0,1875	0,01875	-0,0198

Перевірка значущості параметрів моделі за критерієм Стьюдента показала, що при рівні значимості  $\alpha = 0,05$  параметри моделі  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  значимі. Параметри моделі  $b_{12}, b_{13}, b_{14}, b_{23}, b_{24}, b_{34}$  незначимі.

Таким чином, регресійна модель має вигляд:

$$y = 96,5371 + 0,5357x_1 - 0,1875x_2 + 0,01875x_3 - 0,0198x_4.$$

Адекватність побудованої моделі перевіряли за критерієм Фішера.

Розраховане значення критерію дорівнює

$$F_p = \frac{S_{ад}}{S_{воспр}} = \frac{1,24}{0,92} = 1,35. \quad F_T(0,05; 11; 32) = 2,36.$$

Оскільки,  $F_p < F_T$ , то побудована регресійна модель адекватна при рівні значущості 0,05.

Як відомо, раціональні значення температури в середині шару 47–50 °С. Відповідно до побудованої моделі, таке значення температури досягається при наступних значеннях параметрів:

$$A = x_1 = (3,9 \pm 0,45) \text{ мм};$$

$$d = x_2 = (19 \pm 1,3) \text{ мм};$$

$$N = x_3 = (355 \pm 13) \text{ Вт};$$

$$m = x_4 = (2675 \pm 90) \text{ г / хв.}$$

На рис. 4.42 наведено графіки поверхні відгуку при фіксованих значеннях факторів:  $A = 3,9$  мм;  $d = 19$  мм.

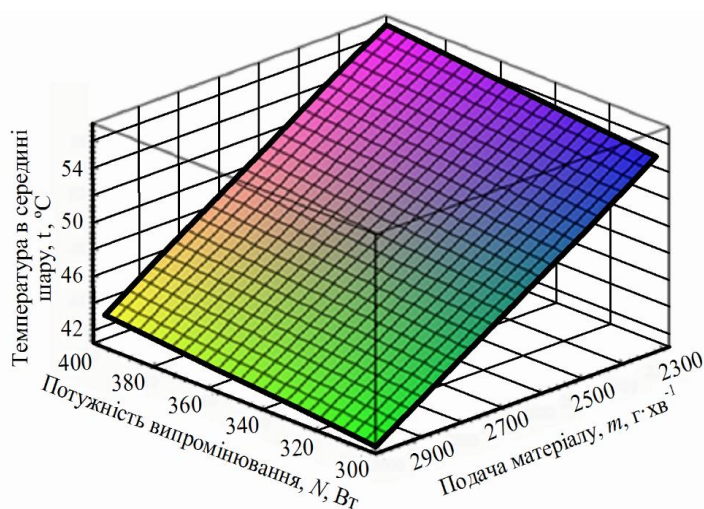


Рисунок 4.42 – Залежність температури в середині шару насіння від потужності випромінювання  $N$  та подачі матеріалу  $m$  при фіксованих значеннях факторів:

$$A = 3,9 \text{ мм}, \quad d = 19 \text{ мм}$$

На рис. 4.43 наведено графіки поверхні відгуку при фіксованих значеннях факторів:  $m = 2675$  г/хв,  $N = 355$  Вт

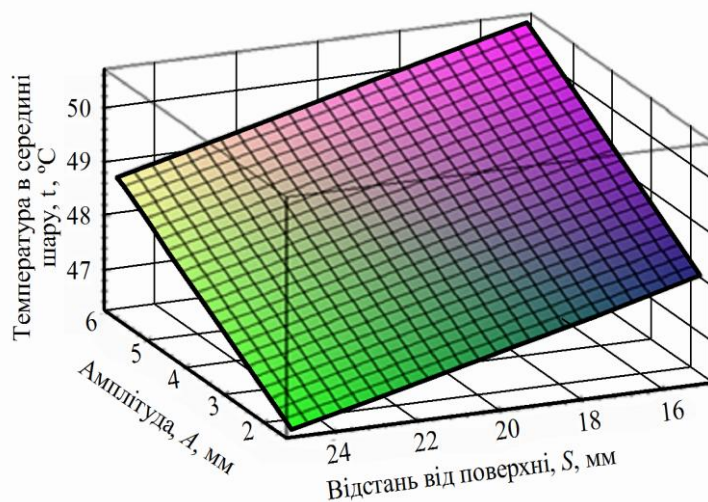


Рисунок 4.43 – Залежність температури всередині шару насіння від амплітуди  $A$  та відстані від поверхні  $S$  при фіксованих значеннях факторів:

$$m = 2675 \text{ г/хв}, N = 355 \text{ Вт}$$

На рисунку 4.44 наведено графіки поверхні відгуку при фіксованих значеннях факторів:  $N = 355 \text{ т}$ ,  $d = 19 \text{ мм}$

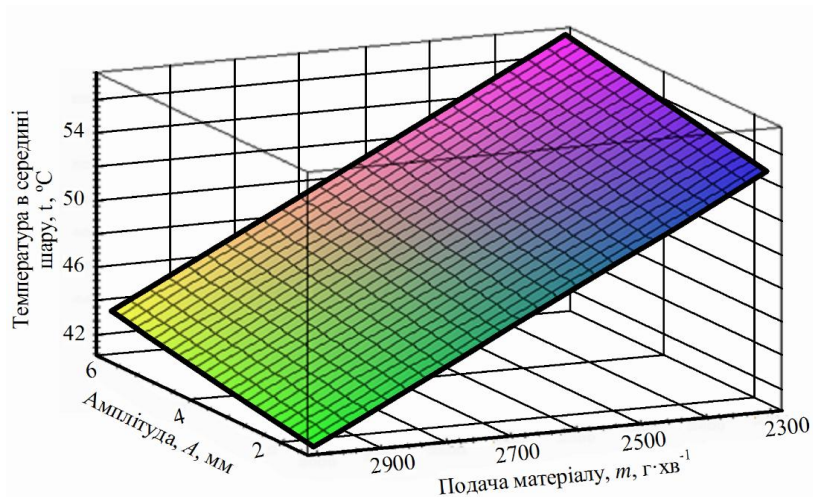


Рисунок 4.44 – Залежність вологості насіння від амплітуди  $A$  та при подачі матеріалу  $m$  при фіксованих значеннях факторів:

$$N = 355 \text{ т}, d = 19 \text{ мм}$$

### 4.5.3 Оцінка вмісту клейковини у продукції

На рис. 4.51–4.53 приведені значення факторів при оцінці вмісту клейковини у продукції за проектованої системи охолодження для всіх рівнів та їх нормовані величини, тобто має місце динаміка зміни кожного показника по тижнях. У якості відгуків приймали значення:  $y$  – показник клейковини у пшениці.



Рисунок 4.45 – Динаміка зміни клейковини за тижнями

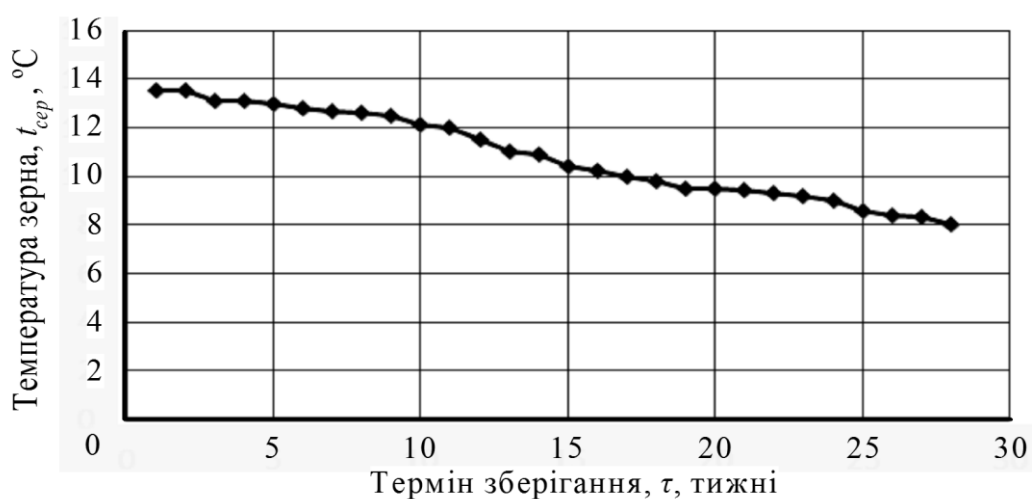


Рисунок 4.46 – Динаміка зміни середньої температури зерна в зерносховищі за тижнями

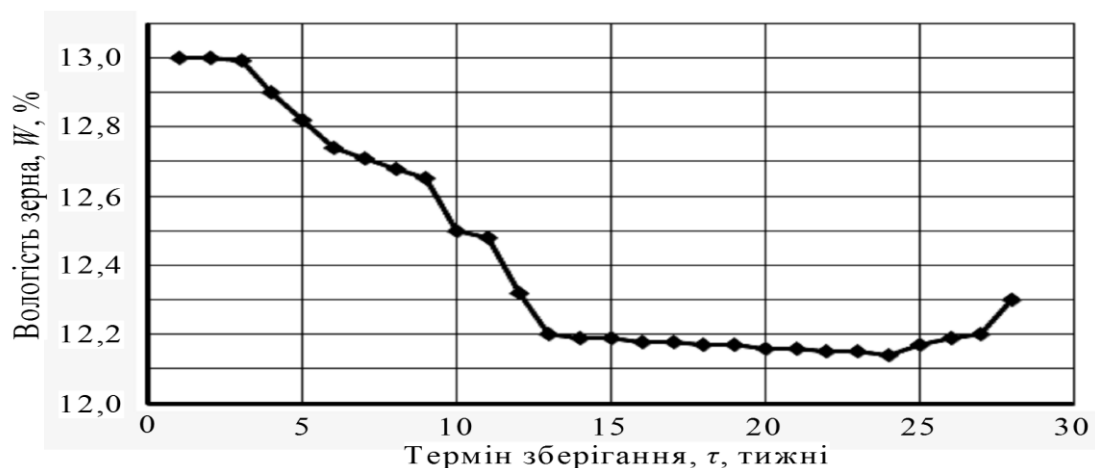


Рисунок 4.47 – Динаміка зміни вологості за тижнями



Рисунок 4.48 – Динаміка зміни температури повітря у зерносховищі за тижнями

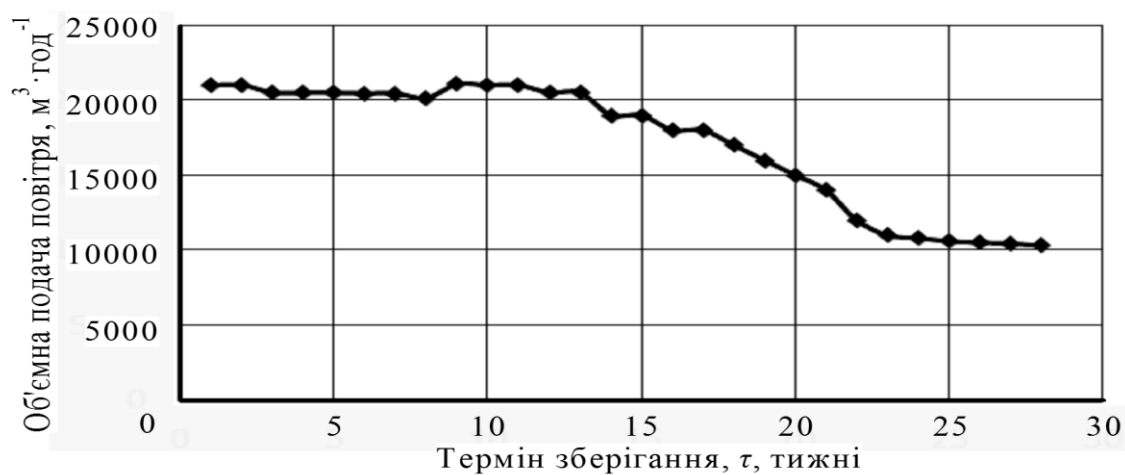


Рисунок 4.49 – Динаміка зміни об'єма подачі повітря за тижнями



Рисунок 4.50 – Динаміка зміни об’єма подачі повітря по тижнях

Перед тим, як будувати регресійну модель, проведено дослідження на наявність ефекту мультиколеніарності, тобто наявність кореляційного зв’язку між факторами. Розраховуємо парні коефіцієнти кореляції (табл. 4.19).

Усі парні коефіцієнти кореляції між факторами мають значення, близькі по модулю до одиниці, що свідчить про високий рівень кореляційного зв’язку між ними.

Тому побудували регресійну модель у вигляді:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5.$$

Регресійну модель будували за методом найменших квадратів. Після перевірки на значущість розрахованих параметрів та адекватності моделі виявилось, що всі параметри моделі незначимі, а сама модель при цьому адекватна. Цей факт свідчить про наявність мультиколеніарності.

Для побудови регресійної моделі в умовах мультиколеніарності було вилучено ряд незначимих факторів:

$$x_1 x_2, x_1 x_4, x_1 x_5, x_2 x_4, x_2 x_5, x_3 x_4, x_3 x_5, x_4 x_5.$$

Також було введено фіктивний фактор  $x_{45}^f = x_1 - (a_0 + a_4x_4 + a_5x_5)$ .

Таким чином, після виключення факторів, яким відповідають незначимі параметри, та підстановки фіктивного фактору отримана наступна регресіна моделі:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_f x_{45}^f + b_{2f}x_2x_{45}^f.$$

Таблиця 4.19 – Матриця парних коефіцієнтів кореляції

	y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>
y	1					
x <sub>1</sub>	-0,91396	1				
x <sub>2</sub>	-0,80668	0,8777	1			
x <sub>3</sub>	-0,91629	0,99828	0,8696376	1		
x <sub>4</sub>	-0,9179	0,90514	0,6307241	0,90963353	1	
x <sub>5</sub>	0,7035	-0,87999	-0,624816	-0,8797122	-0,8533	1

Розрахунок параметрів моделі проведено за методом найменших квадратів. Після підстановки фіктивного фактору у явному виді отримана наступна регресійна моделі:

$$y = 26,4885 + 9,1946x_1 - 0,3885x_2 - 7,1785x_3 - 0,002102x_4 + 2,376x_5 - 0,1239x_1x_3 + 0,6611x_2x_3 - 0,6794x_1x_2 + 0,0001673x_2x_4 - 0,1889x_2x_5.$$

Перевірка значимості параметрів моделі за критерієм Ст'юдента при рівні значимості 0,05 показала, що усі параметри моделі значимі.

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера показала, що модель адекватна ( $F_{\text{налб}} = 44,24 > F_{\text{табл}}(0,05;9;18) = 2,46$ ).

Середнє квадратичне відхилення похибки дорівнює  $\sigma_e = 0,096$ . Множинний коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,939$ , що свідчить про суттєвий вплив факторів на показник клейковини в порівнянні з випадковими факторами.

Для пошуку оптимальних значень факторів проведемо аналіз регресійної моделі методами класичної оптимізації [14, 197, 266].

Для цього розв'язували систему рівнянь і знаходили стаціонарні точки:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial x_1} &= 9,194 - 0,123x_3 - 0,679x_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= -0,388 + 0,661x_3 - 0,679x_1 + 0,00016x_4 - 0,188x_5 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= -7,078 - 0,123x_1 + 0,661x_2 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_4} &= -0,002 + 0,000167x_2 = 0 \end{aligned} \right\} .$$

Розв'язок системи рівнянь:  $x_1 = 9,57$ ,  $x_2 = 12,5$ ,  $x_3 = 5,72$ .

Оптимальні значення змінних  $x_4$  і  $x_5$  знаходили з аналізу експериментальних даних відповідно до знайдених оптимальних значень  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ . Знайдені оптимальні значення спостерігаються приблизно на двадцять четвертому тижні, при цьому показники факторів  $x_4 = 10800$  і  $x_5 = 4$ .

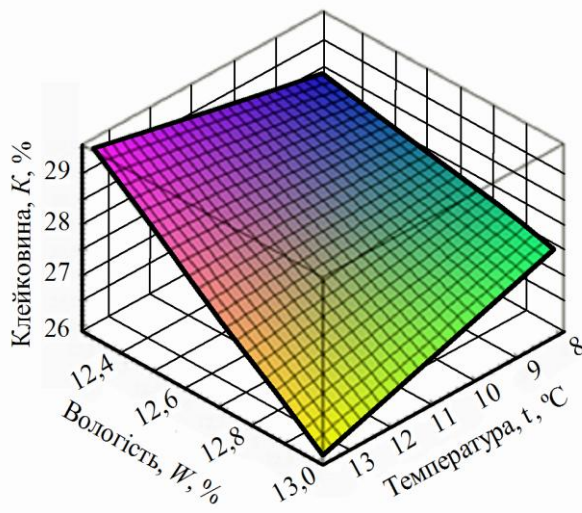


Рисунок 4.51 – Залежність вмісту клейковини від вологості зерна  $W$  та температури зерна  $t_{cep}$  при фіксованих значеннях факторів:  
 $P = 10800 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $t_{x0} = 4,0^\circ\text{C}$ ,  
 $t_n = 5,2^\circ\text{C}$

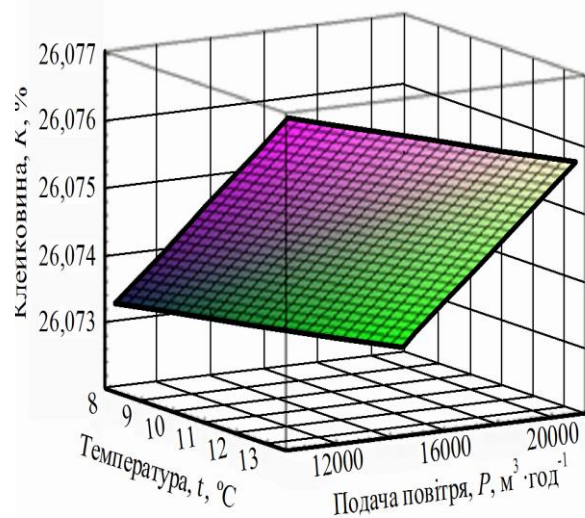


Рисунок 4.52 – Залежність вмісту клейковини від температури зерна  $t_{cep}$  та об'ємної подачі повітря  $P$  при фіксованих значеннях факторів:  $W = 12,5\%$ ,  $t_{x0} = 4,0^\circ\text{C}$ ,  
 $t_n = 5,2^\circ\text{C}$

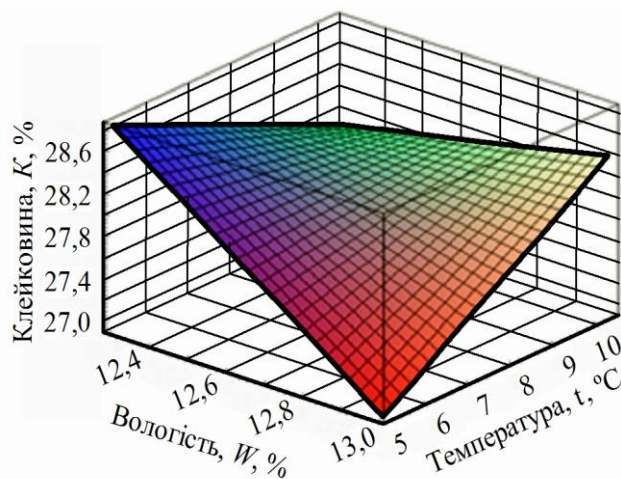


Рисунок 4.53 – Залежність вмісту клейковини від вологості зерна  $W$  та температури повітря у зерносховищі  $t$  при фіксованих значеннях факторів

$$t_z = 9,5 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{\text{хд}} = 4 \text{ } ^\circ\text{C}, V = 10800 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Таким чином, найбільше значення клейковини досягається на 24 тижні при значенні факторів:

Середня температура зерна в зерносховищі  $(9,57 \pm 1,76) \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

Вологість оброблюваного матеріалу  $(12,5 \pm 0,32) \%$ ;

Температура повітря у зерносховищі  $(5,72 \pm 1,76) \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

Об'ємна подача повітря  $(10800 \pm 4093) \text{ м}^3/\text{год.}$

Температура холодоагента  $(4 \pm 1,6) \text{ } ^\circ\text{C}$ .

При цьому прогнозований показник клейковини знаходиться в довірчому інтервалі  $[28,1 \pm 0,1] \%$ . Поверхні відгуків при різних фіксованих значеннях параметрів наведено на рис. 4.51 - 4.53.

#### **4.6 Оцінка технологічних можливостей процесу імпульсного пневмодинамічного барботування насіннєвої продукції при зберіганні**

За результатами дослідження процесу пневмодинамічного імпульсного барботування можна спостерігати наступні основні етапи формування пневмоімпульсної силової дії на сипку продукцію. На першому етапі за

достатньо швидкого відкриття соплового виходу пневмоімпульсного генератора (порядка 0,1...0,2 с) відбувається рух сферичної ударної хвилі. Другий етап характеризується зростанням статичного тиску за хвилиною та утворення нестационарного газового струменя з чергуванням надзвукових та дозвукових зон, які обмежуються ударними хвилями, що зумовлює поєднання пневмодинамічного та звукового тиску. Подібне явище називають «озвучуванням» у процесах перемішування. На третьому етапі по мірі витікання повітря тиск його зменшується та відбувається повільна перебудова пневматичного струменя, дія якого спостерігається у бічних напрямках, що є ефективним для зворушення сипкого середовища по всьому об'єму робочої ємкості. Процес представленого пневмодинамічного барботування значно інтенсифікується при зустрічному формуванні стоячої ударної хвилі за рахунок суперпозиції хвиль та їх розгортання у поперечних осі піддону напрямках, що було показано у 2 розділі дисертації.

При використанні експериментального зразка пневмоімпульсного барботера була побудована залежність тиску, який утворюється за ударною хвилиною. Для цього робочу зону барботера у кожному експерименті ділили на зони завтовшки 1 м, 2 м, 3 м, 4 м та 5 м. Як видно із рис. 4.54, спостерігається гіперболічне зменшення практично на порядок надлишкового тиску. Таким чином, ефективним є обмеження довжини піддону у 5 м, урахувавши ефект підсилення технологічної дії за зустрічного барботування та значного енергонасичення процесу за використання стоячої пневмодинамічної хвилі.

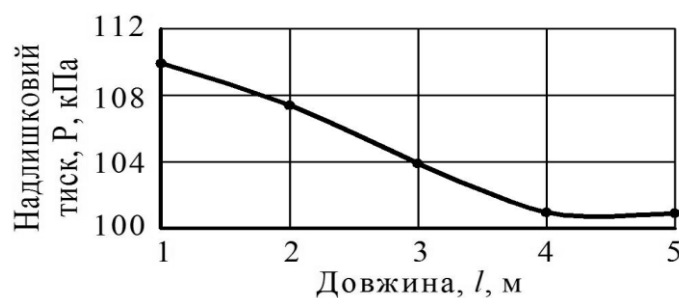


Рисунок 4.54 – Залежність надлишкового тиску  $P$ , що виникає за ударною хвилиною від довжини робочого піддону  $l$  для зберігання зернової продукції

Можна відзначити два основних фактори досліджуваного фізичного процесу пневмодинамічного барботування: короткочасність періоду силового імпульсу, що значно зменшує складність та вартість технологічної установки; конструкція соплового пристрою та механізм утворення імпульсної зміни тиску дають можливість досягнути достатньо високих параметрів потоку для здолання опору зернової маси, що розташовується у місцях зберігання значними за висотою шарами. Представлені фактори зумовлюють такі технологічні переваги проекрованої схеми, як висока силова та енергетична насиченість процесу, можливість установаження у важкодоступних місцях, простота автоматизації процесу, низькі витрати на функціонування та обслуговування системи, при акумулюванні сучасними пневмоімпульсними генераторами енергією до 50 кДж довжина імпульсних трас може досягати 30м, порівняно низькі енерго- та матеріаловитрати на процес.

За амплітудного значення вихідного імпульсу 300...500 кПа по довжині піддону із зерновою продукцією спостерігається зменшення надлишкового тиску за ударною хвилею лише на 12 кПа, тобто ударна хвиля практично не втрачає своєї функціональності на відстані 5 м, що складає саме довжину піддона з продукцією.

#### **4.7 Перевірка адекватності математичних моделей досліджуваних процесів проекрованої системи зберігання**

Перевірку адекватності здійснювали по кожному із досліджуваних процесів проекрованої системи зберігання.

Враховуючи, що проектовані зерносховища можуть бути багатофункціональними, аналіз критеріїв оцінки проводили для технології обробки насінневого матеріалу (рис. 4.55) та для продовольчого зерна (рис. 4.56).

<b><u>Віброаспіраційне фракціонування</u></b>	<b><u>Віброконвєсне інфрачервоне сушіння</u></b>	<b><u>Міжопераційне віброхвильове транспортування</u></b>
<p><u>Детермінована модель:</u> - метод Даламбера.</p> <p><u>Статистична модель:</u> - метод Бокса-Бенкіна.</p> <p><u>Значимість моделі:</u> - критерій Стюдента; - адекватність; - критерій Фішера.</p> <p><u>Відхилення:</u> - за швидкістю витання часточок 12,7...15,5%; - за величиною розщеплення траєкторії фракцій 11,1...13,0%.</p>	<p><u>Фізико-математична модель:</u> - теорія подібності; - теорія "розмірності".</p> <p><u>Статистична модель:</u> - метод Бокса-Бенкіна;</p> <p><u>Значимість моделі:</u> - критерій Стюдента; - адекватність; - критерій Фішера.</p> <p><u>Оптимум:</u> - потужність опромінення 300 Вт; - віброшвидкість 0,15...0,4 см/с; - амплітуда коливань 2,5...4,0 мм; - частота 50...80 рад/с..</p>	<p><u>Детермінована модель:</u> - метод Лагранжа; - метод Коші.</p> <p><u>Відхилення:</u> - за витратами потужності на процес 9...12%.</p> <p><u>Відхилення:</u> - за швидкістю транспортування продукції 7,3...10,5%.</p>

Рисунок 4.55 – Використані методики для перевірки адекватності математичного моделювання процесів обробки насіннєвого матеріалу проектованої системи зберігання

Для процесу віброаспіраційного фракціонування детерміновану модель оцінювали за таким критерієм, як швидкість витання насінин та розщеплення траєкторії фракції соняшнику: відхилення між означеними теоретичними та експериментальними параметрами склало відповідно 12,7...15,5 % для швидкості часток та 11,1...13,0 % для чіткості розділення фракцій насінин.

Для процесу інфрачервоного сушіння з віброхвильовим рушієм для подачі продукції детерміновану модель оцінювали за таким критерієм, як швидкість просування олійного насіння у робочій зоні інфрачервоного опромінення: відхилення між означеними теоретичними та експериментальними параметрами склало відповідно 7,3...10,5 % для робочого інтервалу кутових частот приводного вала віброзбуджувача.

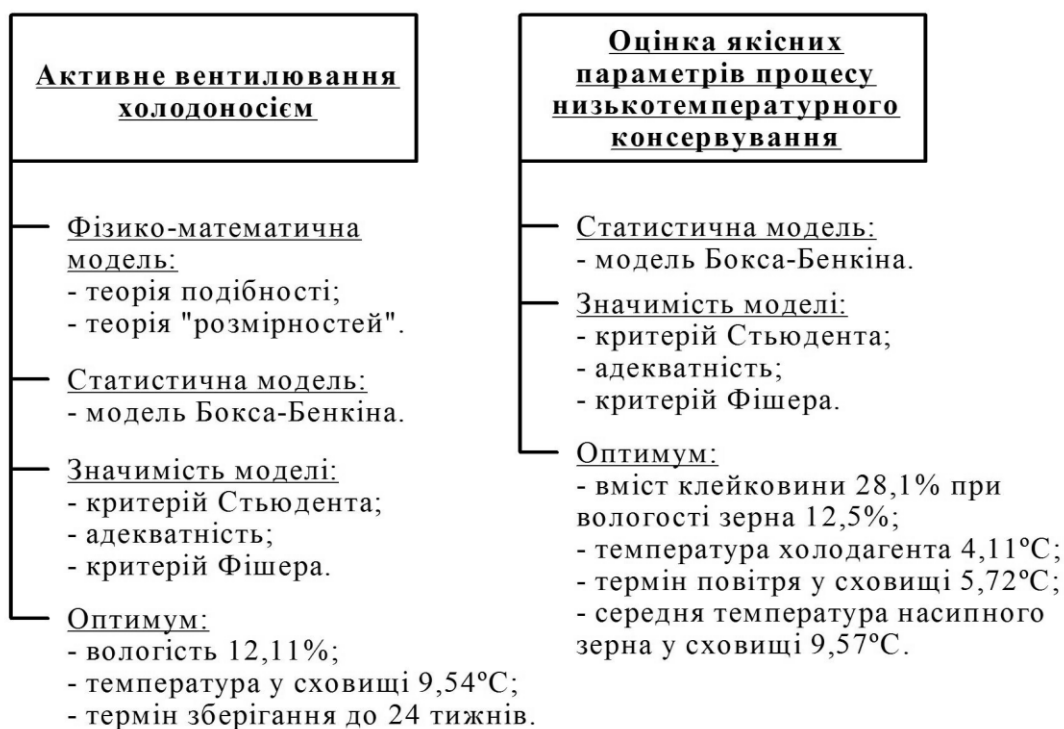


Рисунок 4.56 – Використані методики для перевірки адекватності математичного моделювання процесів обробки насіння зернового матеріалу проектованої системи зберігання

Статистичну модель даних процесу оцінювали на адекватність при використанні критерію Фішера, а на значимість – критерію Стьюдента. Рациональні значення режимних параметрів для досліджуваних процесів фракціонування, сушіння та активного вентилявання конвективним потоком холодоносія представлені на рис. 4.55 і 4.56.

#### **Висновки за розділом 4**

1. Результати експериментальних досліджень розробленого віброаспіраційного сепаратора насіння соняшнику дозволили обґрунтувати наступні рациональні параметри даного процесу: діаметр бункера розподільника повинен знаходитися у межах 50...60 мм; діаметр патрубку постачання насіння всередину вертикального аспіраційного каналу становить 30...40 мм при корисній довжині каналу 0,8 м; швидкість повітряного потоку, при якій буде проходити найкраще розділення насіння соняшнику, складає 75 ... 90 % від критичної швидкості повітряного

потоків та становить 4,5...5,5 м/с. Для досягнення ефективних інерційних сил та відповідного забезпечення чіткості розділення фракцій в умовах автоколивального режиму руху центральної труби розподільника раціональним є монтування 20-и парусних елементів.

2. Результати експериментальних досліджень процесу віброаспіраційної сепарації довели адекватність математичного моделювання за кінематичними параметрами: розбіжність знаходиться у межах 12,7...15,5 %.

3. Використовуючи другу теорему подібності та дані експериментальних досліджень було складено критеріальне рівняння процесу інфрачервоного сушіння насіння сої у рухомому шарі продукції, на основі якого можна проектувати типорозмірний ряд інфрачервоних сушарок залежно від закладених параметрів процесу.

4. Етап постійної швидкості сушіння починається через 205 с обробки при швидкості транспортування продукції 0,15 см/с; через 520 с обробки при швидкостях 0,4 см/с та 0,6 см/с. Для вказаного режиму швидкість сушіння за швидкості транспортування продукції 0,15 см/с перевищує на 12 ... 13 % як за швидкостей переміщення сипкої маси 0,4 см/с так і 0,6 см/с; що визначає найбільш ефективний робочий режим транспортування насіння сої в умовах інфрачервоного сушіння інтервал швидкостей 0,15...0,40 см/с.

5. Найбільш сприятливим терміном зберігання зернової сировини є 24 тижнів при температурі не більше 9 °С, клейковина при цьому складе 28,1 %; показник індексу деформації клейковини становить 65 %, при температурі 9,5 °С має місце при терміні зберігання більше 24 місяців; по вологості 12,11 % при цьому температура 9,54 °С, а термін зберігання до 24 тижнів.

6. За результатами стохастичного моделювання розроблених процесів за методом Бокса-Бенкіна визначили наступне:

- раціональне значення відсотку важкої фракції в умовах віброаспіраційної сепарації дорівнює 91,1 % за таких раціональних параметрах процесу фракціонування, зокрема при швидкості сходу насіння 0,85 м/с, куту введення насіння до розподільника  $31^{\circ}$ , швидкості повітряного

потоків 5,9 м/с, куту повороту аспіраційного каналу  $283,5^{\circ}$ , висоті парусного елемента 10,5 мм.

- раціональне значення відсотку середньої фракції в умовах віброаспіраційної сепарації дорівнює 88,4% за таких раціональних параметрах процесу фракціонування, зокрема при швидкості сходу насіння 0,86 м/с, куту уведення насіння до розподільника  $31,5^{\circ}$ , швидкості повітряного потоку 5,92 м/с, куту повороту аспіраційного каналу  $286,7^{\circ}$ , висоті парусного елемента 10,25 мм.

- інтервал раціональних значень вологості насіння сої після сушіння у розробленій терморадіаційній сушарці складає 12,35...12,45 %, що досягається при наступних значеннях параметрів даного процесу: амплітуді коливань віброзбуджувача 3,5 мм, відстані до поверхні випромінювача 20 мм, потужності випромінювача 350 Вт, продуктивності сушарки за видаленою вологістю 2670 г/хв;

- раціональне значення температури всередині шару оброблюваної продукції за умов інфрачервоного сушіння насіння сої знаходяться у інтервалі  $47...50^{\circ}\text{C}$ , що досягається при наступних значеннях параметрів розробленого процесу сушіння: амплітуді коливань віброзбуджувача 3,9 мм, відстані до поверхні випромінювача 19 мм, потужності випромінювача 355 Вт, продуктивності сушарки за видаленою вологістю 2675 г/хв;

- раціональне значення вмісту клейковини у продукції дорівнює 28,1% за таких раціональних параметрах режиму зберігання: вологості зернового матеріалу 12,5 %, об'ємній подачі повітря 10800 м<sup>3</sup>/год, температурі холодоагента  $4,0^{\circ}\text{C}$ , температурі повітря у сховищі  $5,72^{\circ}\text{C}$ , середній температурі насипного зерна у зерносховищі  $9,57^{\circ}\text{C}$ .

7. За результатами експериментальних досліджень процесу пневмоімпульсного барботування виявили, що за довжиною піддону із зерною продукцією спостерігається зменшення надлишкового тиску за ударною хвилею лише на 12 кПа; вважаючи, що амплітудне значення імпульсу складало 300...500 кПа, то ударна хвиля практично не втрачає своєї функціональності на відстані 5 м, тобто довжини піддона з продукцією.

## РОЗДІЛ 5

### РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ

#### **5.1 Результати лабораторно-польових досліджень, виробничих випробувань та впроваджень**

Важливу роль у збереженні та подальшій реалізації зернової та олійної продукції відіграє розвиток та впровадження нових підходів для ведення сільського господарства та діяльності на підприємствах, які, в свою чергу, зацікавлені вкласти невеликі кошти в обладнання та отримати якісну продукцію і прибуток від реалізації.

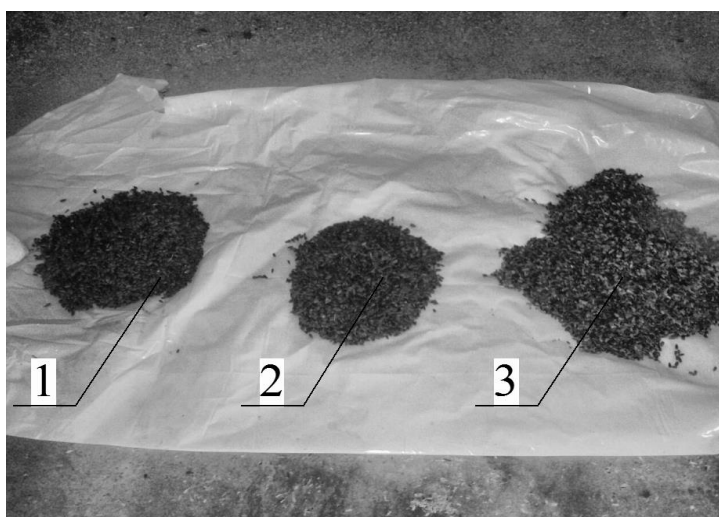
Такий підхід є притаманний до підприємств середньої потужності, зокрема до фермерських господарств. Тому постала проблема у пошуках найбільш рентабельного використання ресурсів, які пов'язані із збереженням врожаю у себе в господарстві, та подальшою його переробкою.

За результатами досліджень була розроблена науково-технічна документація на проєктоване інноваційне оснащення системи зберігання насінневої продукції, частина з якого пройшла виробничу апробацію та була впроваджена у сільськогосподарських та машинобудівних підприємствах, фермерських господарствах.

Віброаспіраційні сепаратори знайшли своє впровадження у ТОВ «СПП ЛАНА» Михайлівського району с. Плодородне та СФГ «ВІТА» Акимівського району с. Ленинское Запорізької області (рис. 5.1, рис. 5.2) (Додаток А). Господарства займаються вирощуванням зернових та технічних культур на інтенсивній основі; підготовкою до посіву, зберіганням, переробкою та реалізацією сільгосппродукції. За роки діяльності господарства з сегмента підприємств малого бізнесу перейшла в розряд підприємств середнього бізнесу і стали одними з провідних виробників і постачальників посівного матеріалу та сільгосппродукції південно-східного регіону України.



Рисунок 5.1 – Віброаспіраційний сепаратор ВАС–7 під час сепарації насіння соняшнику у СФГ «ВІТА»



1 – важка фракція; 2 – середня фракція; 3 – загальна маса до сепарування

Рисунок 5.2 – Насінневий матеріал соняшнику

За результатами досліджень та наданої технічної документації на підприємствах ТОВ "МПП-АГРО" та ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів» були виготовлені промислові зразки віброаспіраційного сепаратора. (Додаток А).

Мелітопольський завод турбокомпресорів "Турбоком" та ТОВ "МПП-АГРО" - це підприємства з потужною виробничою базою, що включають цехи

алюмінієвого литва, механічної обробки деталей і вузлів, слюсарний, випробувальний цехи, а також склади сировини, заготівель, деталей, комплектуючих і готових виробів. Можливості заводу дозволяють проектувати, виготовляти продукцію для автомобільної, сільськогосподарської і спеціальної техніки.

Конструкторсько-технологічний відділ підприємства складається з кваліфікованих інженерів, досвідчених конструкторів і технологів, працюючих в тісному контакті з виробничими підрозділами і службою контролю якості. Розробка нових типів продукції робиться в максимально короткі терміни при використанні сучасних засобів проектування і систем автоматизації. Вся продукція проходить обов'язкові випробування на спеціалізованому стендовому устаткуванні.

На ТОВ «СПП ЛАНА» та СФГ «ВІТА» було проведено експериментальні дослідження виготовленого віброаспіраційного сепаратора (ВАС –7).

За результатами цих досліджень виявили, що раціональне значення відсотку важкої фракції в умовах віброаспіраційної сепарації дорівнює 91% за таких параметрів процесу фракціонування: при швидкості сходу насіння 0,85 м/с, куту уведення насіння до розподільника 31,0 град, швидкості повітряного потоку 5,90 м/с, куту повороту аспіраційного каналу 284 град, висоті парусного елемента 10,50 мм.

У цілому, виробничі випробування підтвердили технічну здійсненність і техніко-економічну доцільність застосування віброаспіраційного сепаратора (ВАС – 7). Дані результати виконаної науково-дослідної роботи мають практичну значимість і дозволяють підвищити ефективність сепарації насіння у віброаспіраційному сепараторі.

На основі проведенних експериментальних досліджень розроблена віброконвеєрна інфрачервона сушарка була впроваджена у ТОВ «Агрофірма Ольвія» Приазовського району, с. Чкалово Запорізької обл. (рис. 5.3). (Додаток А). Предметом діяльності Товариства є сільсько-господарське

виробництво: вирощування зернобобових, технічних і кормових культур, насіння олійних культур, м'ясне та молочне скотарство, свинарство; зберігання, переробка та реалізація сільгосппродукції.



Рисунок 5.3 – Віброконвеєрна інфрачервона сушарка, яка застосовувалась у ТОВ “Агрофірма Ольвія”

Виготовлення промислових зразків сушарки було здійснено на ПАТ «ГІДРОСИЛА МЗТГ (Мелітопольський завод тракторних гідроагрегатів) (Додаток А). Підприємство є виробником гідравлічних двигунів, турбін, пневматичних ресор та інших комплектуючих, додаткових пристосувань для сільськогосподарських машин і устаткування.

За результатами досліджень процесу інфрачервоного сушіння сої раціональний діапазон швидкості її транспортування становить 0,15...0,40 см/с. Підвищення цього параметра у вказаних межах збільшує час настання етапу сушіння сої майже у 2,5 рази (з 205 с до 520 с), стабілізуючи його на рівні 520 с. Причому, швидкість терморадійного сушіння насіння цієї культури за режиму її транспортування 0,15 см/с на 12 – 13 % вища, ніж за швидкістю переміщення 0,4 см/с і більше.

Результати виконаної науково-дослідної роботи мають практичну значимість і дозволяють підвищити ефективність сушки зернової та олійної продукції.

Практичні рекомендації з ефективного застосування сушарки та віброаспіраційного сепаратора плануються використовувати у майбутньому на ПрАТ «Хорольський механічний завод», де керівництвом розглядається можливість відкриття на заводі власного виробництва. Також вказану конструкторську документацію ПАТ «Карлівський машинобудівний завод» розглядає як можливість використовувати для випуску дослідних груп конвеєрної інфрачервоної сушарки та віброаспіраційного сепаратора ВАС– 7 у 2019-2020 роках (Додаток А).

Дослідження технології охолодження зернової маси, а саме пшениці із застосуванням запропонованих зерноскочищ у процесі зберігання проводили у ТОВ «Агрофірма Ольвія» Приазовського району та ТОВ «СПП ЛАНА» Михайлівського району Запорізької обл. (Додаток А).

Збереження природних якостей зерна на практиці за рахунок використання холоду, а холод - дешевий і незамінний консервант будь-якої сільськогосподарської продукції, дозволив підвищити ефективність тривалого зберігання.

Був проведений порівняльний аналіз експлуатаційних показників роботи існуючих зерноскочищ у товаристві з обмеженою відповідальністю «Агрофірма Ольвія» та розробленого зерноскочища із застосуванням охолодження у процесі зберігання.

Завдяки запропонованій технології, вдалося зменшити втрати пшениці у процесі зберігання, а саме зберегти 2 клас пшениці після 6 місяців. З точки зору економічних затрат строк окупності даного зерноскочища становить 1,04 року.

Зернову продукцію зберігали в ТОВ «СПП ЛАНА» не на підлозі насипом, а на певній відстані від неї для запобігання небажаного зволоження продукції (рис. 5.4).



а)

б)

Рисунок 5.4 – Загальний вигляд двох зерносховищ (а), які обладнанні розробленою системою охолодження, (б) між двома зерносховищами розташована система охолодження двох зерносховищ у ТОВ «СПП ЛАНА»

При цьому розміщення зерна здійснювали на спеціальних піддонах (рис. 5.5), дослідні зразки, яких були виготовлені за спеціальним замовленням на таких підприємствах, як ПАТ «ГІДРОСИЛА МЗТГ та ТОВ «Гідросила-Тетіс» (Додаток А).



Рисунок 5.5 – Розташування металевих піддонів з бортами відносно бетонної підлоги зерносховища



Рисунок 5.6 – Зерносховище з завантажувальним зерновим матеріалом у піддонах з бортами під час охолодження у ТОВ «СПП ЛАНА»

У ході роботи використовували пшеницю (сорт: Шестопалівка), вирощену в Запорізькій області (рис. 5.6). Були обґрунтовані наступні режимні параметри низькотемпературної консервації її потоком холодоносія: найбільш сприятливим терміном зберігання зернової сировини є 24 тижнів при температурі  $9,0...9,5$  °С, вміст клейковини при цьому склав 28,1 %; показник індексу деформації клейковини становив 65 % , що знаходиться в діапазоні початкових значень перед її закладанням на зберігання, та є ефективним для застосування у товаристві.

Впровадження матеріалів розробки і досліджень сховища для зберігання сільськогосподарської продукції із застосуванням охолодження в цілому, вважається доцільним.

У свою чергу, основні результати дисертаційної роботи були використані у навчальних процесах Таврійського державного агротехнологічного університету та Уманського національного університету садівництва (додаток А).

Результати виконаної науково-дослідної роботи на тему: «Механіко-технологічне обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання зернової продукції» мають практичну значимість, а виробничі випробування

конструкторських розробок підтвердили технічну здійсненність і техніко-економічну доцільність застосування (табл.5.1).

Таблиця 5.1 – Результати впровадження наукових та конструкторських розробок.

Назва підприємства (господарства)	Конструкторська розробка	Вид діяльності	Кількість одиниць	Рік
ТОВ «СПП ЛАНА»	віброаспіраційний сепаратор	впровадження	4	2016-2018
	зернохочище	впровадження	1	2017-2018
ТОВ «Агрофірма Ольвія»	сушарка	впровадження	2	2018
	зернохочище	впровадження	1	2017-2018
СФГ «ВІТА»	віброаспіраційний сепаратор	впровадження	3	2016-2018
ТОВ «МПП-АГРО»	віброаспіраційний сепаратор	виготовлення промислових зразків	4	2016
ПАТ «ГІДРОСИЛА МЗТГ»	піддони для зернохочища	виготовлення промислових зразків	10	2017
ТОВ «Мелітопольський завод турбокомпресорів»	віброаспіраційний сепаратор	виготовлення промислових зразків	4	2016
ТОВ «Гідросила-Тетіс»	піддони для зернохочища	виготовлення промислових зразків	10	2017
ТДАТУ	віброаспіраційний сепаратор	випробування та	1	2016-2018
	сушарка	впровадження у	1	2018
	макет зернохочища	навчальний процес	1	2014
Уманського національного університету садівництва	віброаспіраційний сепаратор	впровадження технології у		2017
	сушарка	навчальний процес		2018
	макет зернохочища	процес		2017

Результати впроваджень дозволяють підвищити ефективність технологічних процесів сушки зернової та олійної продукції, сепарації насіння у віброаспіраційному сепараторі. Технологія охолодження зернової маси із застосуванням запропонованого зерносховища дозволяє зменшити втрати пшениці у процесі тривалого зберігання.

## **5.2 Оцінка економічної ефективності проектованої системи зберігання**

Розроблена система зберігання зернової та олійної продукції за структурою містить дві основних складові: підсистему підготовки насінневого матеріалу до зберігання, що включає операції сепарації, фракціонування та сушіння; підсистему для зберігання як насінневого, так і продовольчого матеріалу шляхом активного вентилявання та барботування при застосування потоків холодоносія.

Тому економічну ефективність від впровадження проектованої системи зберігання досліджуваної продукції визначали як комплекс підсистем, який включає:

- економічний ефект від застосування розробленого процесу віброаспіраційного фракціонування;
- економічний ефект від застосування розробленого процесу віброхвильового міжопераційного транспортування сипкої продукції в умовах її інфрачервоного сушіння;
- економічний ефект від застосування розробленої системи зберігання продовольчого зернового матеріалу активним вентиляванням конвективним потоком холодоносія в умовах зерносховища.

### **5.2.1 Техніко-економічна ефективність використання розробленого віброаспіраційного сепаратора насіння**

Економічна ефективність віброаспіраційного сепаратора залежить від його продуктивності, яка враховує як максимально можливу масу компонентів

розділених фракцій, так і мінімальну частку некондиційного насінневого матеріалу у фракції високоякісного насіння.

Продуктивність постачання насіння, виходячи із пропускну здатності живильного патрубку, коливається від 10 кг/год до 120 кг/год та залежить від середньої маси 1000 шт насіння. Регулювання продуктивності проводилося заслінкою при зміні діаметра отвору випадання насіння у нижній частині бункера [51, 273].

За результатами експериментальних досліджень, враховуючи агротехнічні вимоги, раціональною продуктивністю розробленого віброаспіраційного сепаратора є 120 кг/год, оскільки як результат у бункері насінневої фракції I отримується максимальна кількість насінин соняшнику масою 80 - 100 г.

Розрахуємо загальну масу насіння для посіву на площі 1 га, враховуючи норму висіву 5-8 кг/га. Також припустимо, що на підготовку насіння соняшнику вміст якісного матеріалу у сепарованій фракції складає 85 %. Тоді загальна маса насіння, що необхідно обробити у сепараторі для отримання високих врожаїв соняшнику за сучасних агротехнологічних умов вирощування, становить:

$$m = \frac{8}{0,85} = 9,5 \frac{\text{кг}}{\text{га}}$$

Кількість часу, що витрачається на сепарування, складає:

$$t = \frac{m}{P_{\text{сеп}}} = \frac{9,5}{120} = 0,08$$

де  $m$  – загальна маса насіння, яку необхідно розділити для отримання якісного насінневого матеріалу для посіву 1 га, кг;

$P_{\text{сеп}}$  – мінімальна годинна продуктивність розробленого сепаратора, кг/год.

Загальні енерговитрати для підготовки насіння до посіву [277]:  
складають:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{пп}} + E_{\text{обсл}},$$

де  $E_{пр}$  – енерговитрати на привод сепаратора для підготовки насіння до посіву 1га, грн;

$E_{обсл}$  – витрати на обслуговування сепаратора для підготовки насіння до посіву 1га, грн.

Енерговитрати на привод сепаратора розраховали за формулою:

$$E_{пр} = N \cdot t \cdot T,$$

де  $N$  – потужність вентилятора сепаратора, 3-7 кВт;

$t$  – кількість часу, що витрачається на сепарування потрібної фракції насіння для отримання насіннєвого матеріалу для посіву 1га, год;

$T$  – тариф 1 кВт/год = 1,68 грн

$$E_{заг} = 7 \cdot 0,08 \cdot 1,68 = 0,94 \text{ грн.}$$

Другу складову енерговитрат розраховували за виразом:

$$E_{обсл} = t \cdot E_{чол.г} = 0,08 \cdot 40 = 3,2 \text{ грн.}$$

де  $t$  – витрати часу на сепарування насіннєвого матеріалу потрібної фракції для посіву 1га, год;

$E_{чол.г}$  – витрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, враховуючи тарифну ставку 40 грн.

Загальні енерговитрати для підготовки якісного насіння до посіву 1га поля складатимуть:

$$E_{заг} = 0,94 + 3,2 = 4,14 \text{ грн.}$$

Апробація розробленого віброаспіраційного сепаратора у виробничих умовах виявила збільшення врожайності на 4,5 ц/га (табл. 5.2).

Для визначення економічного ефекту застосування розробленого устаткування провели аналіз. У якості базового варіанта прийнято насіннєвий матеріал соняшнику української селекції, орієнтовна вартість якого складає 50000 грн за 1 т продукції [278]. Враховуючи норму висіву такої насіннєвої

продукції 5 кг/га, базові енерговитрати для посіву 1 га складатимуть:  
 $E_6 = 250$  грн.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічна ефективність використання віброаспіраційного сепаратора

Показники	Проект		Фактично	Відхилення +,-
	Без сепарування	Із сепаруванням		
Продуктивність кг/год	-	120	-	-
Маса насіння для посіву, кг/га	8	9,5	5	3-4,5
Загальні енерговитрати на насінний матеріал, грн/га	-	4,14	250	245,86
Середня урожайність ц/га	19,5	24	22	2-4,5
Чистий дохід, грн	17550	21600	19800	1800-4050
Ефект від економії енерговитрат, грн/га	-	245,86	-	-
Економічний ефект, грн/га	-	4050	-	-

Економія витрат для посіву 1га поля складатиме різницю розрахованих енерговитрат при підготовці насіннєвого матеріалу соняшнику на розробленому віброаспіраційному сепараторі та базового:

$$E = E_6 - E_{\text{заг}} = 250 - 4,14 = 245,86 \text{ грн.}$$

Також при апробації розробленого віброаспіраційного сепаратора у виробничих умовах враховувався ефект від збільшення врожайності.

Економічний ефект у грошовому еквіваленті при отриманому збільшенні врожайності соняшнику з кожного гектара засіяного поля враховуючи, що середня ціна реалізації 1 т соняшнику відповідно до ринкових цін за 2017–2018 рік склала 9000 грн [2], становить:

$$E = 0,45 \frac{T}{га} \cdot 9000 \text{ грн} = 4050 \frac{\text{грн.}}{\text{га}}$$

У таблиці 5.3 наведені розрахунки ефективності використання власного насінневого матеріалу соняшнику, отриманого після сепарування.

Таблиця 5.3 – Ефективність використання власного насінневого матеріалу соняшнику

Показники	Купівля	Власне виробництво	Відхилення, +/-
Вартість насінневого матеріалу, грн/кг	50,0	24,1	-25,9
Норма посіву, кг/га	8,0	9,5	1,5
Загальні витрати, грн/га	400,0	229,0	-171,1

Результати аналізу розрахунків підтверджують ефективність використання власного насінневого матеріалу соняшнику у порівнянні з його купівлею. Так, при сепаруванні повна собівартість соняшнику дорівнює 24,1 грн/кг, що на 25,9 грн/кг більше по відношенню до закупівельної ціни соняшнику для насіння (50 грн/кг). Економія загальних витрат на насіння соняшнику становить 171,1 грн/га.

Економічна ефективність реалізації насіння соняшнику [279, 280] після сепарування приведена в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Економічна ефективність реалізації соняшнику при застосуванні віброаспіраційного сепаратора

Показники	Без сепарування	Із сепаруванням	Відхилення, +/-
Повна собівартість, грн/ц	791,2	2410,0	1618,8
Середня урожайність, ц/га	19,5	24,0	4,5
Ціна реалізації, грн/ц	900,0	5000,0	4100,0
Чистий дохід, грн	17550,0	120000,0	102450,0
Повна собівартість всієї продукції, грн	15428,4	57840,0	42411,6
Витрати на виготовлення сепаратора, грн	-	6500	6500
Прибуток, грн	2121,6	55660,0	53538,4
Рентабельність виробництва, %	13,8	96,2	82,4

Розрахунками, наведеними у таблиці 5.4 доведена ефективність реалізації насіння соняшнику після сепарування. Повна собівартість соняшнику при сепаруванні на 1618,8 грн/ц вища порівняно зі звичайним виробництвом соняшнику. За допомогою витратних та ринкових методів ціноутворення визначили ціну на насіння соняшнику після сепарування на рівні 5000 грн/ц. Отже, при застосуванні віброаспіраційного сепаратора, з урахуванням його вартості, можливо збільшити прибуток від реалізації соняшнику на 53538,4 грн/га, а рентабельність на 82,4 %.

### **5.2.2 Оцінка економічної ефективності застосування розробленого устаткування для віброхвильового інфрачервоного сушіння насіння**

Розрахунок економічної ефективності процесу віброхвильового міжопераційного транспортування сипкої продукції в умовах її інфрачервоного сушіння насіння олійних культур враховував: загальний час роботи обладнання, продуктивність сушарки, загальні витрати потужності технологічної машини та експлуатаційних витрат при роботі розробленого устаткування [281].

Для розрахунку загального часу роботи технологічного обладнання для віброінфрачервоного сушіння насіння олійних культур необхідно враховувати такі складові: час експлуатації виробничого обладнання ( $t_e$ ); час, необхідний на підготовку обладнання до обробки сировини ( $t_{обр}$ ); час, витрачений на відновлення працездатності обслуговуючого персоналу - фізіологічний час ( $t_\phi$ ).

Таким чином, загальний час становить:

$$T_3 = t_e - t_{обр} - t_\phi.$$

На основі експериментальних досліджень, час робочої зміни приймали 8 годин:  $t_e = 8 \times 60 = 480$  хв. Час, необхідний на підготовку обладнання до сушіння насіння олійних культур, який включає холостий час, тобто час на

завантаження продукції та час на розвантаження продукції приймали за  $t_{обр} = 30$  хв. Час, витрачений на відновлення працездатності обслуговуючого персоналу, приймали за  $t_{\phi} = 30$  хв.

$$T_3 = 480 - 30 - 30 = 420 \text{ хв.}$$

Тобто, загальний робочий час, коли відбувається безпосередня обробка продукції складає 7 годин ( $420/60 = 7$ ). Цей загальний час також можна вважати робочою зміною, тому що вона циклічно повторюється та характеризує технологічний процес обробки насіння.

Продуктивність розробленої віброінфрачервоної сушарки насіння олійних культур визначали на прикладі сої при врахуванні основних геометричних параметрів робочої зони та отриманих результатів експериментальних досліджень стосовно швидкості транспортування продукції в умовах інфрачервоного випромінення [128, 282].

Продуктивність сушарки за один цикл роботи  $\Pi_{суш}$  (кг/год) можна визначити за формулою:  $\Pi_{суш} = (l_{BC} \cdot b_{BC} \cdot h_{п} \cdot \rho_c) / t_{об}$ .

де  $l_{BC}$  – довжина стрічки, на якій висушується насіння ( $l_{BC} = 2$  м);

$b_{BC}$  – ширина вібраційної стрічки, ( $b_{BC} = 0,2$  м);

$h_{п}$  – висота сировини на стрічці ( $h_{п} = 0,1$  м);

$\rho_c$  – насипна густина сировини ( $\rho_{соя} = 720$  кг/м<sup>3</sup>);

$t_{об}$  – проміжок часу (циклу) за який обертається стрічка, год.

$$t_{об} = \frac{t_{BC}}{v_{BC}},$$

де  $v_{BC}$  – лінійна швидкість вібраційної стрічки, ( $v_{BC} = 0,3$  м/хв).

Враховуючи наведені параметри, продуктивність віброконвекційної інфрачервоної сушарки складає:

$$t_{об} = \frac{2}{0,3} = 6,67 \text{ хв} \cdot 36 = 0,18 \text{ год};$$

$$\Pi_{суш} = \frac{(2 \cdot 0,2 \cdot 0,1 \cdot 720)}{0,18} = 160 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

Отже, при врахуванні тривалості робочої зміни  $T_3 = 7$  годин та часу одного робочого циклу  $t_{об} = 0,18$  годин кількість циклів за одну робочу зміну становить:

$$K_{ц} = \frac{T_3}{t_{об}} = \frac{7}{0,18} = 39.$$

Відповідно, продуктивність розробленої віброінфрачервоної сушарки за зміну становитиме:

$$P_3 = P_{ци} \cdot K_{ц} = 160 \cdot 7 = 1120 \text{ кг.}$$

Енергоємність машини технологічної лінії [282] розраховували за загальними витратами потужності на привод  $N_{пр}$  за формулою:

$$N_{пр} = N \cdot \frac{k_3}{\eta},$$

де  $N$  – технологічна потужність обладнання, тобто потужність, що витрачається на безпосередню обробку сировини, Вт;

$k_3$  – коефіцієнт запасу потужності, який враховує необхідність подолання пускових навантажень та короткочасних дозавантажень при роботі машини: орієнтовно можна прийняти  $k_3 = 1,27$ ;

$\eta$  – к.к.д. привода, який визначали в залежності від кінематичної схеми технологічної машини та її привода [281, 282], який відповідає к.к.д. сполучної пружної муфти: ( $\eta = 0,99$ ).

Технологічна потужність розробленої лінії обладнання складається з потужності, що необхідна для обертання приводних валів віброзбуджувачів опорних котків ( $N_1$ ); потужності, що витрачається при роботі інфрачервоних випромінювачів ( $N_2$ ); потужності при експлуатації вентиляторів для видалення вологого повітря ( $N_3$ ) [103, 128]:

$$N = N_1 + N_2 + N_3.$$

Потужність, необхідна для обертання віброзбуджувачів, розраховували за потужністю максимальною змушуючою силою  $N_{f\max}$  наступним чином:

$$N_{f\max} = F_{\max} \omega_1 r_1,$$

де  $F_{\max}$  – величина максимальної змушуючої сили, що утворюється при обертанні приводного вала віброзбуджувача, Н;

$\omega_1$  – кутова швидкість обертання приводного вала віброзбуджувача, рад/с;  
 $\omega_1 = \pi \cdot n_1 \cdot 1200/30 = 125,6$ ; ( $n_1 = 1200 \text{ хв}^{-1}$  - частота обертання приводного вала);

$r_1$  – радіус приводного вала вібропривода ( $r_1 = 0,006 \text{ м}$ ).

$$F_{\max} = A \cdot m_{\text{кол}} \cdot \omega_1^2,$$

де  $A$  – амплітуда коливань котка ( $A = 0,007 \text{ м}$ );

$m_{\text{кол}}$  – коливна маса, що дорівнює масі віброуючих котків та приводних валів віброзбуджувачів, кг:

$$m_{\text{кол}} = 2 \cdot (m_{\text{ок}} + m_{\text{пр.в}} + 2 \cdot m_{\text{д}}) = 2 \cdot (1,1 + 0,8 + 2 \cdot 0,3) = 5 \text{ кг}$$

де  $m_{\text{ок}}$  – маса опорного котка ( $m_{\text{ок}} = 1,1 \text{ кг}$ );

$m_{\text{пр.в}}$  – маса приводного вала віброзбуджувача ( $m_{\text{пр.в}} = 0,8 \text{ кг}$ );

$m_{\text{д}}$  – маса дебаланса ( $m_{\text{д}} = 0,3 \text{ кг}$ ).

$$\text{Отже, } N_{f\max} = A m_{\text{кол}} \omega_1^3 r_1 = 0,007 \cdot 5 \cdot 125,6^3 = 416 \text{ Вт}$$

$$\text{Відповідно: } N_1 = N_{f\max} = 416 \text{ Вт.}$$

Потужність, що необхідна для експлуатації інфрачервоних випромінювачів та вентиляторів, розраховували наступним чином:

$$N_2 = N_{\text{вип}} Z_B = 800 \cdot 3 = 2400 \text{ Вт}$$

де  $N_{\text{вип}}$  – номінальна потужність інфрачервоних випромінювачів ( $N_{\text{вип}}=800 \text{ Вт}$ );

$Z_{\text{в}}$  – кількість випромінювачів ( $Z_{\text{в}} = 3$ )

$$N_3 = 2N_{\text{в}} = 2 \cdot 30 = 60 \text{ Вт}$$

де  $N_{\text{в}}$  – потужність, що витрачається при роботі одного вентилятора ( $N_{\text{в}}= 30\text{Вт}$ )

Отже, зробивши всі відповідні розрахунки, енергоємність обладнання технологічної лінії складає:

$$N_{\text{пп}} = \frac{(N_1 + N_2 + N_3)k_3}{\eta} = (416 + 2400 + 60) \cdot \frac{1,27}{0,99} = 3689,4 \text{ Вт}$$

Для визначення загальних експлуатаційних витрат розробленої технологічної лінії необхідно враховувати витрати на виготовлення машини, енерговитрати при її роботі та витрати на оплату праці обслуговуючому персоналу.

Витрати на виготовлення машини розробленої технологічної лінії:

$$B_{\text{в}} = Z_{\text{м}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{оп.в}} + Z_{\text{обл}},$$

де  $Z_{\text{м}}$  – вартість матеріалу на виготовлення машини, грн;

$Z_{\text{к}}$  – вартість виготовлення та компонування машини, грн;

$Z_{\text{оп.в}}$  – вартість матеріалу та виготовлення двох опорних вузлів машини, грн;

$Z_{\text{обл}}$  – вартість обладнання, грн.

Вартість матеріалів на виготовлення машини та встановленого обладнання для впровадження розробленої технологічної лінії наведена у табл. 5.5 за ринковими цінами 2017 року.

Таблиця 5.5 – Проектно-кошторисна оцінка розробленої технологічної лінії

Найменування	Ціна, грн.
Матеріал на виготовлення машини $Z_M$ :	3268
- кутник 50x50x4, довжина 9 м	558
- кутник 32x32x3, довжина 10,4 м	342
- труба Ø 45, довжина 5 м	400
- труба Ø 40, довжина 2м	127
- смуга 20x4, довжина 12 м	169
- лист г/к 2x1000x2000	522
- термостійкої стрічки	650
- теплоізоляція	500
Виготовлення та компонування машини, $Z_K$	4000
Матеріал та виготовлення двох опорних вузлів машини, $Z_{оп.в}$	2500
Вартість обладнання: $Z_{обл}$	1770
приводний двигун	$2 \cdot 300 = 600$
вентилятор	$2 \cdot 60 = 120$
випромінювач	$3 \cdot 350 = 1050$

Отже  $B_B = 3268 + 4000 + 2500 + 1770 = 11538$  грн.

При 18-му річному використанні техніки щорічна вартість амортизації складатиме

$$A_B = B_B \cdot 5,56\% = 11538 \cdot 0,0556 = 641,5 \text{ грн.}$$

Плановані витрати на поточний ремонт дорівнюватимуть 6% від вартості устаткування:

$$P_B = B_B \cdot 6\% = 11538 \cdot 0,06 = 576,9 \text{ грн.}$$

Енерговитрати при експлуатації обладнання розробленої технологічної лінії за рік складають:

$$Z_{en} = (N_{PP} \cdot T_3 n_{S.M.} \cdot n_p) \cdot T,$$

де  $T_3$  – тривалість однієї робочої зміни:  $T_3 = 7$  год;

$n_{з.м.}$  – кількість змін:  $n_{з.м.} = 2$ ;

$n_p$  – кількість робочих днів на рік:  $n_p = 288$ ;

$T$  – тариф 1 кВт/год = 1,68 грн.

$$\text{Отже, } Z_{en} = (3,6894 \cdot 7 \cdot 2 \cdot 288) \cdot 1,68 = 24991 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці обслуговуючому персоналу, враховуючи розмір мінімальної заробітної плати  $P_{зп} = 3723$  грн, становлять:

$$Z_{п} = P_{зп} \cdot n_M \cdot n_{пр} = 3723 \cdot 12 \cdot 1 = 44676 \text{ грн,}$$

де  $n_{пр}$  – кількість обслуговуючого персоналу:  $n_{пр} = 1$ ;

$n_M$  – кількість місяців на рік:  $n_M = 12$ .

Нарахування на заробітну плату:

$$Z_H = Z_{зп} \cdot 22\% = 44676 \cdot 22\% = 9828,72 \text{ грн.}$$

Таким чином, загальні експлуатаційні витрати технологічної машини складають:

$$Z_{екс} = A_B + P_B + Z_{en} + Z_{зп} + Z_H = 641,52 + 576,9 + 24991 + 44676 + 9828,72 = 80714,1 \text{ грн.}$$

Для оцінки ефективності застосування розробленого устаткування для віброінфрачервоного сушіння насіння олійних культур провели аналіз техніко-економічних показників технологічних машин [283, 284].

У якості базового обладнання прийняли найбільш близьку за технічною сутністю та механізмом роботи до розробленої технологічної машини інфрачервону віброконвеєрну сушарку СВИК-150 (табл. 5.6).

Загальний річний економічний ефект:

$$E = E_1 + E_2,$$

де  $E_1$  – економічний ефект від зменшення металоємкості конструкції розробленої технологічної машини, грн;

$E_2$  – економічний ефект від зменшення енерговитрат при експлуатації технологічної машини, грн.

Таблиця 5.6 – Техніко-економічна ефективність технологічної машини

Показники	Розробленої машини	Базової машини	Відхилення +,-
Продуктивність машини, кг/год	160	150	10
Металоємкість конструкції, кг	120	550	430
Енергоємкість машини, Вт	3689,4	29040	25350,6
Енерговитрати, грн	24991	196710	171719
Загальні експлуатаційні витрати	80714,1	-	-
Ефект від економії енерговитрат $E_2$ , грн	171719	-	-
Ефект від зменшення металоємкості конструкції $E_1$ , грн	25800	-	-
Загальний очікуваний економічний ефект $E$ , грн	197519	-	-
Термін окупності $T_0$ , роки	0,4	-	-

Аналізуючи техніко-економічні параметри для базового та розроблюваного обладнання (табл. 5.7), визначаємо [285, 286]:

$$E_1 = (m_{\text{баз}} - m_{\text{роз}}) \cdot C_M,$$

де  $m_{\text{роз}}$ ,  $m_{\text{баз}}$  – маса металу відповідно для розроблюваної та базової машини;

$C_M$  – вартість металу (приймаємо в середньому  $C_M = 60$  грн/кг).

$$Z_{\text{ен.б}} = (N_{\text{прб}} \cdot T_S \cdot n_{\text{С.М.}} \cdot n_p) \cdot T.$$

Відповідно

$$Z_{\text{ен.б}} = (N_{1б} + N_{2б} + N_{3б}) \cdot 7 \cdot 2 \cdot 288) \cdot 1,68 = (0,74 + 28 + 0,3) \cdot 7 \cdot 2 \cdot 288) \cdot 1,68 = 196710 \text{ грн.}$$

де  $N_{16}$  – витрати потужності при роботі електродвигунів привода базової машини ( $N_{16} = 0,74$  кВт);

$N_{26}$  – витрати потужності при роботі випромінювачів базової машини ( $N_{26} = 28$  кВт);

$N_{36}$  – витрати потужності при роботі вентиляторів базової машини ( $N_{36} = 0,3$ кВт).

Тоді  $E_2 = 196710 - 24991 = 171719$  грн.

Таблиця 5.7 – Розрахунок планової собівартості надання послуг, грн

Показники	Період		Собівартість 1 тони
	за місяць	за зміну	
Амортизаційні відрахування	52,8	2,2	0,29
Витрати на поточний ремонт	48,0	2,0	0,26
Енерговитрати	2083,2	86,8	11,12
Заробітна плата	3722,4	155,1	19,89
Нарахування на заробітну плату	818,1	34,1	4,38
Разом витрат	6724,5	280,2	35,9
Обсяги сушіння сировини, кг	26880	1120	x

Таким чином, аналіз техніко-економічних показників роботи розробленої віброхвильової інфрачервоної сушарки та базового обладнання показав, що в результаті приведених розробок загальний економічний ефект від зменшення металоємкості конструкції та економії енерговитрат при експлуатації машини складає 25800 грн та 171719 грн відповідно.

Отже,

$$E = E_1 + E_2 = 25800 + 171719 = 197519 \text{ грн,}$$

тоді строк окупності при впровадженні розробленої технологічної лінії становить:

$$T_0 = Z_{\text{екс}} / E = 80714,1 / 197519 = 0,4 \text{ року.}$$

З метою визначення ефективності використання устаткування розраховано собівартість надання послуг [277, 287] по сушінню сої.

Розраховані дані свідчать, що собівартість сушіння однієї тони сої становить 35,9 грн. У той же час ціна сушіння соєвих на ринку не менше за 55 грн/т. Таким чином, при наданні послуг із сушіння іншим господарствам прибуток складатиме 19,1 грн/т, що становить 54,6 % рентабельності виробництва. При ринковій ціні реалізації виручка від надання послуг дорівнюватиме  $26,88 \text{ т} \times 55 \text{ грн/т} = 1478,4 \text{ грн}$ .

Отримані результати досліджень свідчать про те, що розроблена віброхвильова інфрачервона сушарка переважає існуючі сушарки за узагальнюючими показниками, що стало можливим завдяки використанню і реалізації безперервного режиму обробки за мінімальних енерго- та матеріаловитрат із забезпеченням рівномірності пошарової обробки сировини.

### **5.2.3 Оцінка економічної ефективності розробленої системи зберігання насіння з активним вентиляванням конвективним потоком холодоносія в умовах зерносховища**

Проектовану систему консервації сипкої продукції за рахунок охолодження у зерносховищах виконували як сукупність двох взаємопов'язаних підсистем:

- активного вентилявання конвективним потоком холодоносія для винесення поверхневої вологи та підтримання необхідних умов мікроклімату;
- імпульсного пневмодинамічного зворушення сипкої маси для нівелювання злежування, перебігу небажаних мікробіологічних процесів та винесення вологи до поверхневих шарів.

Зернову продукцію зберігали не на підлозі насипом, а на певній відстані від неї для запобігання небажаного зволоження продукції. При цьому

розміщення зерна здійснювали у спеціальних піддонах, на торцевих стінках монтувалися розроблені пневмоімпульсні генератори або барботери [135].

Розрахунок річної економічної ефективності проводили за умов мінімізації втрат сировини при максимальному збереженні основних вихідних властивостей зернової продукції запроектованої системи її зберігання та збільшення вартості продукції після заданого терміну її зберігання [288].

Для реалізації проекту розраховували витрати на капіталовкладення за формулою:

$$B_K = B_{обл} + B_M + B_б,$$

де  $B_{обл}$  - вартість установленого обладнання, грн;

$B_M$  - вартість монтажу нового обладнання, грн;

$B_б$  - вартість будівельних матеріалів, грн.

Вартість матеріалів, монтажу та встановленого обладнання для впровадження розробленого проекту наведена у табл. 5.8 за ринковими цінами на початок 2017 року.

За результатами розрахунків, враховуючи дані проектно-кошторисної оцінки розробленого проекту, отримали витрати на капіталовкладення:

$$B_K = 596500 + 19500 + 274770 = 890770 \text{ грн.}$$

Для розрахунку загальних витрат на зберігання продукції з використанням проектного обладнання враховували [285]: амортизаційні відрахування ( $P_a$ ), витрати на оплату праці обслуговуючому персоналу ( $B_n$ ), енерговитрати ( $E_e$ ).

При застосуванні прямолінійного методу річна амортизація розраховувалася як ділення вартості, що амортизується, на термін корисного використання об'єкта основних засобів [277, 285]:

$$B_a = \frac{A_M B}{T_c},$$

де  $T_c$  – термін служби того чи іншого засобу виробництва (за технічним паспортом), год;

$A_{мВ}$  – балансова вартість засобу виробництва, грн.

Тоді, річний розмір амортизаційних відрахувань визначили, враховуючи, що балансова вартість відповідає капіталовкладенням розробленого проекту сховища:

$$B_a = \frac{890770}{20} = 44538 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.8 – Проектно-кошторисна оцінка розробленого проекту

Найменування	Ціна, грн
Бетонні матеріали	82 150
Металеві конструкції, решітка	42 700
Ангар	140 800
Охолоджувальна установка, 2 шт	596 500
Допоміжні матеріали	9 120
Зварювальні роботи	5 000
Монтажні роботи	8 000
Бетонні роботи	6 500

Відповідно річний розмір амортизаційних відрахувань базового обладнання при балансовій вартості 294270 грн. складатимуть:

$$B_a = \frac{294270}{20} = 14713 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці обслуговуючому персоналу ( $B_n$ ):

$$B_n = P_{зн}TK_o,$$

де  $P_{зн}$  – розмір заробітної плати працівника, грн;

$T$  – тривалість роботи, міс;

$K_o$  – кількість обслуговуючого персоналу.

Враховуючи розмір мінімальної заробітної плати 3200 грн при тривалості зберігання продукції в зерносховищі на протязі 6 місяців, витрати на оплату праці обслуговуючому персоналу за проектом отримаємо:

$$B_{II} = 3200 \cdot 6 \cdot 2 = 38400 \text{ грн.}$$

У тому числі, нарахування на заробітну плату складуть (22 %).

$$\text{Нарахування на заробітну плату} = 38400 \cdot 0,22 = 8448 \text{ грн.}$$

Енерговитрати зернової продукції запроектованої системи її зберігання в зерносховищі розраховали за формулою:

$$E_B = N \cdot \tau \cdot T \cdot K,$$

де N – потужність охолоджувальної установки, 30-70 кВт;

$\tau$  – тривалість роботи охолоджувача, год (табл. 5.9);

T – тариф 1 кВт/год = 1,68 грн;

K – кількість охолоджувальних установок.

Таблиця 5.9 – Графік роботи охолоджувальних установок (при температурі 8...15 °С)

Місяць	Кількість годин, що працює охолоджувальна установка
Липень	96
Серпень	78
Вересень	63
Жовтень	52
Листопад	34
Грудень	14

Енерговитрати проектної системи охолодження за 6 місяців згідно графіку загальної тривалості роботи установки (344 год) складатимуть:

$$E_B = 30 \cdot 344 \cdot 1,68 \cdot 2 = 34675 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на зберігання продукції з використанням проектного обладнання на протязі 6 місяців:

$$B_{заг} = P_a + B_{II} + E_B = 44539 + 38400 + 34675 = 117614 \text{ грн.}$$

Далі провели розрахунок природних втрат зернової продукції, що фактично зберігалася у зерносховищі насипом на протязі від 3-х до 6-ти місяців [290]. Розрахунок проводили за існуючими нормативами при закладанні на тривале зберігання 200 т пшениці.

Норми природних втрат розраховали за формулою:

$$H_{пв} = H_{ф} + (H_{м} \cdot K_{м}),$$

де  $H_{ф}$  - норма втрат за попередній період фактичного зберігання;

$H_{м}$  – норми втрат на один місяць;

$K_{м}$  – кількість місяців фактичного зберігання, що перевищують нормативний інтервал терміну зберігання.

Природні втрати маси зерна при зберіганні складають:

$$M_{пв} = H_{пв} \cdot m_{з},$$

де  $m_{з}$  – маса продукції, закладена на зберігання, т.

Величини норм втрат визначали залежно від інтервалу терміну зберігання продукції:

$$\text{для 3 місяців зберігання: } H_{пв} = 0,03 + (0,03 \cdot 3) = 0,12\%$$

$$\text{тоді } M_{пв} = 200 \cdot 0,12\% = 0,24 \text{ т}$$

$$\text{для 6 місяців зберігання: } H_{пв} = 0,03 + (0,03 \cdot 6) = 0,21\%$$

$$\text{тоді } M_{пв} = 200 \cdot 0,21\% = 0,42 \text{ т}$$

Вихід продукції за базовою технологією зберігання з урахуванням природних втрат маси зерна на протязі 3-х місяців становитиме 199,76 т та для 6-ти місяців – 199,58 т .

Також у процесі зберігання без застосування обладнання відбувається зміна якості збереженої продукції [291]. При зберіганні сипкої продукції насипом на підлозі у першу добу пристінні шари зерна завтовшки 1 см звожуються на 5%, протягом наступних двох тижнів – ще на 1-2 %, що вже достатньо для самозігрівання продукції. У результаті інтенсивність дихання протягом 1-2 діб зростає у 10 разів, після 3 діб – у сотні разів. Через 5 діб втрати сухих речовин у зернівці зростають у 1000 разів, різко збільшується кислотне

число жиру, а схожість насіння знижується на 10-15 %. Окрім того, мають місце втрати зернової продукції через діяльність шкідників та комах.

Тому після 3-х місяців 70 % збереженого зерна є 4-5 класу та 30 % – 2-3 класу, а після 6-ти місяців весь обсяг продукції має пониженою якість, тобто складає 4-5 клас.

Запроектованою технологією передбачені втрати зерна у межах 1...7 % на протязі всього терміну, враховуючи умови зберігання у зерносховищі [292], що оснащено інноваційними технологіями консервації продукції та відповідним обладнанням, збережене зерно має бути 2-3 класу.

Тоді величини норм втрат продукції складатимуть:

$$\text{для 3 місяців зберігання: } H_{\text{пв}} = 0,01 + (0,01 \cdot 3) = 0,04\%$$

$$\text{тоді } M_{\text{пв}} = 200 \cdot 0,04\% = 0,008 \text{ т}$$

$$\text{для 6 місяців зберігання: } H_{\text{пв}} = 0,01 + (0,01 \cdot 6) = 0,07\%$$

$$\text{тоді } M_{\text{пв}} = 200 \cdot 0,07\% = 0,14 \text{ т}$$

Вихід продукції запроєктованою технологією зберігання з урахуванням природних втрат маси зерна на протязі 3-х місяців становитиме 199,92 т та для 6-ти місяців – 199,86 т.

Розрахуємо чистий дохід від реалізації зернової продукції, що фактично зберігалася у зерносховищі насипом, та з використанням проектного устаткування на протязі 6-ти місяців, з урахуванням природних втрат.

Дохід розраховували, враховуючи, що середня ціна реалізації 1т пшениці відповідно до ринкових цін за 2017–2018 рік складала:

вересень: 2–3 клас - 5000 грн, 4–5 клас - 4100 грн;

грудень: 2–3 клас - 6800 грн, 4–5 клас - 5000 грн [2].

Тому за базовою технологією чистий дохід продукції становить для 3 місяців зберігання:

$$V_p = (199,76 \text{ т} \cdot 0,7 \cdot 4100 \text{ грн.}) + (199,76 \text{ т} \cdot 0,5000 \text{ грн.}) = 872951,2 \text{ грн,}$$

для 6 місяців зберігання:

$$B_p = 199,58 \text{ т} \cdot 5000 \text{ грн.} = 99790 \text{ грн.}$$

За проектною технологією дохід від реалізації продукції становить для 3 місяців зберігання:

$$B_p = 199,92 \text{ т} \cdot 5000 \text{ грн.} = 999600 \text{ грн.},$$

для 6 місяців зберігання:

$$B_p = 199,58 \text{ т} \cdot 6800 \text{ грн.} = 1359048 \text{ грн.}$$

Прибуток від реалізації продукції після зберігання розраховали за формулою [293, 294, 295]:

$$\Pi = B_p - B_{\text{заг}},$$

де  $B_p$  – чистий дохід (виручка від реалізації), грн;

$B_{\text{заг}}$  – загальні витрати, грн.

Додатковий прибуток за рахунок застосування проектної технології з використанням устаткування для охолодження складає:

$$\Pi_d = \Pi_{\text{пр}} - \Pi_б,$$

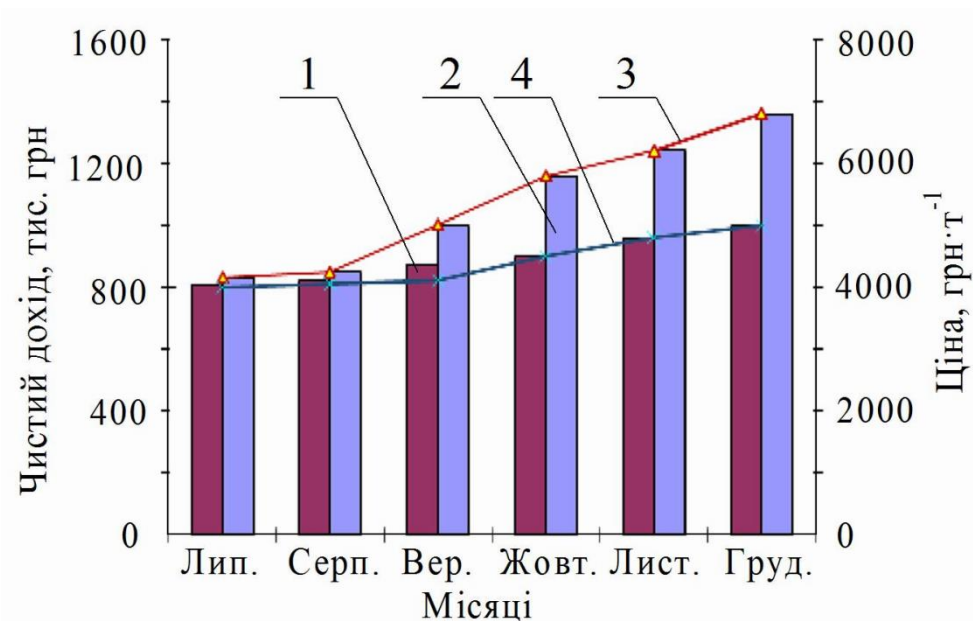
де  $\Pi_{\text{пр}}$  – прибуток, отриманий від реалізації зернової продукції після тривалого зберігання за проектною технологією, грн;

$\Pi_б$  – прибуток отриманий від реалізації продукції після тривалого зберігання базовою технологією, грн.

Показники ефективності проекту в процесі тривалого зберігання пшениці наведені в табл. 5.10., рис. 5.7.

Таблиця 5.10 – Показники ефективності проекту в процесі тривалого зберігання пшениці

Показники	Місяці					
	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Собівартість виробництва 1 т, грн	2286	2286	2286	2286	2286	2286
Витрати на зберігання за базовою технологією, грн	17701,6	14382,55	11616,68	9588,368	6269,318	2581,484
в тому числі амортизація, грн	1226,125	1226,125	1226,125	1226,125	1226,125	1226,125
Тривалість охолодження, днів	96	78	63	52	34	14
Енерговитрати на зберігання за проектною технологією, грн	9676,744	7862,355	6350,363	5241,57	3427,18	1411,192
Витрати на зберігання за проектною технологією, грн	21196,29	29058,64	35409	40650,57	44077,75	45488,95
в т.ч.: витрати за наростаючим підсумком	9676,744	17539,1	23889,46	29131,03	32558,21	33969,4
оплата праці	6400	6400	6400	6400	6400	6400
податки на оплату праці	1408	1408	1408	1408	1408	1408
амортизація	3711,542	3711,542	3711,542	3711,542	3711,542	3711,542
Вихід продукції, т						
базова технологія	199,88	199,82	199,76	199,7	199,64	199,58
проектна технологія	199,96	199,94	199,92	199,9	199,88	199,86
Ціна реалізації пшениці, грн/т						
2-3 клас	4150	4250	5000	5800	6200	6800
4-5 клас	4000	4050	4100	4500	4800	5000
Чистий дохід, грн						
базова технологія	808514,6	821260,2	872951,2	898650	958272	997900
проектна технологія	829834	849745	999600	1159420	1239256	1359048
Загальні витрати, грн						
базова технологія	474627,3	471171,1	468268	466102,6	462646,4	458821,4
проектна технологія	478304,8	486121,5	492426,1	497622	501003,4	502368,9
Загальні витрати на 1 т, грн						
базова технологія	2374,561	2357,978	2344,153	2334,014	2317,403	2298,935
проектна технологія	2392,003	2431,337	2463,116	2489,355	2506,521	2513,604
Прибуток від реалізації, грн						
базова технологія	333887,3	350089,1	404683,2	432547,4	495625,6	539078,6
проектна технологія	351529,2	363623,5	507173,9	661798	738252,6	856679,1
Прибуток від реалізації на 1 т, грн						
базова технологія	1670,43	1752,02	2025,84	2165,98	2482,59	2701,06
проектна технологія	1757,99	1818,66	2536,88	3310,64	3693,47	4286,39
Рівень рентабельності, %						
базова технологія	70,34	74,30	86,42	92,80	107,12	117,49
проектна технологія	73,49	74,80	102,99	132,99	147,35	170,52
Економічний ефект (чистий дохід), грн	21319,4	28484,8	126648,8	260770	280984	361148
Економічний ефект (прибуток), грн	17641,84	13534,39	102490,7	229250,6	242626,9	317600,5



Чистий дохід від реалізації відповідно базової технології (1) та проектної технології (2), грн; ціна пшениці відповідно 2 - 3 класу (3) та 4 - 5 класу (4), грн/т

Рисунок 5.7 – Чистий дохід від реалізації пшениці при зберіганні за базовою та проектною технологією

Розрахунок техніко - економічних показників проекту вентилявання холодоносієм в умовах зерносховища наведений в табл. 5.11.

Аналізуючи дані таблиці, розраховали додатковий прибуток при застосуванні розробленого устаткування для охолодження зернової продукції після шести місяців зберігання:

$$P_{д} = 856679,1 - 539078,6 = 317600,5 \text{ грн.}$$

Оцінку ефективності застосування проектного устаткування в зерносховищі розраховали, враховуючи різницю між прибутком, отриманим від реалізації зернової продукції після тривалого зберігання за проектною технологією, та прибутком від реалізації продукції після тривалого зберігання базовою технологією без використання охолоджуючого обладнання [296, 297].

Таблиця 5.11 – Техніко - економічні показники проекту в процесі тривалого зберігання

Показники	Проектна технологія	Базова технологія	Відхилення +,-
Капітальні вкладення, тис. грн	890770	-	-
Амортизаційні витрати, грн	22269,25	7356,75	14912,5
Загальні витрати, грн			
для 3 місяців	492426,1	468268,0	24158,1
для 6 місяців	502368,9	458821,4	43547,5
Вихід продукції з урахуванням втрат, т			
для 3 місяців	199,92	199,76	0,16
для 6 місяців	199,86	199,58	0,28
Чистий дохід від реалізації пшениці, грн			
для 3 місяців	999600	872951	126649
для 6 місяців	1359048	997900	361148
Прибуток, грн			
для 3 місяців	507173,9	404683,2	102490,7
для 6 місяців	856679,1	539078,6	317600,5
Рівень рентабельності, %			
для 3 місяців	102,99	86,42	16,57
для 6 місяців	170,52	117,49	53,03
Економічний ефект за проектною технологією зберігання 6 місяців (за прибутком), грн	317600,5	-	-
Термін окупності, роки	1,04	-	-

Отже, річний економічний ефект проекту відповідає додатковому прибутку:

$$E_{ef} = \Pi_d = 317600,5 \text{ грн.}$$

А термін окупності устаткування становить:

$$T = \frac{B_k}{E_{ef}},$$

де  $B_k$  – капітальні вкладення, грн;

$E_{ef}$  – річний економічний ефект, грн.

Термін окупності становить:

$$T = \frac{890770}{856679,1} = 1,04 \text{ років}$$

При розгляді питання економічної ефективності виробництва більшість з представлених факторів запроектованої системи зберігання свідчать про високі технологічні та технічні показники представлених засобів досліджуваних процесів, що дозволить налагодити процес виробництва та випуск якісної продукції з найменшими можливими витратами.

### **Висновки за розділом 5**

1. Розроблені інноваційні заходи механізації процесів післязбиральної обробки та зберігання насіннєвого матеріалу дозволили підвищити врожайність соняшнику на 4,5 ц/га, отримати економічний ефект 4050 грн/га. За допомогою витратних та ринкових методів ціноутворення розраховали, що при застосуванні віброаспіраційного сепаратора, з урахуванням його вартості, прибуток від реалізації соняшнику збільшився на 53538,4 грн/га, а рентабельність виробництва на 82,4 %, що доводить ефективність використання власного насіннєвого матеріалу соняшнику у порівнянні з його купівлею.

2. Оцінка техніко-економічних показників розробленого інноваційного процесу віброхвильового міжопераційного транспортування насіння в умовах її інфрачервоного сушіння виявила порівняно з базовою інфрачервоною віброконвеєрною сушаркою СВИК-150 два основних ефекти: від економії енерговитрат та від зменшення металоємкості конструкції, що дозволило отримати річний економічний ефект при її експлуатації 25800 грн та 171719 грн відповідно, термін окупності при впровадженні розробленої технологічної лінії становить 0,4 року.

3. Застосування проектного устаткування у зерносховищі з активним вентилюванням та барботуванням сипкої продукції за конвекційного потоку холодоносія дозволить отримати: річний економічний ефект у розмірі

317600,5 грн за терміну окупності устаткування 1,04 роки; прибуток від реалізації пшениці, що зберігалась у проектованому зерносховищі від 1 до 6 місяців 1758 та 4286,4 грн/т відповідно.

4. Отримані конструкційні, технологічні та техніко-економічні параметри розробленої системи зберігання зернових і олійних культур за рахунок застосування інноваційного обладнання для віброаспіраційного сепарування, віброхвильового інфрачервоного сушіння та тривалого зберігання із застосуванням конвективного потоку холодоносія зумовили ефективність їх використання в таких технологіях, як підготовка якісного насіннєвого матеріалу зернової та олійної сировини до подальшої переробки та збереження вихідних властивостей продовольчої сировини у зерносховищах.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація спрямована на розв'язання науково-технічної проблеми, суть якої полягає у техніко-технологічному обґрунтуванні енергоощадної системи післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур при максимальному збереженні їх вихідних властивостей. За результатами досліджень сформульовано наступні висновки.

1. На основі аналізу досвіду сучасних технологій збирання врожаю зернових і олійних культур та засобів механізації процесів їх первинної переробки і зберігання сформовані принципи побудови їх системи зберігання, обґрунтовані та розроблені ефективні засоби механізації для функціонування цієї системи; зокрема, схеми і моделі віброаспіраційного і пневмодинамічного сепаратора, інфрачервоної сушарки з віброхвильовим механізмом для транспортування насінневого матеріалу у зоні обробки за безперервного режиму переміщення та пошарового оновлення поверхонь контакту з енергоносієм, зерносховища з активним потоком холодоносія, імпульсного пневмодинамічного барботера для ворущіння сипкої маси при її зберіганні насипом у сховищах.

2. За результатів теоретичних досліджень встановлено, що високий рівень якості розділення насіння соняшнику отримується при використанні розробленого вертикального віброаспіраційного сепаратора, центральна труба якого виконана з можливістю здійснення кутових автоколивань і оснащена конусним розподільником та 20 спеціальними парусними елементами висотою 10,25...10,50 мм, що дозволило утворити у зоні фракціонування додаткові рушійні збурювальні сили величиною 68...100 Н та обертового моменту, величина якого склала 2,7...4,1 кН·м.

3. За результатами виконання та обробки експериментальних досліджень для визначення раціонального рівня якості розділення фракцій соняшнику при швидкості зустрічного повітряного потоку у межах 4,5...5,5 м/с рекомендували: кут нахилу твірної конусного розподільника вертикального сепаратора повинен дорівнювати 40°, що дозволить здійснити подачу

насіння соняшнику під кутом  $31...32^\circ$  до осі розподільника та сходження з нього насіннєвого матеріалу у вертикально напрямлений повітряний потік зі швидкістю  $0,8$  м/с.

Для збільшення вмісту насінин важкої фракції в умовах віброаспіраційної сепарації до  $91,1$  % необхідно забезпечити швидкість сходження насіння  $0,85$  м/с, кут введення насіння до розподільника  $31,0^\circ$ , швидкість повітряного потоку  $5,9$  м/с, кут повороту аспіраційного каналу  $283,5^\circ$ , висоту парусного елемента  $10,5$  мм. Відсоток середньої фракції за проєктованого процесу обробки досягається  $88,4$  % за таких параметрів: швидкості сходження насіння  $0,86$  м/с, кута введення насіння до розподільника  $31,5^\circ$ , швидкості повітряного потоку  $5,92$  м/с, кута повороту аспіраційного каналу  $286,7^\circ$ , висоти парусного елемента  $10,25$  мм.

4. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень функціонування розробленої інфрачервоної зерносушарки з комбінованим вібробуджувачем стабільний хвильовий рух його робочого вальця має місце при зміні кутової швидкості приводного валу у діапазоні  $50...80$  рад/с.

5. Встановлено, що раціональний діапазон швидкості транспортування насіння сої у процесі інфрачервоного сушіння складає  $0,15...0,60$  см/с. Зростання цього параметра у вказаних межах збільшує час настання етапу постійної швидкості сушіння сої більш як у  $2,5$  рази (з  $205$  с до  $520$  с), стабілізуючи його на рівні  $520$  с, що дозволяє рекомендувати діапазон швидкостей транспортування насіння у зоні інфрачервоного опромінення  $0,15...0,40$  см/с для досягнення необхідної вологості за один прохід продукції хвильовим конвеєром.

Необхідне значення вологості насіння сої  $12,45$  % після сушіння у розробленій інфрачервоній сушарці досягається за наступних діапазонів зміни параметрів даного процесу: амплітуді коливань вібробуджувача  $3,5...3,9$  мм, відстані до поверхні випромінювача  $19...20$  мм, потужності випромінювача  $350...355$  Вт, подачі матеріалу  $0,156...0,160$  т/год, інтервалу температури усередині шару оброблюваної продукції  $47...50^\circ\text{C}$ .

6. Теоретичними дослідженнями встановлено, що інтенсивне барботування та відповідно перемішування зернової маси у горизонтальній площині можливе при застосуванні стоячої пневмодинамічної хвилі за умови опозитного розташування імпульсних генераторів. Робочий тиск останніх має бути у межах 0,3...0,5 МПа, а співвідношення тисків відкривання ( $P_3$ ) і закривання ( $P_2$ ) діафрагми пневматичної робочої камери має відповідати умові  $P_3 = (3,5...5)P_2$ . За результатами експериментальних досліджень процесу пневмоімпульсного барботування виявили, що за амплітудного значення імпульсу 300...500 кПа по довжині піддону із зерновою продукцією спостерігається зменшення надлишкового тиску за ударною хвилею лише на 12 кПа; так як ударна хвиля практично не втрачає своєї функціональності на відстані 5 м, тобто проектованої довжини піддона з продукцією.

7. Найбільш сприятливим терміном зберігання насіння зернової сировини є 24 тижні. Показник клейковини при цьому складе 28,1 % за температури не більше 9,0 °С, показник індексу деформації клейковини 65 % за температури 9,5 °С, а показник вологості – 12,11 % за температури 9,54 °С.

Необхідне значення вмісту клейковини у зерновій продукції дорівнює 28,1 % за таких раціональних параметрів режиму її зберігання: вологості зернового матеріалу 12,5 %, об'ємній подачі повітря 10800 м<sup>3</sup>/год, температурі холодоагента 4,0 °С, температурі повітря у сховищі 5,7 °С, середній температурі насипного зерна у зерносховищі 9,5 °С.

8. Розроблення представлених засобів механізації післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур дозволяє отримати наступні показники техніко - економічної ефективності:

- реалізація операції фракціонування насіння за допомогою віброаспіраційного сепаратора дає змогу отримати економічний ефект за рахунок збільшення урожайності соняшника у межах 4050 грн/га при економії сукупних витрат на насіння 171,1 грн/га; прибуток збільшується на 53538,4 грн, а рентабельність виробництва на 82,4 %;

- для інфрачервоного сушіння ефект від зменшення металоємкості конструкції та економії енерговитрат при експлуатації машини складає 25800 грн та 171719 грн відповідно, термін окупності 0,4 року;

- застосування проектного устаткування у зерносховищі з активним вентиляванням та барботуванням сипкої продукції за конвекційного потоку холодоносія дозволить отримати: річний економічний ефект у розмірі 317600,5 грн за терміну окупності устаткування 1,04 роки; прибуток від реалізації пшениці, що зберігалась у проектованому зерносховищі від 1 до 6 місяців становить 1758 та 4286,4 грн/т відповідно.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ринок зернових культур. URL: <http://shareuapotential.com/ru/BE/ukrainian-zerno-2017.html>.
2. Статистична інформація. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. В Украине снизился урожай ранних зерновых. Сегодня: электрон.версия газеты. 2018. №175 от 30.08.18г. URL: <https://www.segodnya.ua/economics/enews/v-ukraine-snizilsya-urozhay-rannih-zernovyh-1166635.html>.
4. Зерна требуется все больше, выращивание пшеницы и ячменя по нашему бизнес – плану будет приносить прибыль многие годы. Аналитика и финансы: информационный дайджест / Pro consulting: аналитика рынков и финансовый консалтинг. URL: <https://pro-consulting.ua/pressroom/zerna-trebuetsya-vse-bolshe-vyrashivanie-pshenicy-i-yachmenya-po-nashemu-biznes-planu-budet-prinosit-pribyl-mnogie-gody>.
5. Соловйова О. П. Сучасний стан ринку зерна в Україні. URL: [http://www.rusnauka.com/32\\_PWMN\\_2009/Economics/55294.doc.htm](http://www.rusnauka.com/32_PWMN_2009/Economics/55294.doc.htm).
6. Основные виды масличного сырья. URL: [www.znaytovar.ru/new600.html](http://www.znaytovar.ru/new600.html).
7. Маслак О. М Сучасні тенденції ринку соняшнику. Агробізнес сьогодні: електрон. версія журналу. 2011. №17 (257) від 06.09.11р. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/makroekonomika/item/1953-suchasni-tendentsii-rynku-soniashnyku.html>.
8. Звіт USDA. Огляд ринку олійних культур / Аграрна біржа України. URL: <https://agrex.gov.ua/zvit-usda-oglyad-rinku-oliynih-kultur>
9. Нові можливості України на світовому ринку олійних культур. URL: <http://www.bakertilly.ua/news/id1189>.
10. Українське фермерство: особливості, проблеми, перспективи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://a7d.com.ua/agropoltika/aktualna-tema/firsthands/1827-ukrayinske-fermerstvo-osoblivosti-problemi.html>

11. Обладнання складів. Зберігання зерна і зернопродуктів : навч. посібник / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, О. Г. Скляр, С. В. Кюрчев [та ін.]. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2018. 293 с.
12. Кирпа М. Я. Зберігання зерна – станіперспектива розвитку зв'язку зі збільшенням обсягів виробництва зерна в Україні. Бюлетень Ін-тусіл. госп-ва НААН України. Дніпропетровськ, 2011. № 1. С. 9 - 14.
13. Рыбчинский Р. Состояние и перспективы системы хранения зерна в Украине. Хранение и переработка зерна. 2011. № 5 (143). С. 15 - 17.
14. Агрономов Е. А. Хранение зерна. М.: Пищепромиздат, 1935. 222 с.
15. Скалецька Л. В., Духовська Т. М., Сеньков А. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва: навч. посібник. К.: Вища школа, 1994. 330с.: іл.
16. Камінський В. Д., Бабіч М. Д. Переробка та зберігання сільськогосподарської продукції: навч. посібник для вузів. Одеса: Аспект, 2000. 460 с.
17. Маленький Б. Е., Лебедев В. Б., Винников Г. А. Технология приемки, хранения и переработки зерна. М.: Агропромиздат, 1990. 367 с.
18. Малин Н. И. Технология хранения зерна. М.: Колос, 2005. 280 с.
19. Козьмина Н. П. Зерно и продукты его переработки. М.: Заготиздат, 1961. 520 с.
20. Кретович В. Л. Биохимия зерна и хлеба. М.: Наука, 1991. 136 с.
21. Личко Н. М., Курдина В. Н. Технология переработки продукции растениеводства: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Колос, 2000. 552 с.
22. Казаков Е. Д., Кретович В. Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Колос, 1980. 319 с.: ил.
23. Казаков Е. Д., Карпиленко Г. П. Биохимия зерна и хлебо-продуктов. СПб.: ГИОРД, 2005. 512 с.

24. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А. С. Кобець, Ю. О. Чурсінов, С. А. Черних [та ін.]. Дніпропетровськ: ДДАЕУ. 2014. 614 с.
25. Марченко В., Гузь М. Зберігання зерна олійних культур. Agroexpert: електр. версія журналу. 2016. №3 (92). URL: <https://agroexpert.ua/zberiganna-zerna-oliinih-kultur/>.
26. Боуманс Г. Эффективная обработка и хранение зерна / пер.с.англ. В. И. Дашевского. М.: Агропромиздат, 1991. 608 с.: ил.
27. Трисвятский Л. А. Хранение зерна. М.: Агропромиздат, 1986. 352 с.
28. Трисвятский Л. А. Хранение и технология сельськохозяйственных продуктов. М.: Агропромиздат, 1991. 414 с.
29. Хранение зерна / под. ред. Н. П. Козьминой; пер. с англ. М.: Колос, 1975. 424 с.
30. Хранения зерна и зерновых продуктов / пер. с англ. В. И. Дашевского, Г. А. Закладного; предисл. Л. А. Трисвятского. М. : Колос, 1978. 472 с.: ил.
31. Пилипюк В. Л. Технология хранения зерна и семян: учеб.пособие. Саратов, 2008. 310 с.
32. Самочетов В. Ф., Джорогян Г. А. Зерносушение. М. : Колос, 1970. 287 с.
33. Станкевич Г. М., Страхова Т. В., Атаназевич В. І. Сушіння зерна: підручник. К.: Либідь, 1997. 352 с.
34. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції / О. В. Богомолів, Н. В. Верешко, О. М. Сафонова [та ін.]; під. ред. О. І. Шаповаленка, О. М. Сафонові. Харків : Еспада, 2008. 544 с.
35. Jayas D. S., Ghosh P. K. Preserving quality during grain drying and techniques for measuring grain quality URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/8f0d/219625be0fedde6afc0ad8cc0f50024038d5.pdf>

36. Баум А. Е. Применение искусственно охлажденного воздуха при хранении за рубежом. М., ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1977. 28 с.
37. Кюрчева Л. М., Григоренко О. В., Кюрчев С. В. Технологія переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : навч. посібник. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2013. 26 с.
38. Технологічні властивості сировини : навч. посібник / О. П. Прісс, С. В. Кюрчев, В. Ф. Жукова, Н. А. Гапрідашвілі. Мелітополь ; Херсон : Олді-плюс, 2014. 224 с.
39. Чурсінов Ю. О., Черних С. А., Кошулько В. С. Системи та засоби захисту зернових запасів : навч. посібник. Дніпропетровськ : ДДАУ, 2009. 313 с.
40. Гинзбург А. С. Основные аспекты кибернетики сушки. Научно-технический прогресс в пищевой промышленности : тезисы докладов науч.-техн. конф. (22- 24 ноября 1995 г., Могилев). Могилев, 1995. С. 76 - 78.
41. Андерсон Дж. А., Уолкок А. У. Хранение зерна и зерновых продуктов. М.: Колос, 1978. 472 с.
42. Конвісер І. О., Паригіна Т. Б. Холодильна технологія харчових продуктів : навч. посіб. К. : Київ. нац. торг.- екон. ун-т, 2001. 242 с.
43. Верхованцева В. О., Ялпачик В. Ф. Аналіз способів зберігання зерна. Проблеми харчових технологій і харчування: сучасні виклики і перспективи розвитку: тези доповідей VII Міжнар. наук. – техн. конф. (7 – 9 вересня 2011р., м. Донецьк ) / ДонНУЕТ ; НУХТ. Донецьк, 2011. С. 125 - 128.
44. Кюрчев С. В. Верхованцева В. А. Особенности хранения зерновых запасов. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 3. С. 189 - 194.
45. Дьячков В.К. Вибрационные конвейеры и питатели. - Труды ВНИИПТМАШ, 1960, т.5.
46. Потураев В.Н., Франчук В.П. Некоторые теоретические предпосылки к исследованию механики движения большого слоя насыпного

груза под действием вибрации.- К.: Наукова думка, 1970. С. 173 - 181.

47. Котов В. В. Определение скорости движения зерна в воздушном потоке. Технологии и средства механизации полеводства. зерноград, 2002. С. 137 - 140.

48. Бурков А. И. Изыскание и исследование рабочего процесса замкнутой пневмосистемы сеяноочистительной машины : дис. ... канд. техн. Наук: 05.20.01. Киров, 1991. 217 с.

49. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва : навч. посібник / В. Ф. Ялпачик, Н. П. Загорко, Н. О. Паляничка, С. В. Кюрчев [та ін.]. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2017. 278 с.

50. Єрмак В. П. Шляхи збільшення ефективності сепарування насіння у горизонтальному повітряному потоці. Збірник наукових праць Луганського нац. аграрного у – ту. Серія : Технічні науки. Луганськ: ЛНАУ, 2004. Вип. 42 (54). С. 66 - 72.

51. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруємого матеріалу. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного ун – ту. Серія: Технічні науки / Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ВНАУ, 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 322 - 327.

52. Підвищення ефективності попереднього очищення зернових сумішей / С . М. Лещенко, О. М. Васильковський, М. І. Васильковський, В. В. Гончаров. Сільськогосподарські машини: зб.наук. ст. Луцьк: відділ ЛНТУ, 2009. Вип. 18. С.230 - 234.

53. Очистка и калибровка семян подсолнечника. URL: [fermerland.com](http://fermerland.com).

54. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Багатокритеріальний аналіз існуючих сепараторів насіння із різним робочим знаряддям. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства

ім. П. Василенка. Серія: технічні науки / ХНУТСТГ ім. П. Василенка. Харків, 2015. Вип. 156. Т. 1. С. 86 - 92.

55. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздєв, Ф. Ю. Ялпачик. Вінниця: «Нова книга», 2009. 486 с.

56. Берник П. С., Паламарчук І. П. Конвеєрні вібраційні машини для оздоблювально-зміцнювальної обробки. К. : Вища школа, 1996. 237 с.

57. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 86300 Україна : МПК51 В07В 1/28 (2006.01) / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. № 86300; заявл. 21.06.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. №24. 4 с.

58. Васильковський М. І., Гончарова С. Я., Лещенко С. М. Обґрунтування параметрів сепарації зерна в похилому повітряному потоці. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. / Кіровоград. нац. техн. ун – т; за заг. ред. М. І. Черновола. Кіровоград, 2007. Вип. 37. С. 132 - 137.

59. Зеленцов Л.К. Влияние рабочей среды на колебания вибрационной установки для объемной обработки деталей // Состояние и перспективы промышленного освоения вибрационной обработки. – Ростов-на-Дону, 1974. – С. 37 - 41.

60. Технологическое оборудование ГАПС URL: <http://www.gaps.tstu.ru/win1251/lab/sreda/togaps/8/sushka/sushka2.htm>.

61. Псевдооживление. / В. Г. Айнштейн, А. П. Баскаков, Б. В. Берг [и др.]; под.ред. В. Г. Айнштейна. М.: Химия, 1991. 400 с.

62. Інструкція по сушінню продовольчого, кормового зерна. Насіння олійних культур та експлуатації зерносушарок. Одеса; Київ, 1997. 72с.

63. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Обґрунтування параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції з віброхвильовим конвеєром. Наукові праці: наук.збірник / Одеська національна академія харчових технологій. Одеса, 2018. Вип. 82. Т. 1. С. 122 - 127.URL: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/swonaft/article/view/1024>

64. Вібромеханічна інтенсифікація процесів сушіння оліємісткої сировини: монографія / І. П. Паламарчук, М. Ф. Друкований, В. І. Паламарчук, З. А. Бутова; під ред. докт. техн. наук І. П. Паламарчука. К. ЦП: «КОМПРИНТ», 2017. 325 с.

65. Птицын С. Д. Зерносушилки. М.: Машиностроение, 1966. 184 с.

66. Данилов О. Л., Леончик Б. И. Экономия энергии при тепловой сушке. М.: Энергоатомиздат, 1986. 133 с.

67. Жидко В. И., Резчиков В. А., Уколов В. С. Зерносушение и зерносушилки. М.: Колос, 1982. 239 с.

68. Сушарки зернові модульні марок СЗМ. URL: <http://mehzavod.com.ua/ua/catalog/sushilki-zernovye/?from=341>.

69. Кравчук В., Занько М., Лисак О. Модульні зерносушарки на ринку України. Техніко – технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : електрон. версія зб. наук. пр. / ДНУ «Український науково -дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого); редкол.: В. Кравчук (голов. ред.)та ін. Дослідницьке, 2018. Вип. 22 (36). С. 9 - 10. URL: [http://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk\\_2018\\_9.html](http://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk_2018_9.html).

70. А. с. 529063 СССР. Машина для непрерывной обработки / В. А. Повидайло, В. А. Щигель. Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. 1976. №16.

71. А. с. 496164 СССР. Вибрационная машина для обработки деталей, закрепленных на ленте / И. Н. Карташев, П. П. Жданкин, А. Е. Родиченко. Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. 1975. №34.

72. А. с. 761244 СССР. Вибрационная машина с транспортирующим элементом / П. Д. Денисов, В. М.Кунин, Н. Ф.Брайлян, В. И. Кармалюк,

Г. А. Боярских, Л. Д. Амбарцумян, А. И. Абрамов. Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. 1980. №21.

73. А. с. 580094 СССР. Устройство для вибрационной обработки хрупких и крупногабаритных деталей / П. Д. Денисов, Н. Ф. Брайлян, В. И. Кармалюк, Э. С. Бакала, В. Т. Дубовой. Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. 1977. №34.

74. А. с. 897481 СССР. Машина для вибрационной обработки / В. Г. Варфоломеев, Н. Е. Портнов, Д. И. Архангельский. Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. 1982. №2.

75. Нелюбов А. И., Ветров Е. Ф. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин. М. : Машиностроение, 1977. 190 с.

76. Барский М. Д., Долганов Е. А. О механизме воздушной гравитационной классификации. Горный журнал. 1969. № 1. С. 153 - 156.

77. Адамчук В. В. Механіко - технологічні і технічні основи підвищення ефективності внесення твердих мінеральних добрив та хіммеліорантів : автореф. ... дис. канд. техн. наук: 01.06.06. Київ, 2006. 40 с.

78. Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів: пат. 129217 Україна: МПК51F25/08 (2006.01). / М. І. Стручаєв, Н. П. Загорко, С. В. Кюрчев, В. О. Верхованцева, Л. М. Кюрчева, В. В. Тарасенко. № 129217; заявл. 17.04.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. №20. 4с.

79. Малин И. Энергосберегающая сушка зерна. М.: Колос, 2004. 240 с.

80. Фесенко А. В. Теоретическое исследование процесса сушки зерна в псевдооживленном слое с прерывистой подачей теплоносителя. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків, 2005. Вип. 40. С. 157 -161.

81. Аналіз багатозарового руху зерна на нерухомій похилій робочій поверхні / С. М. Мороз, М. І. Васильковський, О. М. Васильковський, В. В. Гончаров. Конструювання, виробництво та експлуатація

сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб / Кіровоград. нац. техн. ун - т; за заг. ред. М. І. Черновола. Кіровоград, 2011. Вип. 41. С. 203 - 208.

82. Механіко - технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навч. посібник / О. М. Царенко, С. С. Яцун, М. Я. Довжик, Г. М. Олейник ; за ред. С. С. Яцуна. К.: Аграрна освіта, 2000. 243 с.

83. Сафаров А. Ф. Влаготепловая обработка масличных культур: дис. ... докт. техн. наук : 05.05.05. Ташкент, 1991. 288 с.

84. Остапчук Н. В., Шашкин А. Б., Каминский В. Д. Повышение эффективности сушки зерна. К. : Урожай, 1988. 132 с.

85. Егоров Г. А. Технологические свойства зерна. М.: Агропромиздат, 1985. 334 с.

86. ДСТУ 4117: 2007. Зерно і продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії / Державний комітет стандартизації метрології та сертифікації України. Київ, 2007. 8 с.

87. Платонов Л. Н., Лебединский В. Г., Фасман В. Б. Элеватор и склады. М. : Колос, 1971. 311 с.

88. Алейников В. Послеуборочная обработка семян подсолнечника. М. : Колос, 1979. 143 с.

89. Верхованцева В. А. Обоснование параметров зернохранилища. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 2. Т. 3. С.185 - 189.

90. Ялпачик В. Ф. та ін. Обладнання складів. Зберігання зерна і зерно продуктів: навч. посібник. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2018. 293 с.

91. Кирпа М. Я. Напрямки енергозбереження в технологіях виробництва і зберігання зерна. Наукові праці / Одеська нац. академія харчових технологій. Одеса, 2009. Том 1. Вип. 36. С. 107 - 109.

92. Косенчук Н. П., Деркач Н. Є. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: електронний підручник. URL: <http://192.162.132.48:555/elektr%20pidr/agronomia/teh%20per%20ta%20zber/3/3.htm>
93. Вібромеханічна інтенсифікація процесівсушіння олієвмісної сировини / І. П. Паламарчук, М. Ф. Друкований, В. І. Паламарчук, З. А. Бурова. К.: НУБіП, 2017. 326 с.
94. Бобик С. Зберігання зерна в рукавах. URL: <https://agbag.ua/advice/hranenie-zerna-v-rukavah-preimuschestva-i-nedostatki-tehnologii>
95. Технологические разработки и патенты: Технология пневмоимпульсной очистки внутренних поверхностей трубопроводов <http://www.itam.nsc.ru/ru/section/316/>
96. Техника и технология. Пневматический транспортер зерна <https://t-i-t.com.ua/pnevmaticheskiy-transporter-zerna-ptz-8/>
97. Роговий А.С Особливості розрахунку пневмотранспортних установок, побудованих на основі безроторних відцентрових насосів. Вісник східноукраїнського Національного університету ім. Володимира Даля № 1 (218) 2015. С. 68 - 73.
98. Математична модель роботи відцентрово-пневматичного сепаратора зерна / О. М. Васильковський, В. В. Гончаров, Д. І. Петренко, С. М. Лещенко. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. пр. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10. Т. 8. С. 94 - 104.
99. Заика П. М., Мазнев Г. Е. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. М.: Колос, 1978. 287 с.
100. Спиваковский А. О., Гончаревич И. Ф. Вибрационные машины М.: Наука, 1983. 288 с.
101. Гончаревич И. Ф., Фролов К. В. Теория вибрационной техники и технологий. М.: Наука, 1981. 217с.
102. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних сушарок. The development of technical

sciences: problems and solutions: the international research and practical conference (April, 27–28, 2018, Brno city). Brno, 2018. pp. 9 - 12.

103. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції. Імпортозамінні і технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (17-18 трав. 2018р., м. Умань). Умань, 2018. С. 113 - 115.

104. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity under the effect of plant growth regulator in the conditions of insufficient moisture. Scientific achievements in agricultural engineering, agronomy and veterinary medicine: collective monograph / O. Yeremenko, S. Kalenska, S. Kiurchev [et al.]. Polish – Ukrainian Cooperation, 2017. V. II. pp. 196 - 217.

105. Кюрчев С. В., Колодій С. В. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруємого матеріалу. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вінниця, 2012. Вип. 11 (66). Т. 2. С. 322 - 327.

106. Гончаревич И.Ф. На гребне волны: способы перемещения в природе и технике. – М.: Наука, 1989. – 225 с.

107. Afzal, T. M. Energy and quality aspects during combined FIR convection drying of barley / T.M. Afzal, T. Abe, Y. Hikida // Food Eng. 1999. №42, pp. 177 - 182.

108. Bakker-Arkema, F.W. High Temperature Wheat Drying / F.W. Bakker-Arkema, A. Ahmadnia-Sokhansanj, G. Green // American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 1977. Paper No. 77 - 3527.

109. Brooker, D. B. Drying and storage of grains and oilseeds / D. B. Brooker, F.W. Bakker-Arkema, C.W. Hall // NY: Van Nostrand Reinhold, 1992.

110. Jayas, D.S. Preserving quality during grain drying and techniques for measuring grain quality / D.S. Jayas, P.K. Ghosh // Department of Biosystems

Engineering, E2-376 Engineering and Information Technology Complex, University of Manitoba. 2006. pp. 969 - 980.

111. Josselin de Jong. Static and Kinematics in the bailable zone of a granular material. Delft.-Waltman, 1959.

112. Швидя В. О., Степаненко С. П., Котов Б. І. Експериментальні дослідження процесу очищення зерна в пневмовібровідцентровому сепараторі з удосконаленою аспіраційною камерою. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. пр. Кіровоградського національного технічного університету / КНТУ. Кіровоград, 2010. Вип. 23. URL:// <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/1593/1/48.pdf>.

113. Спиваковский А.О., Гончаревич И.Ф. Вибрационные конвейеры, питатели и вспомогательные устройства. - М.: Машиностроение, 1972. – 326 с.

114. Листопад Г. Е. Основы теории вибросепарации зерновых смесей : автореф. ... дис. докт. техн. наук : 05.20.01. Саратов, 1984. 57 с.

115. Effect of abiotic factors on the intensity of respiration of fruit vegetables during storage / O. Priss, V. Yevlash, V. Zhukova, S. Kiurchev [et al.]. Eastern - European journal of enterprise technologies. 2017. Vol. 6. №11 (90). pp. 27 - 34. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/117617/114898>.

116. Заїка П. М. Очистка і сортування насіння. Теорія сільськогосподарських машин : навч. посібник. Харків: Око, 2006. В 3- х т. Т. 3., розд. 7. 408 с.

117. Гортинский В. В. Сортирование сыпучих тел при их послыном движении по ситам. Труды Всесоюзного научно – исследовательского института механизации сельского хозяйства. 1964. Т. 34. С. 121 - 191.

118. Завгородний А. И., Синяева О. В. Движения шара в воздушном потоке между вибрирующими плоскостями. Вібрації в техніці та технологіях. 2012. №3 (67). С. 20 - 27.

119. Швидя В. О., Степаненко С. П. Математическая модель движения зерна в коническом аспирационном канале. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2015. Вип. №2 (101). С. 108 - 114.

120. Чебанов А. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмасепаратора рушанки рицини з пиловловлюючим пристроєм : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.05.11. Мелітополь, 2013. 15 с.

121. Матвеев А. С. Сепарирование зерновой смеси вертикальным воздушным потоком. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1969. №11. С. 17 - 19.

122. Безручкин И. П., Баженов Е. Г., Попов В. В. Очистка зернового материала центробежно-пневматическим сепаратором: исследование рабочих процессов и органов машин для уборки зерновых культур и послеуборочной обработки зерна. Труды ВИСХОМ. 1969. Вып. 57. С. 301 - 320.

123. Степаненко С. П. Функціонально-структурне моделювання технологічних процесів післязбиральної обробки зерна на току. Науковий вісник НУБІП. Серія: Техніка і енергетика АПК. 2012. Вип. 166. Ч. 2. С. 187 - 197.

124. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 102657 Україна : МПК51(2015.01) В07В 1/00 / С. В. Кюрчев, В. М. Малкіна, О. С. Колодій. № 102657; заявл. 19.05.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл. №21. 4 с.

125. Пневмогравітаційний сепаратор для насіння: пат. 119052 Україна: МПК51 В07В 1/28 /С. В. Кюрчев, О. С. Колодій, Л. М. Кюрчева. № 119052; заявл. 20.03.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. №17. 4 с.

126. Вібраційна конвеєрна сушарка з інфрачервоними випромінювачами: пат. 87767 Україна: МПК51F26B17/06 (2014.01). / І. П. Паламарчук, В. М. Бандура, В. І. Паламарчук № 87767; заявл.28.02.2013 ; опубл. 25.02.2014, Бюл. №4. 4с.

127. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В, Верхованцева В. О. Вібровхвильовий семіфлюїдаційний процес низькотемпературної обробки рослинної сировини. Соціально – економічний розвиток аграрної сфери : інженерно-економічне забезпечення : матеріали Міжнар. наук. - практ. конф. (19 – 20 квітня 2018 р., м. Тернопіль). Тернопіль, 2018. С. 283 - 285.

128. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В. Застосування перспективної віброконвеєрної інфрачервоної сушарки. Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали ХІХ Міжнар. наук. конф., присвяченої 118 – й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (17 – 19 жовтня 2018 р., м. Київ). Київ, 2018. С. 84 - 85.

129. Анискин В. И. О техническом обеспечении обработки и хранения зерна в хозяйствах. Техника в сельском хозяйстве. 1991. №5. С. 7 - 9.

130. Пузік Л. М., Пузік В. К. Технологія зберігання і переробки зерна : навч. посіб. / Харк. нац. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва. Х.: ХНАУ, 2013. 312 с.

131. Потураев В.Н., Червоненко А.Г. Об учете влияния технологической нагрузки при динамическом расчете вибрационных конвейеров и грохотов.- В кн.: Обогащение полезных ископаемых. Вып. 2.- К.: Техника, 1967.

132. Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на элеваторах и хлебоприемных предприятиях / под ред. В. Б. Фейденгольда. М.: ДеЛи-принт, 2007. 320 с.

133. Спосіб вентиляування сільськогосподарської продукції в сховищах: пат. на винахід 72101 Україна: МПК А01F25/08(2006.01) / В. О. Верхованцева, В. Ф. Ялпачик, О. В. Гвоздев. №и 2012.00055; заявл. 03.01.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15. 4 с.

134. Сховище для зберігання сільськогосподарської продукції: пат. на винахід 72541 Україна : МПК А01F25/08(2006.01) / В. О. Верхованцева, В. Ф. Ялпачик, О. В. Гвоздев. №и 2012.00033; заявл. 03.01.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. №16. 4 с.

135. Кюрчев С. В., Кюрчева Л. М., Верхованцева В. О. Перспективний процес зберігання зерна із застосуванням охолодження у зерносховищі. Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XVIII Міжнар. наук. конф., присвяченої 117 - й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (16 – 18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець – Подільський). Кам'янець - Подільський, 2017. С. 141 - 143.

136. Кюрчев С. В., Верхованцева В.О. Конструктивні особености установки для охладнения и сушки зерна активним вентилярованием. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 5. Т. 1. С. 108 - 113. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html>.

137. Застосування процесу охолодження пшениці у технології зберігання зерна / С. В. Кюрчев, О. М. Леженкін, Л. М. Кюрчева, В. О. Верхованцева. Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : матеріали II Міжнар. наук. - практ. конф., присвяченої 85 – річчю Таврійського державного агротехнологічного університету та 50 – річчю Харківського державного університету харчування та торгівлі (5 – 7 вересня 2017 р., Харків; Мелітополь; Кирилівка). Мелітополь, 2017. С. 65 - 66.

138. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. М. : Атомиздат, 1979. 415 с.

139. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М. : Высшая школа, 1967. 595 с.

140. Кюрчев С.В. Конструктивні особливості зерносховища із застосуванням охолодження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ : НУБІП, 2018. Вип. 9. Т.4 С. 105 - 110.

141. Сушка пищевых растительных материалов / Г. К. Филоненко, М. А. Гришин [и др.]. М.: Пищ. пром-сть, 1971. 231с.

142. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу / О. В. Гвоздєв, Ф. Ю. Ялпачик, Ю. П. Рогач, М. М. Сердюк. К.: Вища освіта, 2006. 479 с.

143. Котов Б. І., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук. - техн. зб. / Кіровоград. нац. техн. ун - т; за заг. ред. М. І. Черновола. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С . 53 - 59.

144. Розробка основних принципів створення теплоенергетичної системи зберігання сільськогосподарської продукції / І. П. Паламарчук, С. В. Кюрчев, Л. М. Кюрчева, В. О. Верхованцева. Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції : тези матеріалів доповідей VII Міжнар. наук. - техн. конф. (6 – 7 листопада 2018 р., м. Київ). К.: НУХТ, 2018. С. 27 - 29.

145. Тищенко Л. Н., Пивень М. В. Исследование внутрислоевого движения частиц зерновой смеси при виброцентробежном сепарировании. Сб. научн. трудов. Курского.гос. техн. ун -та. Курск, 2003. С. 150 - 156.

146. Тищенко Л. Н., Пивень М. В. К исследованию динамики зернового потока на наклонном решете. Сб. научн. трудов ХГТУСХ / ХГТУСХ. Харьков: ХГТУСХ, 2001. №. 8. Т. 1. С. 198 - 205.

147. Тищенко Л. Н., Мазоренко Д. И. К определению моментов времени воздействия очистителей на сепарирующую поверхность. Сб. научн. трудов МИИСП. М.: МИИСП, 1981. С. 68 - 74.

148. Тищенко Л. Н. К нелинейной двухпоточковой теории виброцентробежной сепарации зерновых смесей. Вібрації в техніці і технологіях. 2003. № 6(32). С. 13 - 17.

149. Бурков А. И., Сычугов Н. П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание. Киров: Изд-во НШИСХ Северо-Восток, 2000. 258 с.

150. Абдуев М. М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.05.11. Харків, 2007. 21с.
151. Степаненко С. П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі. Вісник Харківського нац. техн. у - ту сільського г-ства ім. П. М. Василенка. Серія: Механізація сільськогосподарського виробництва / ХНТУСГ. Харків: ХНТУСГ, 2008. Вип. 75. Т. 2. С. 59 - 65.
152. Єрмак В. П. Результати досліджень розподілення швидкості повітряного потоку в межах основної сепараційної камери та відстані встановлення головної поділяючої заслінки сепаратора. Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Луганськ: ЛНАУ, 2006. Вип. 68 (97). С. 92 - 98.
153. Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов : справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.
154. Лыков А. В. Теория сушки. М.: «Энергия», 1968. 472 с.
155. Айнштейн В. Г., Баскаков А. П., Берг Б. В. Псевдооживление / под.ред. В. Г. Айнштейна. М.: Химия, 1991. 400 с.
156. Самочетов В. Ф., Джорогян Г. А. Зерносушение. М.: Колос, 1970. 287 с.
157. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. СПб : БХВ – Петербург, 2006. 608 с.
158. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / за ред. проф. І. Ф. Манлежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.
159. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.
160. Бурдо О. Г., Калинин Л. Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах : учебник. Одесса: Друк, 2008. 348 с.
161. Ефремов Г. И. Макрокинетика процессов переноса. М.: 2001. 287 с.

162. Кюрчев С. В., Колодий А. С. Результаты исследования рациональных размеров вертикального аспирационного канала сепаратора семян сельскохозяйственных культур. Motrol . Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin - Rzeszow, 2013. Vol. 15. № 2. pp. 169 - 175.

163. Кюрчев С. В., Колодий О. С. Результати дослідження раціональних розмірів вертикального аспіраційного каналу сепаратора насіння сільськогосподарських культур. Вісник Харківського нац. техн. у - ту сільського г-ства ім. П. М. Василенка. Серія: Механізація сільськогосподарського виробництва / ХНТУСГ. Харків: ХНТУСГ, 2014. Вип. 148. Т. 1. С. 56 - 63.

164. Колодий О. С., Кюрчев С. В. Методики исследования параметров сепаратора семян предложенного типа. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2013. Vol. 15. № 2. pp. 205 - 213.

165. Василенко П. М. Об уравнениях транспортировки частиц в сопротивляющихся средах. Доклады ВАСХНИЛ. 1970. №4. С. 44 - 46.

166. Василенко П. М Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельхозмашиностроения. Киев: Изд – во УАСХН, 1960. 283 с.

167. Гончаров Е. С. О характере движения материальной частицы в подвижной воздушной среде. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. К.: Урожай, 1966. Вып. № 2. С. 122 - 132.

168. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов. М., 1964. 25 с.

169. Василенко П. М. Элементы методики математической обработки результатов экспериментальных исследований. М., 1958. 168 с.

170. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: «Наука», 1964. 576 с.

171. Кюрчев С. В. Методика дослідження впливу вологості насіння соняшника на раціональну швидкість повітряного потоку в пневмогравітаційному сепараторі. Науковий вісник Національного

університету біоресурсів і природокористування України. Київ: НУБІП, 2018. Вип. 9. Т. 2. С. 139 - 141.

172. Кюрчев С. В. Процес охолодження у зерносховищі при зберіганні зернової продукції з подальшою реалізацією у виробництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ : НУБІП, 2018. Вип. 9. Т. 3 С. 83 - 90.

173. Математичне моделювання віброаспіраційного сепарування насінневого матеріалу / І. П. Паламарчук, С. В. Кюрчев, В. О. Верхованцева, О. С. Колодій. Вісник Львівського нац. аграрного у - ту. Серія: Агроінженерні дослідження / ЛНАУ. Львів, 2018. №22. С.172 - 176.

174. Кюрчев С. В., Колодій О. С., Бурдін В. С. Аналіз пневно-сепараторів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук.праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 84 - 98.

175. Обґрунтування конструкції та принципа роботи вібро-аспіраційного сепаратора / І. П. Паламарчук, С. В. Кюрчев, Л. М. Кюрчева, В. О. Верхованцева. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 99 - 108.

176. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Дослідження динаміки руху насінинни при виході з живильного конуса віброаспіраційного сепаратора. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8. Т. 2., DOI:10.31388/2220-8674-2018-2-20

177. Дослідження міжопераційного віброхвильового транспортування до інфрачервоного сушіння сої у рухомому шарі / І. П. Паламарчук, С. В. Кюрчев, Л. М. Кюрчева, В. О. Верхованцева, М. І. Стручаєв. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 19. Т. 2 С. 130 - 137.

178. Любимов А. М. Влияние воздушного потока на среднюю скорость движения зерна по решетку. Труды ЧИМЭСХ. 1958. № 4. С. 291 - 298.

179. Сисолін П. В., Петренко М. М., Свірень М. О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. К.: Фенікс, 2007. 432 с.

180. Сурмин Ю. П. Теория систем и системный анализ. К.: МАУП, 2003. 368 с.

181. Desai B.B., Kotecha P. M., Salunkhe D. K. Seeds handbook: biology, production, processing and storage. Marcel Dekker, Inc., New York, 1997.

182. Jorgensen, Kent R. and Richard Stevens. Seed collection, cleaning, and storage. Stephen B. Monsen, Richard Stevens, and Nancy Shaw (compilers), Restoring Western Ranges and Wildlands. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-136. Ft. Collins, Colorado. 2004. Chap. 24.

183. Терсков Г. Д. Оптимальная скорость воздушного потока в сортировках и построение траектории движения зерна. Сельскохозяйственная машина. 1936. № 2. С. 15 - 18.

184. Механіко - технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко [та ін.]. К.: Мета, 2003. 448 с.

185. Dewald, C. L., V. A. Beisel, and P. L. Sims. Concepts and principles of the Woodward chaffy seed conditioning system. G.W. Frasier and R.A. Evans (eds.), Seed and Seedbed Ecology of Rangeland Plants. USDA-ARS, Washington, 1987. pp. 278 - 282.

186. Скакун С. И., Жогова С. С., Скакун З. С. Машини и оборудование для предприятий АПК : практикум. Минск: БГЭУ, 2002. 275 с.

187. Повх Н. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1974. 480 с.

188. Погорелый Л. В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. К.: Техника, 1991. Изд. 2 –е, доп. 157 с.
189. Патрин В. А. Расчет траектории полета тела в воздушном потоке. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1971. №10. С. 44 - 48
190. Микроманометр жидкостный МКВ-250-0,02 URL: <http://ross.com.ru/mikromanometr-mkv-250>
191. До теорії розділення зерна в повітряному потоці / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, В. О. Швидя [та ін.]. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвідомч. наук. – техн. зб. / Кіровоградський національний технічний університет. Кіровоград, 2009. Вип. 39. С. 54 - 60.
192. Окунь Г.С., Чижиков А. Г. Тенденции развития технологии и технических средств сушки зерна : обзорная информация. М.: ВНИИТЭИ Агропром, 1987. 52 с.
193. Рогов И. А., Горбатов А. В. Физические методы обработки пищевых продуктов. М.: “Пищевая промышленность”, 1974. 583 с.
194. Таганов И. Н. Моделирование процессов массо- и энергопереноса. Л.: Химия, 1979. 204 с.
195. Котов В. В. Определение скорости движения зерна в воздушном потоке Технологии и средства механизации полеводства. Черноград, 2002. С. 137 - 140.
196. Кюрчев С. В., Колодий А. С. Методика исследования рациональной величины скорости воздушного потока в аспирационном канале. Актуальные проблемы научно - технического прогресса в АПК : сб. науч. ст. по материалам VIII Междунар. науч.-практ. конф. в рамках XX международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2013» (20 – 22 марта 2013 г., г. Ставрополь) / Ставропольский государственный аграрный университет; [редкол.: А. В. Орлянский, А. Н. Петенев, Н. Ю. Землянушнова]. Ставрополь: СтГАУ «АГРУС», 2013. С. 36 - 38.

197. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Методики дослідження раціонального діаметра патрубків постачання насіння всередині вертикального аспіраційного каналу та раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2013. Vol. 15. № 2. pp. 284 - 293.

198. Механизация послеуборочной обработки зерна: учеб. пособие / Макаров П.И., Юнусов Г.С, Казанков И.И. [и др.]; Марийский гос. ун-т. Йошкар - Ола, 2007. 284 с.

199. Теплотехника: учеб. для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт [и др.]; под ред. А. П. Баскакова. М.: Энергоиздат, 1982. 264с.

200. Бедин Ф. П., Балан Е. Ф., Чумак Н. И. Физиологические, теплофизические и транспортные свойства: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. «Технология хранения, переработки и консервирования плодов и овощей», «Технология хранения и переработки зерна». Одесса: Астропринт, 2002. 306 с.

201. Берлинер М. А. Измерения влажности. М. : Энергия, 1973. Изд. 2 – е, перераб. и доп. 400с.

202. Беспалова С. В., Гусев А. А. Математические модели биологических процессов : учеб. пособие / Донец. нац. ун-т. Донецк: Изд-во ДонНУ, 2000. 150 с.

203. ДСТУ 4117:2007. Зерно і продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії / Державний комітет стандартизації метрології та сертифікації України. К., 2007. 8 с.

204. ГОСТ 13586.1-68. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины. М.: Госстандарт, 1968. 4 с.

205. Дослідження процесу теплообміну при охолодженні шару зерна пшениці / В. Ф. Ялпачик, С. В. Кюрчев, М. І. Стручаєв, В. О. Верхованцева. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків : ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2015. Вип. 166. С. 50 - 56.

206. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Аналітичні засоби моделювання мікробіологічних та біохімічних процесів при зберіганні зернової маси. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т. 1. С. 3 - 8.
207. Барабашук В. И., Креденцер Б. П., Мирошниченко В. И. Планирование эксперимента в технике. К. : Техника, 1984. 200 с.
208. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. М.: Колос, 1973. Изд. 3 – е. 199 с.
209. Кюрчев С. В., Колодий А. С. Математическое описание поведения зерновок подсолнечника в воздушном потоке разделительных установок. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2015. Vol. 17. № 9. pp. 13 - 19.
210. Кюрчев С. В., Колодий О. С. Результати дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : зб. наук. праць. Мелітополь : ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т. 6. С. 204 - 212.
211. Кюрчев С. В., Колодий А. С. Результаты исследования разработанного сепаратора семя с вертикальным аспирационным каналом. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2014. Vol. 16. № 2. pp. 322 - 329.
212. Кюрчев С. В., Колодий О. С. Результати дослідження форми і параметрів живильно-розподільчого пристрою пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. Інженерія природокористування. 2016. №2(6). С. 52 - 57.
213. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Исследование рабочего процесса при вентилировании зерна в зернохранилище. EDUCATIO : науч. журнал / Международный научный институт «EDUCATIO». Новосибирск, 2015. №9 (16). С. 75 - 76.

214. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Визначення параметрів оптимізації процесу охолодження зерна. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Харків, 2015. Вип. 163. С. 228 - 239.

215. Карпов Б. А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна. М. : Агропромиздат, 1987. 288 с.

216. Гунько І. В., Спирін А. В., Холодюк О. В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. Вінниця : ВДАУ, 2006. 76 с.

217. Ялпачик Ф. Ю., Верхованцева В. О. Методика експериментальних досліджень у процесі охолодження пшениці. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки / за заг. ред. Г. М. Калетніка. Вінниця, 2015. Вип. 1 (89). Том 2. С. 159 - 163.

218. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на вологість зерна. Інноваційні технології в АПК: тези V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (травень 2015 р., м. Луцьк) / Луцький НТУ. Луцьк : РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 60 - 62.

219. Верхованцева В. О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на щільність пшениці. Сучасні технології харчових виробництв: тези доповідей I Міжнародної наук. - техн. конф. (26-27 березня 2015 р., м. Вінниця). Вінниця, 2015. С. 20 - 23.

220. Чижиков А. Г., Кабанов В. Ф. Теплофизические характеристики семян пшеницы. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1976. № 11. С. 18 - 20.

221. Тихонов Н. И., Беляков А. М. Хранение зерна: учеб. пособие каф. инновац. технологий. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2006. 108 с.

222. Боровиков В. П., Боровиков И. П. Statistica. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. М.: Филинь, 1997. 608 с.

223. Томашевский В. Н., Жданова Е. Г., Жолдаков А. А. Решение практических задач методами компьютерного моделирования. К.: Изд. "Корнійчук", 2001. 268 с.
224. Томашевський В. М. Моделювання систем. К.: Видавнича група ВНУ, 2005. 349 с.
225. Юкиш А. Е., Ильина О. И. Техника и технология хранения зерна. М.: Дели принт, 2009. 717 с.
226. Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. А. Исследования влияния условий хранения на изменения клейковины пшеницы. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2014. Вип. 14. Т. 4. С. 128 - 131.
227. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad: учебный курс. СПб: Питер, 2005. 448 с.
228. Процеси і апарати харчових виробництв / І. Ф. Малежик, П. С. Циганков, П. М. Немирович [та ін.]; за ред. І. Ф. Малежика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.
229. Пономаренко В. С. Моделювання дискретних процесів : навч. посібник. К.: ІСДО, 1993. 180 с.
230. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. М.: Альтекс - А, 2004. 384 с.
231. Михеев М. А. Основы теплопередачи. М.: Госэнергоиздат, 1956. 230 с.
232. Математическое моделирование процессов пищевых производств / Н. В. Остапчук, В. Д. Каминский, Г. Н. Станкевич [и др.]; под ред. Н. В. Остапчука. К.: Вища школа, 1992. 175 с.
233. ДСТУ ISO 21415-1:2009. Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Ч. 1. Визначення сирі клейковини ручним способом (ISO 21415-1:2006, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2011. 12 с.
234. Кирьянов Д. В. Mathcad 13. СПб: БХВ – Петербург, 2006. 608 с

235. ДСТУ ISO 21415-2:2009. Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Ч. 2. Визначання сирої клейковини механічним способом (ISO 21415-2:2006, IDT). К.: Держспоживстандарт України, 2011. 14 с.

236. ДСТУ 3768-2010. Пшениця. Технічні умови. К.: Держспоживстандарт України, 2010. 18 с.

237. Станкевич Г. М., Страхова Т. В., Атаназевич В. І. Сушіння зерна : підручник. К.: Либідь, 1997. 352 с.

238. Технологія зберігання і переробки сільськогосподарської продукції / А. Я. Маньківський, Л. Ф. Скалецька, Г. І. Подопретов, А. М. Сеньків. Ніжин : ВКП "Аспект", 1999. 384 с.

239. Трисвятский Л. А., Лесик Б. В., Курдина В. Н. Хранение и технология сельскохозяйственных продуктов. М.: Колос, 1975. Изд. 2 - е. 448с.

240. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Верхоланцева О. В. Визначення індексу деформації клейковини пшениці за допомогою програми MathCad . Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності : матеріали міжнар. наук. - практ. конф. (8-11 вересня 2015 р., м. Харків) / ХДУХТ. Харків, 2015. С. 345 - 346.

241. Kiurchev S., Vercholantseva V. Linear and nonlinear relationship of wheat storage characteristics. Canadian Scientific Journal. 2015. ISSUE 1. VOL. 2. pp. 10 - 15.

242. Бедин Ф. П., Балан Е. Ф., Чумак Н. И. Физиологические, теплофизические и транспортные свойства: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. «Технология хранения, переработки и консервирования плодов и овощей», «Технология хранения и переработки зерна». Одесса: Астропринт, 2002. 306 с.

243. Берлинер М. А. Измерения влажности. М.: Энергия, 1973. Изд. 2е, перераб. и доп. 400с.

244. Заяц Ю. А., Прохоров А. Н., Яров В. Л. Совершенствование технологических процессов в перерабатывающей промышленности. К.: Урожай, 1991. 191 с.

245. Куприн Я. Н. Технология переработки зерна. М.: Колос, 1977. 232 с.

246. Ялпачик В. Ф., Верхованцева О. В. Изменение влажности пшеницы при хранении в зернохранилище с применением охлаждения. Хранение и переработка зерна. 2014. №7(184). С. 43 - 45.

247. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження впливу коефіцієнта теплопровідності на вологість зернового матеріалу. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Харків, 2016. Вип. 179. С. 26 - 31.

248. Ганиев М. М., Недорезков В. Д., Шарипов Х. Г. Вредители и болезни зерна и зернопродуктов при хранении: учеб. пособие для студ. высших учебных заведений. М.: Колос, 2009. 208 с.

249. 321 Голик М. Г., Воронюк Н. Б. Влияние жизнеспособности зерна на его технологические свойства. М.: ЦИНТИ Госкомзага СССР, 1968. С.80 - 87.

250. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження ентальпії у процесі зберігання зернової маси із застосуванням охолодження. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук.праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 1. С. 62 - 67.

251. Закладной Г. А., Ротанова В. Ф. Вредители хлебных запасов и меры борьбы с ними. М.: Колос, 1973. 280 с.

252. Машины і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А. С. Кобець, Ю. О. Чурсінов, С. А. Черних [та ін.]. Дніпропетровськ: ДДАЕУ. 2014. 614 с.

253. Левченко Е. А. Влияние и количественный учет вредителей хранящегося зерна и продуктов его переработке. Вредители с.х. культур и лесных насаждений. К. : Урожай, 1989. Т. 3. С. 379 - 383.

254. Левченко Є. А. Шкідники зерна і сільськогосподарських продуктів: довідник із захисту рослин. К.: Урожай, 1999. С. 490 - 505.

255. Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на элеваторах и хлебоприемных предприятиях / под ред. В. Б. Фейденгольца. М.: ДеЛи-принт, 2007. 320 с.

256. Подпратов Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М. Зберігання і переробка продукції рослинництва. К.: Мета, 2002. 495 с.

257. Бутковский В. А., Мерко А. И., Мельников Е. М. Технологии зерноперерабатывающих производств. М.: Интеграф сервис, 1999. 472 с.

258. Соколов А. Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. М.: Колос, 1984. 234 с.

259. Соколов Е. А. Вредители запасов, их карантинное значение и меры борьбы / под общ.ред. с предисл. М. И. Маслова. Оренбург: Димур, 2004. 104с.

260. Тепло- и массообмен, теплотехнический эксперимент: справочник / под ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с.

261. Николаев Б. А. Измерение структурно - механических свойств пищевых продуктов. М.: Экономика, 1964. 224 с.

262. Рогов И. А., Горбатов А. В. Физические методы обработки пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1974. 583 с.

263. Гвоздєв В. О. Методологічні основи дослідження процесу змішування сипких компонентів. Праці Таврійської державної агротехнічної академії: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТА, 2006. Вип. 44. С. 54 - 58.

264. Голянд М. М., Малеванный Б. Н. Холодильное технологическое оборудование: учебник. М.: Пищевая промышленность, 1977. 335 с.

265. Баландина Г. А. и др. Микробиологические исследования пищевых продуктов. Холодильная техника. 1990. №12. С. 51 - 52.
266. Жвирблянская А. Ю., Бокушинская О. А. Микробиология в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1975. 501 с.
267. Мальцев П. М., Емельянова Н. А. Основы научных исследований. К. : Вища школа, 1982. - 192с.
268. Мармоза А. Т. Практикум по математической статистике. К.: Вища школа, 1990. - 191 с.
269. Томашевский В. Н., Жданова Е. Г., Жолдаков А. А. Решение практических задач методами компьютерного моделирования. К.: Изд. "Корнійчук", 2001. 268 с.
270. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Аналітичні засоби моделювання мікробіологічних та біохімічних процесів при зберіганні зернової маси. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2016. Вип. 16. Т. 1. С. 3 - 8.
271. Кюрчев С. В., Кюрчева Л. М., Верхованцева В. О. Визначення важливого фактора якості пшениці у процесі зберігання із застосуванням охолодження. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. н.пр. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 1. С. 20 - 28.
272. Smith C.V. Meterology and grain storage. World Meterol. Organ. Tech., 1969. Note 101. 65p.
273. Кюрчев С. В., Кюрчева Л. М., Колодій О. С. Результати впровадження пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук.праць. Мелітополь : ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 211 - 217.
274. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Разработка рекомендации по хранению пшеницы в зернохранилище. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук.праць. Мелітополь : ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 166 - 173.
275. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Економічна оцінка ефективності зберігання зерна із застосуванням охолодження.

Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК: матеріали V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (17-18 листопада 2016 р., м. Київ). / НУХТ. Київ, 2016. С. 90 - 92.

276. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Використання продукта зберігання у виробництві. Агроекологічні аспекти виробництва та переробки продукції сільського господарства: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (7-8 червня 2018 р., м. Мелітополь). Мелітополь – Кирилівка, 2018. С. 55 - 59.

277. Грещак М.Г., Коцюба О.С. Управління витратами: Навч.-метод. посібник для самот. вивч. дисц. К.: КНЕУ, 2002. 131 с.

278. Антонюк Р.Р. Прибутковість сільськогосподарських підприємств: природа категорії. URL: Режим доступу: [http://www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik\\_126/06.pdf](http://www.khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_126/06.pdf)

279. Гетьман О. О., Шаповал В. М. Економіка підприємства. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 488 с.

280. Сахацький М.П. Маркетинг: навчальний посібник. Одеса: Пальміра, 2008. 178 с.

281. Рудквист А.К. –В кн.: Механика и расчет машин вибрационного типа. М.: Наука, 1957. С. 80 - 89.

282. Сергеев Б.М. Расчет на прочность деталей машин пищевых производств. М.: Машиностроение, 1969. 144 с.

283. Шпилько А. В. Методы определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / Шпилько А. В. – М. : Минсельхозпрод РФ. Всеросс. науч.-исслед. ин-т экономики сельского хозяйства, 1998. 26 с.

284. Демчук Н. І., Кисельова М. С. Інвестиційне забезпечення сільськогосподарських підприємств. Агросвіт. 2016. № 24. С. 21 - 26.

285. Витрати та ефективність виробництва продукції в сільськогосподарських підприємствах (моніторинг) / Ю. П. Воскобійник, О.

Г. Шпикуляк, І. В. Камінський та ін.; за ред. Ю. П. Воскобійника. Київ: ННЦ “ІАЕ”, 2011. 356 с.

286. Кіндрацька Г.І., Білик М.С., Загородній А.Г. Економічний аналіз: теорія і практика. Львів: Магнолія 2006, 2008. 440 с.

287. Покропивний С.Ф. Економіка підприємства: підручник. К.: Наукова думка, 2000. 473 с.

288. Мельник Л.Ю. Фактори впливу на прибутковість аграрних підприємств. Економіка АПК. 2010. № 5. С. 79 - 85.

289. Бурлака Д.О. Формування механізму управління прибутком сільськогосподарських підприємств. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. №10. С. 97 - 101.

290. Вініченко І.І., Крючок С.І. Економічна стійкість підприємства та її складові. Агросвіт. 2016. № 24. С. 15 - 20.

291. Пехов В. А. Виробництво зерна та формування ефективності сільськогосподарських підприємств. Економіка АПК. 2016. № 8. С. 110 - 116.

292. Ялпачик В.Ф. Економічна оцінка ефективності використання способу охолодження зерна [Текст] / В.Ф. Ялпачик, О.В. Кравець, В.О. Верхованцева // Збірник наукових праць Одеської національної академії харчових технологій. Одеса: ОНАХТ, 2014. Вип. 45. Том 2. С. 199 - 202.

293. Бойчик І. М. Економіка підприємства: навчальний посібник. Київ: Атака, 2004. 480 с.

294. Пікус А. Ю. Сільське господарство України: тенденції та перспективи розвитку. Економіка. 2011. № 126. С. 51 - 55.

295. Бородіна Є.І. Фінанси підприємств: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ: Либідь, 2004. 324 с.

296. Андрійчук В.Г. Економіка аграрних підприємств: підручник. 2-ге вид., доп. і перероблене. Київ: КНЕУ, 2002. 624 с.

297. Лупенко Ю.О. Пріоритетні напрями інноваційної діяльності в аграрній сфері України. Економіка АПК. 2014. № 12. С. 5 - 11.

## ДОДАТКИ

**ДОДАТОК А**  
**Акти впровадження**

Затверджую:

Проректор з НТР

к.т.н., доц.  О.Н. Ломейко

«07» вересня 2018 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

**у навчальний процес кафедри обладнання переробних і харчових  
виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика  
Таврійського державного агротехнологічного університету**

За матеріалами наукових досліджень процесу, технології та обладнання для охолодження зерна, що отримані к.т.н., професором, завідувачем кафедрою технологією конструктивних матеріалів Кюрчевим С.В., та к.т.н., старшим викладачем кафедри обладнання переробних і харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика Верхоланцевою В.О., авторським колективом у складі:

завідувача кафедри обладнання  
переробних і харчових виробництв  
імені професора Ф.Ю. Ялпачика

Загорко Н.П.

к.т.н., професора, завідувача  
кафедри технології

конструктивних матеріалів

Кюрчева С.В.

к.т.н., старшого викладача кафедри  
обладнання переробних і харчових

виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика

Верхоланцевої В.О.

підготовлені навчально-методичні вказівки „Розрахунок розмірів складів для зберігання зерна“ для студентів спеціальності 133 „Галузеве машинобудування“ та курсу лекцій з дисципліни „Обладнання складів“.

Наукові результати представлені у посібнику рекомендованим для студентів навчальних закладів III і IV рівня акредитації для використання у навчальному процесі підготовки з дисципліни „Обладнання складів“.

Експериментальна установка для вивчення процесу охолодження зерна розроблена Кюрчевим С.В і Верхоланцевої В.О. використовується при виконанні курсових та дипломних робіт, пов'язаних зі зберіганням зернових культур, а також у науково-дослідній роботі студентів та аспірантів.

**Зав.кафедрою ОПХВ  
імені професора Ф.Ю.Ялпачика  
к.т.н., доцент**

**Провідний викладач  
к.т.н., старший викладач**


Н.П. Загорко

В.О. Верхоланцева

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

у навчальний процес кафедри технологій зберігання і переробки зерна  
інженерно-технологічного факультету  
Уманського національного університету садівництва

За результатами виконаної науково-дослідної роботи к.т.н., професора Кюрчева С.В. під керівництвом наукового консультанта д.т.н., професора Паламарчука І.П., яка проводилась у Таврійському державному агротехнологічному університеті, має практичну значимість і дозволяє підвищити вихід сільськогосподарських продуктів у процесі їх зберігання.

При реалізації сформованих принципів побудови теплоенергетичної системи зберігання рослинницької продукції на базі південного регіону України були обґрунтовані ефективні засоби механізації для її функціонування, розроблені схеми та моделі:

- віброхвильової терморадіаційної сушарки для обробки насіння олійних культур;
- зерносховищ з активним вентиляванням потоком холодоносія;
- віброаспіраційного сепаратора для обробки насіння олійних культур.

Мають місце у науково-дослідній роботі методики оцінки якості продукції з точки зору продовольчої безпеки (для виробництва на підприємствах та у господарствах), моделювання процесів на цих установках. Також наведені основні показники якості продукції до та після зберігання із застосуванням нових підходів у процесі зберігання, які можливо використовувати у навчальному процесі.

Даним актом підтверджується, що отримані від Таврійського державного агротехнологічного університету матеріали розробки і необхідна інформація стосовно запропонованих технологій сепарації, охолодження та сушки, які використовуються у навчальному процесі кафедрою технології зберігання і переробки зерна.

Проректор з наукової та інноваційної діяльності, д.с.-г.н., професор

В.П. Карпенко

Декан інженерно-технологічного факультету, к.т.н., доцент

О.С. Пушка

Зав. кафедри технології зберігання і переробки зерна, д.с.г. н., професор

Н.М. Осокіна

« 20 » 09 2018 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова правління

ПрАТ "ХМЗ"

М. І. Міщенко

« 27 » вересня 2018 р.

## АКТ

щодо використання результатів дисертаційних досліджень Кюрчева С.В.  
«Механіко-технологічне обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур»

Ми, представники ПрАТ "ХМЗ" в особі голови правління Міщенко М. І. – з однієї сторони та представники Таврійського ДАТУ в особі першого проректора Скляра О.Г. і проректора з наукової роботи Надикта В.Т. – з другої сторони, уклали цей акт щодо використання результатів дисертаційних досліджень кандидата технічних наук ТДАТУ Кюрчева С.В..

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також практичні рекомендації з ефективного застосування сушарки та віброаспіраційного сепаратора плануються використовуватися у майбутньому ПрАТ "ХМЗ".

Запропоновані Кюрчевим С.В. та реалізовані заводом рекомендації щодо ефективного використання сушарки і віброаспіраційного сепаратора створюють реальні передумови для їх просування на ринку сільськогосподарської техніки України.

На підставі результатів дисертаційного дослідження Кюрчева С.В. керівництвом ПрАТ "ХМЗ" розглядається можливість відкриття на заводі власного виробництва .

Голова правління

ПрАТ "ХМЗ"

М.І. Міщенко

Представники ТДАТУ

Перший проректор, к.т.н.,  
професор

О.Г. Скляр

Проректор з наукової роботи,  
д.т.н., професор

В.Т. Надикто

**АКТ**  
**прийому-передачі конструкторської документації**  
**для виготовлення засобів механізації післязбиральної**  
**обробки насіння олійних культур**

«05» грудня 2018 року

м. Карлівка

Ми, що нижче підписалися:

В.о. генерального директора ПАТ «Карлівський машинобудівний завод» Кузьменко О.О., з однієї сторони та проректор з наукової роботи ТДАТУ д.т.н., професор, член-кореспондент НААНУ Надикто В.Т., з другої сторони уклали даний акт про те, що у науково-дослідних лабораторіях механіко-технологічного факультету ТДАТУ за результатами наукових досліджень завідувача кафедри технології конструкційних матеріалів к.т.н. Кюрчева С.В. розроблено та передано підприємству ПАТ «Карлівський машинобудівний завод» конструкторську документацію на такі машини:

1. Конвеєрна інфрачервона сушарка з віброхвильовим рушієм для обробки насіння олійних культур.
2. Віброаспіраційний сепаратор ВАС-7 для фракціонування насіння олійних культур.

Вказану конструкторську документацію ПАТ «Карлівський машинобудівний завод» розглядає, як можливість використовувати для випуску дослідних груп вказаних машин у 2019-2020 роках.

Сторони домовились, що не будуть мати взаємних претензій щодо використання зазначених документів, авторських чи суміжних прав на зазначені розробки, вимагати грошових сплат за використання документації або дослідних груп вказаних машин, вимагати повернення зазначеної конструкторської документації, вимагати надання висновків про можливість випуску дослідних груп зазначених машин або відмови у випуску.

В разі визначення можливості випуску дослідних груп зазначених машин укладається договір про наукову співпрацю.

В.о. генерального  
директора ПАТ  
«Карлівський  
машинобудівний завод»  
О.О. Кузьменко



Проректор з наукової роботи  
ТДАТУ д.т.н., професор,  
член-кореспондент НААНУ

В.Т. Надикто

## ДОГОВІР ПРО НАДАННЯ ПОСЛУГ

м. Мелітополь

«25» квітня 2016 р.

**Громадянин України Кюрчев Сергій Володимирович**, іменованій у подальшому "Замовник", з однієї сторони, та

**Товариство з обмеженою відповідальністю « Мелітопольський завод турбокомпресорів»** в особі директора Овчаренка Володимира Геннадійовича, який діє на підставі статуту, іменованій у подальшому «Виконавець» з іншої сторони, (в подальшому разом іменуються «Сторони», а кожна окремо – «Сторона») уклали цей Договір про надання послуг (надалі іменується «Договір») про наступне:

### 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1. В порядку та на умовах, визначених цим Договором, Виконавець зобов'язується на свій ризик виконати роботу за завданням Замовника, а саме виготовлення промислових зразків віброаспіраційного сепаратора у кількості 4 шт., надалі іменується «Товар»), а Замовник зобов'язується прийняти та оплатити виконану роботу.

### 2. ПОРЯДОК І СТРОКИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

- 2.1. Виготовлення промислових зразків віброаспіраційного сепаратора Виконавець виконує на підставі заявки, наданої Замовником з вказаної кількості.
- 2.2. Замовник отримує замовлення зі складу Виконавця на підставі накладної.
- 2.3. Виконавець складає та надає Замовнику акт приймання – передачі виконаних робіт, протягом 5-и робочих днів після виготовлення Товару.
- 2.4. Підставою для початку робіт є надходження на рахунок Виконавця коштів від Замовника згідно рахунку.

### 3. РОЗРАХУНКИ І ПОРЯДОК ОПЛАТИ

- 3.1. Вартість виконаних робіт складається з відшкодування витрат та оплати за виконану роботу.
- 3.2. Замовник здійснює 50 % передоплату суми згідно наданого рахунку протягом 2 (двох) банківських днів.
- 3.3. Останні 50% суми Замовник перераховує на рахунок Виконавця після повідомлення про виготовлення промислових зразків віброаспіраційного сепаратора протягом 2 (двох) банківських днів.
- 3.4. За домовленістю Сторін розрахунки і порядок оплати може бути змінено.

### 4. ВІДПУСКУ І ПРИЙМАННЯ ТОВАРУ

- 4.1. Виконавець надсилає Товар Замовнику протягом п'яти днів після дати зарахування на розрахунковий рахунок Виконавця 100% оплати за Товар .
- 4.2. Поставка Товару Замовнику Виконавець здійснює будь яким перевізником з м. Мелітополь, попередньо узгодив з замовником місце та час отримання Товару.
- 4.3. Приймання Товару по якості, комплектності та кількістю здійснюється Замовником у момент його отримання за накладною від Виконавця.
- 4.4. Право власності на Товар і всі ризики за нього переходять безпосередньо від Виконавця до Замовника з моменту приймання Товару.

### 5. ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ СТОРІН ЗА ПОРУШЕННЯ ДОГОВОРУ

- 5.1. У випадку порушення Договору Сторона несе відповідальність, визначену цим Договором та (або) чинним законодавством України.
- 5.2. Порушенням Договору є його невиконання або неналежне виконання, тобто виконання з порушенням умов, визначених змістом цього Договору.

5.3. Сторона не несе відповідальності за порушення Договору, якщо воно сталося не з її вини (умислу чи необережності).

5.4. Сторона вважається невинуватою і не несе відповідальності за порушення Договору, якщо вона доведе, що вжила всіх залежних від неї заходів щодо належного виконання цього Договору.

## 6. ВИРІШЕННЯ СПОРІВ

6.1. Усі спори, що виникають з цього Договору або пов'язані із ним, вирішуються шляхом переговорів між Сторонами.

6.2. Якщо відповідний спір неможливо вирішити шляхом переговорів, він вирішується в судовому порядку за встановленою підвідомчістю та підсудністю такого спору відповідно до чинного законодавства України.

## 7. ДІЯ ДОГОВОРУ

7.1. Цей Договір вважається укладеним і набирає чинності з моменту його підписання Сторонами.

7.2. Строк цього Договору починає свій перебіг у момент, визначений у п. 7.1 цього Договору та закінчується "31" грудня 2016 р.

7.3. Закінчення строку цього Договору не звільняє Сторони від відповідальності за його порушення, яке мало місце під час дії цього Договору.

7.4. Якщо інше прямо не передбачено цим Договором або чинним законодавством України, зміни у цей Договір можуть бути внесені тільки за домовленістю Сторін, яка оформлюється додатковою угодою до цього Договору.

7.5. Зміни у цей Договір набирають чинності з моменту належного оформлення Сторонами відповідної додаткової угоди до цього Договору, якщо інше не встановлено у самій додатковій угоді, цьому Договорі або у чинному законодавстві України.

7.6. Якщо інше прямо не передбачено цим Договором або чинним законодавством України, цей Договір може бути розірваний тільки за домовленістю Сторін, яка оформлюється додатковою угодою до цього Договору.

7.7. Цей Договір вважається розірваним з моменту належного оформлення Сторонами відповідної додаткової угоди до цього Договору, якщо інше не встановлено у самій додатковій угоді, цьому Договорі або у чинному законодавстві України.

## 8. ПРИКІНЦЕВІ ПОЛОЖЕННЯ

8.1. Усі правовідносини, що виникають з цього Договору або пов'язані із ним, у тому числі пов'язані із дійсністю, укладенням, виконанням, зміною та припиненням цього Договору, тлумаченням його умов, визначенням наслідків недійсності або порушення Договору, регулюються цим Договором та відповідними нормами чинного законодавства України, а також звичаями ділового обороту, які застосовуються до таких правовідносин на підставі принципів добросовісності, розумності та справедливості.

8.2. Після підписання цього Договору всі попередні переговори за ним, 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, але можуть враховуватися при тлумаченні умов цього Договору.

8.3. Сторони несуть повну відповідальність за правильність вказаних ними у цьому Договорі реквізитів та зобов'язуються своєчасно у письмовій формі повідомляти іншу Сторону про їх зміну, а у разі неповідомлення несуть ризик настання пов'язаних із ним несприятливих наслідків.

8.4. Відступлення права вимоги та (або) переведення боргу за цим Договором однією із Сторін до третіх осіб допускається виключно за умови письмового погодження цього із іншою Стороною.

8.5. Додаткові угоди та додатки до цього Договору є його невід'ємною частиною і мають юридичну силу у разі, якщо вони викладені у письмовій формі, підписані Сторонами та скріплені їх печатками.

8.6. Всі виправлення за текстом цього Договору мають юридичну силу та можуть враховуватися виключно за умови, що вони у кожному окремому випадку датовані, засвідчені підписами Сторін та скріплені їх печатками.

8.7. Цей Договір складений при повному розумінні Сторонами його умов та термінології українською мовою у двох автентичних примірниках, які мають однакову юридичну силу, по одному для кожної із Сторін.

#### МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ І РЕКВІЗИТИ СТОРІН

##### ЗАМОВНИК

**Громадянин України Кюрчев Сергій  
Володимирович**  
72318, Україна, Запорізька область,  
м. Мелітополь, вул. Калініна, буд.271/2  
ПІН 2824109678  
тел. 067 617 42 17



---

##### ВИКОНАВЕЦЬ

**ТОВ «МЕЛІТОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОД  
ТУРБОКОМПРЕСОРИВ»**  
72311, Україна, Запорізька обл.,  
м. Мелітополь, Каховське шосе,3/7  
Код ЄДРПОУ:34667488;  
ПІН: 346674808322;  
Свідоцтво платника ПДВ №100262787  
п/р.: 26002701312343  
в АТ «ОТП Банк»  
МФО: 300528  
Тел. +38(0619) 42-96-19; 42-96-13

Директор  /Овчаренко В.Г./



АКТ  
приймання – передачі виконаних робіт

м. Мелітополь

«30» травня 2016 р.

**Громадянин України Кюрчев Сергій В.**, іменованій у подальшому "Замовник", з однієї сторони, та

**Товариство з обмеженою відповідальністю « Мелітопольський завод турбокомпресорів»** в особі директора Овчаренка Володимира Геннадійовича, який діє на підставі статуту, іменованій у подальшому «Виконавець» з іншої сторони, (в подальшому разом іменуються «Сторони» склали цей Акт про те що виконавцем були виконані роботи з виготовлення промислових зразків віброаспіраційного сепаратора у кількості 4 шт.,

Зразки віброаспіраційного сепаратора повністю відповідають параметрам Замовника, а саме:

- Висота аспіраційного каналу 0,8 м.;
- Діаметр живильного патрубку 20 – 40 мм.;
- Діаметр розподільника 40 – 50 мм.;
- Діаметр патрубка для відбору важкого насіння 80 мм.;
- Діаметр патрубка для відбору середнього насіння 200 мм.;
- Діаметр аспіраційного каналу 200 мм.

Замовник претензій по кількості, якості та строкам виконання робіт не має.

Виконавець



Замовник

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор, Председатель  
 правління  
 ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
 "ГІДРОСИЛА МЗТГ"

Сидорчук І.Я.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Кюрчев С.В.

місце складання: вул.Індустріальна, дом № 59, м.Мелітополь

**АКТ здачі-приймання робіт № 159 від 11 травня 2017р.**

Ми, що нижче підписалися, представники Замовника Кюрчев С.В., з одного боку, і представник Виконавця ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ГІДРОСИЛА МЗТГ" Сидорчук І.Я., з іншого боку, склали цей акт про те, що на підставі представлених наукових досліджень:

Виконавцем були виконані наступні роботи (надані такі послуги):

Виготовлення дослідних зразків в кількості 10 шт. розміром 5000x3000x3, боковими бортами під кутом 90° розміром 5000x400x3 з вісьма отворами ф200мм з міжосьовою відстанню 555мм.  
 Матеріал дослідних зразків: прокат тонколистовий з низьковуглеродистої сталі ДСТУ 9045-80.

Замовник претензій по об'єму, якості та строкам виконання робіт (надання послуг) не має.

Від Виконавця

11.05.2017р.  
 ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
 "ГІДРОСИЛА МЗТГ",  
 код за ЄДРПОУ 00235814, тел.: (0619) 42-21-  
 09,  
 ІПН002358108328, № свід. 100335435,  
 р/р 26008420453, у банку АТ "РАЙФФАЙЗЕН  
 БАНК АВАЛЬ", м.Київ, МФО 380805,  
 вул.Індустріальна, буд.№ 59, м.Мелітополь,  
 Запорізька обл., 72316,  
 Є платником податку на прибуток на  
 загальних підставах

Від Замовника

11.05.2017р.  
 Кюрчев С.В.  
 ІПН 2824109678

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор-Голова  
 правління  
 ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
 "ГІДРОСИЛА МЗТГ"

Сидорчук І.Я.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Кюрчев С.В.

місце складання: вул.Індустріальна, дом № 59, м.Мелітополь

**АКТ здачі-приймання робіт № 158 від 21 квітня 2017р.**

Ми, що нижче підписалися, представники Замовника Кюрчев С.В., з одного боку, і представник Виконавця ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ГІДРОСИЛА МЗТГ" Сидорчук І.Я., з іншого боку, склали цей акт про те, що на підставі представлених дисертаційних досліджень:

Виконавцем були виконані наступні роботи (надані такі послуги):

Виготовлення промислових зразків в кількості 2 шт. з наступними технічними характеристиками:

Потужність- 3,6кВт;

Продуктивність - 160 кг/год;

2 вальця;

2 ексцентрикових вала;

3 випромінювача -800Вт.

Термостійка стрічка має такі габаритні розміри:

Ширина - 0,2м;

Довжина- 2,0 м.

Замовник претензій по об'єму, якості та строкам виконання робіт (надання послуг) не має.

Від Виконавця

21.04.2017р.

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
 "ГІДРОСИЛА МЗТГ",  
 код за ЄДРПОУ 00235814, тел.: (0619) 42-21-  
 09,  
 ІПН002358108328, № свід. 100335435,  
 р/р 26008420453, у банку АТ "РАЙФФАЙЗЕН  
 БАНК АВАЛЬ", м.Київ, МФО 380805,  
 вул.Індустріальна, буд.№ 59, м.Мелітополь,  
 Запорізька обл., 72316,  
 Є платником податку на прибуток на  
 загальних підставах

Від Замовника

21.04.2017р.

Кюрчев С.В.  
 ІПН 2824109678

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор  
ТОВ "Гідросила-Тетіс"

Дяченко С. В.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Кюрчев С.В.

місце складання: вул.Індустріальна, дом № 59, м.Мелітополь

**АКТ надання послуг****№ 200118 від " 15 " травня 2017 р.**

Ми, що нижче підписалися, представники Замовника Кюрчев С.В. , з одного боку, і представник Виконавця ТОВ "Гідросила-Тетіс" Генеральний директор Дяченко Сергій Вікторович , з іншого боку, склали цей акт про те, що на підставі наведених документів:

Виконавцем були виконані наступні роботи (надані такі послуги):

№	Найменування робіт, послуг	Кіль-ть	Од.	Ціна без ПДВ	Сума без ПДВ
1	Виготовлення промислових зразків металевих піддонів 5000X3000x3 з вісім'ю отворами діаметром 200 мм (матеріал - прокат тонколистової з низьковуглеродистої сталі	10	шт.		

Підстава:

На підставі листа про виконання послуг на безоплатній основі (надання благодійної допомоги) від 02.01.2017р.

Замовник претензій по об'єму, якості та строкам виконання робіт (надання послуг) не має.

Від Виконавця

ТОВ "Гідросила-Тетіс"  
код за ЄДРПОУ 35432630, тел.: (0619) 426966  
425139,ІПН354326308329, № свід. 100107961,  
р/р 26008138916, у банку ВАТ "Райффайзен  
Банк Аваль" м. Київ, МФО 380805,  
72316, Запорізька обл., м. Мелітополь, вул.  
Індустріальна, будинок № 59,  
Є платником податку на прибуток на загальних

Від Замовника

Кюрчев С.В. Запорізька обл.,  
м.Мелітополь, ул. Калініна, 271/2 ІПН  
2824109678 паспорт сер. СА № 200622

## Акт

впровадження науково – дослідної роботи

м. Мелітополь

04 квітня 2016 року

Завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів Таврійського державного агротехнологічного університету к.т.н. Кюрчев С.В. з однієї сторони та товариство з обмеженою відповідальністю «МПП-Агро» з другої сторони, склали акт про те, що в результаті науково-дослідної роботи «Механіко-технологічне обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання зернової продукції» було передано технічну документацію на виготовлення 4 промислових зразків віброаспіраційного сепаратора.

Матеріали досліджень надані у технічному завданні – робочих кресленнях, технологічній та кінематичній схемах, а також параметрах і режимах роботи віброаспіраційного сепаратора.

К.т.н., завідувача кафедри «технологія  
конструкційних матеріалів»

Таврійського державного  
агротехнологічного університету

Товариство з обмеженою відповідальністю  
«МПП-Агро»

Фінансовий директор



Кюрчев С.В.



А.О.Берсін

**ПОГОДЖЕНО:**

Перший проректор Таврійського  
державного агротехнологічного  
університету

к.т.н., професор

О.Г. Скляр

2016 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Голова СФГ «ВІТА»



О.В. Чкан

2016 р.

**АКТ**

**виробничого випробування віброаспіраційного сепаратора  
(марка ВАС – 7)**

**1. Місце проведення впровадження:**

Запорізька обл., Якимівський р – н, с. Ленінське  
Селянське (фермерське) господарство «ВІТА» (СФГ «ВІТА»).

**2. Відповідальні за проведення впровадження:**

Головний інженер СФГ «ВІТА» О.М. Чиж, завідувач кафедри  
технології конструкційних матеріалів Таврійського державного  
агротехнологічного університету Кюрчев С.В.

**3. Вид впровадження:**

Віброаспіраційний сепаратор (ВАС – 7) для сепарації соняшника.

**4. Строки проведення виробничої перевірки:** вересень 2016р.**5. Методика впровадження:**

Визначення експлуатаційно-технологічних показників сепаратора  
(ВАС – 7) та аналіз отриманих експериментальних даних у ході  
роботи.

**6. Результати виробничої перевірки:**

В цілому, виробничі випробування підтвердили технічну  
здійсненність і техніко-економічну доцільність застосування  
віброаспіраційного сепаратора (ВАС – 7).


**Представники ТДАТУ**

Завідувач кафедри технології  
конструкційних матеріалів

 С.В. Кюрчев

**Представники СФГ «ВІТА»**

Голова  
 О.В. Чкан

Головний інженер  
 О.М. Чиж

**ПОГОДЖЕНО:**

Проректор з наукової роботи  
Таврійського державного  
агротехнологічного

університету

Д.Т.н., професор

*В.Т. Надикто*

2017 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Директор товариства з обмеженою  
відповідальністю "СПП Лана"

*А.Л. Тамаркова*

2017 р.

**АКТ**

**виробничого впровадження  
віброаспіраційного сепаратора (ВАС -7)**

Комісія у складі голови ТОВ "СПП Лана" *Тамаркової А.Л.*, головного інженера *Шепеля Є.В.* з однієї сторони та представника Таврійського державного агротехнологічного університету завідувача кафедри технології конструкційних матеріалів (ТКМ) *Кюрчева С.В.* з іншої сторони, склали акт про те, що на ТОВ "СПП Лана" були проведені експериментальні дослідження віброаспіраційного сепаратора (ВАС -7).

За результатами цих досліджень виявили, що раціональне значення відсотку важкої фракції в умовах віброаспіраційної сепарації дорівнює 91% за таких параметрів процесу фракціонування: при швидкості сходу насіння 0,85 м/с, куту уведення насіння до розподільника 31 град., швидкості повітряного потоку 5,9 м/с, куту поворота аспіраційного каналу 284 град., висоті парусного елемента 10,5 мм.

Дані результати виконаної науково-дослідної роботи мають практичну значимість та дозволяють підвищити ефективність сепарації насіння у віброаспіраційному сепараторі.

**Відповідальні виконавці впровадження:**

Директор

*А.Л. Тамаркова*

Головний інженер

*Є.В. Шепель*

Завідувач кафедри ТКМ

*С.В. Кюрчев*

**ПОГОДЖЕНО:**

Перший проректор Таврійського  
державного агротехнологічного  
університету

к.т.н., професор

О.І. Склад

2018 р.

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Директор товариства з обмеженою  
відповідальністю "СПП Лана"



А.Л. Тамаркова

2018 р.

**АКТ**

**впровадження науково-технічної розробки  
у товариство з обмеженою відповідальністю "СПП Лана"  
за результатами науково-дослідної роботи Кюрчева С.В.**

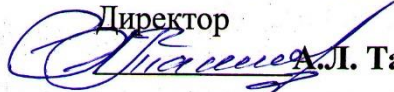
Комісія у складі директора ТОВ "СПП Лана" Тамаркової А.Л., головного інженера Шепеля Є.В. з однієї сторони та представника Таврійського державного агротехнологічного університету завідувача кафедри технології конструкційних матеріалів (ТКМ) Кюрчева С.В. з іншої сторони, склали акт про те, що в ТОВ "СПП Лана" отримано від ТДАТУ матеріали розробки і досліджень сховища для зберігання сільськогосподарської продукції із застосуванням охолодження.

У ході роботи використовували пшеницю (сорт: Шестопалівка) вирощену в Запорізькій області. Були обґрунтовані наступні режимні параметри низькотемпературної консервації її потоком холодоносія: найбільш сприятливим терміном зберігання зернової сировини є 24 тижня при температурі від 9,0<sup>0</sup>С...9,5<sup>0</sup>С, вміст клейковини при цьому складе 28,1%; показник індексу деформації клейковини становить 65% , що знаходиться в діапазоні початкових значень перед її закладкою на зберігання, та є ефективним для застосування у товаристві.

**Відповідальні виконавці впровадження:**

Від ТОВ "СПП Лана"

Директор

 А.Л. Тамаркова

Головний інженер

 Є.В. Шепель

Завідувач кафедри ТКМ

 С.В. Кюрчев

Завідувач кафедри ТКМ

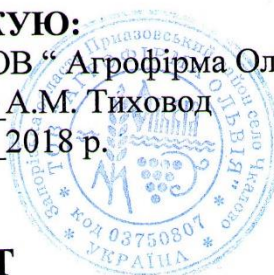
 С.В. Кюрчев

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Директор ТОВ "Агрофірма Ольвія"

*А.М. Тиховод* А.М. Тиховод

*5.02* 2018 р.



## АКТ

### впровадження науково-технічної розробки Кюрчева С.В.

Комісія у складі директора ТОВ "Агрофірма Ольвія" Тиховода А.М., головного інженера Цахно В.М. з однієї сторони та представника Таврійського державного агротехнологічного університету завідувача кафедри технології конструкційних матеріалів (ТКМ) Кюрчева С.В. з іншої сторони, склали акт про те, що в ТОВ "Агрофірма Ольвія" отримало від Кюрчева С.В. матеріали розробки і досліджень сховища для зберігання сільськогосподарської продукції із застосуванням охолодження.

#### **1. Об'єкт випробування**

Дослідження технології охолодження зернової маси, а саме пшениці у процесі зберігання.

#### **2. Мета випробувань.**

Провести дослідження технології охолодження зернової маси із застосуванням запропонованого зерносховища у процесі зберігання.

#### **3. Сутність процесу.**

Одним з основних напрямків розвитку харчової промисловості є створення високоефективних екологічно безпечних технологій продуктів харчування із зернової сировини з якісною харчовою і біологічною цінністю.

Зараз особливо значущі засоби механізації зерносховищ, які скорочують фізичні затрати. У практиці зберігання зерна погана теплопровідність зернової маси і насіння дозволяє тривалий час зберігати їх в охоложеному стані, а холод - дешевий і незамінний консервант будь-якої сільськогосподарської продукції.

Збереження природних достоїнств зерна, продуктів його переробки, розміри втрат при зберіганні залежать від наукового обґрунтування технології післязбиральної обробки продукції та її зберігання.

При зберіганні сільськогосподарської продукції протікають фізіологічні, біохімічні та мікробіологічні процеси, які необхідно вивчати.

Виходячи з самої природи зерна та можливих втрат врожаю виникає необхідність у захисті його від активного впливу факторів абіотичного середовища, а також у створенні таких умов протягом зберігання, які б попереджували інтенсивний обмін речовин у клітинах зерна.

#### **4. Проведення випробувань.**

Велика кількість факторів і складність процесів, що відбуваються при охолодженні пшениці не дозволяють побудувати прості придатні для практичного застосування фізичні моделі, тому для проведення досліджень були використанні методи математичного планування експерименту.

Був проведений порівняльний аналіз експлуатаційних показників роботи існуючих зерносховищ у товаристві з обмеженою відповідальністю “Агрофірма Ольвія” та розробленого зерносховища із застосуванням охолодження у процесі зберігання.

#### **5. Результати випробувань.**

Завдяки запропонованій технології вдалося зменшити втрати пшениці у процесі зберігання, а саме зберігти 2 клас пшениці після 6 місяців.

За допомогою пристрою Буча була утворена хвиля (енергія хвиля складала 2 кДж, тиск повітря від 4...8 бар), що дозволяє зворушувати зернову масу, та покращити процес зберігання із застосуванням охолодження.

З точки зору економічних затрат, то строк окупності даного зерносховища становить 1,04 року.

Вважати за доцільне продовження роботи з вдосконалення зерносховища із застосуванням охолодження.

#### **Члени комісії:**


Директор

 А.М. Тиховод

Головний інженер

 В.М. Цахно

Завідувач кафедри ТКМ

 С.В. Кюрчев

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**  
Директор ТОВ "Агрофірма Ольвія"

*А.М. Тиховод*  
А.М. Тиховод

*12.11* 2018 р.



**АКТ**

**виробничого випробування  
науково-технічної розробки Кюрчева С.В.**

Комісія у складі директора ТОВ "Агрофірма Ольвія" Тиховода А.М., головного інженера Цахно В.М. з однієї сторони та представника Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП): доктора технічних наук, професора кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК Паламарчука І.П. і представника Таврійського державного агротехнологічного університету завідувача кафедри технології конструкційних матеріалів(ТКМ) Кюрчева С.В. з іншої сторони, склали акт про проведення експериментальних досліджень розробленої віброконвеєрної інфрачервоної сушарки у ТОВ "Агрофірма Ольвія".

За результатами досліджень процесу інфрачервоного сушіння сої раціональний діапазон швидкості її транспортування становить 0,15...0,40 см/с. Підвищення цього параметра у вказаних межах збільшує час настання етапу сушіння сої майже у 2,1рази (з 205с до 520с), стабілізуючи його на рівні 520с. Причому швидкість терморадійного сушіння насіння цієї культури за режиму її транспортування 0,15 см/с на 12...13% вища, ніж за швидкістю переміщення 0,4 см/с і більше.

Результати виконаної науково-дослідної роботи мають практичну значимість та дозволяють підвищити ефективність сушки зернової та олієвмісної продукції.

**Від ТОВ "Агрофірма Ольвія"**

Директор

*А.М. Тиховод*  
А.М. Тиховод

Головний інженер

*В.М. Цахно*  
В.М. Цахно

**Від НУБіП і ТДАТУ**

д.т.н., професор

*І.П. Паламарчук*  
І.П. Паламарчук

Завідувач кафедри ТКМ

*С.В. Кюрчев*  
С.В. Кюрчев

## **ДОДАТОК Б**

**Патенти на корисну модель**



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 86300

АЕРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.12.2013.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

М.В. Ковіня



(11) **86300**(19) **UA**(51) МПК  
**B07B 1/28 (2006.01)**(21) Номер заявки: **u 2013 07937**(22) Дата подання заявки: **21.06.2013**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.12.2013**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.12.2013, Бюл. № 24**(72) Винахідники:  
**Кюрчев Сергій  
Володимирович, UA,  
Колодій Олександр  
Сергійович, UA**(73) Власник:  
**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
пр. Б. Хмельницького, 18, м.  
Мелітополь, Запорізька обл.,  
72312, UA**

(54) Назва корисної моделі:

**АЕРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

(57) Формула корисної моделі:

Аеродинамічний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, який відрізняється тим, що в нижній частині аспіраційного каналу встановлені три розподілювачі, які розміщені під кутами 90° відносно один одного і виконані з різними діаметрами патрубків.

(11) 86300

Пронумеровано, прошито металевими  
люверсами та скріплено печаткою  
2 арк.  
25.12.2013



Уповноважена особа

(підпис)



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **86300** (13) **U**

(51) МПК  
**B07B 1/28** (2006.01)

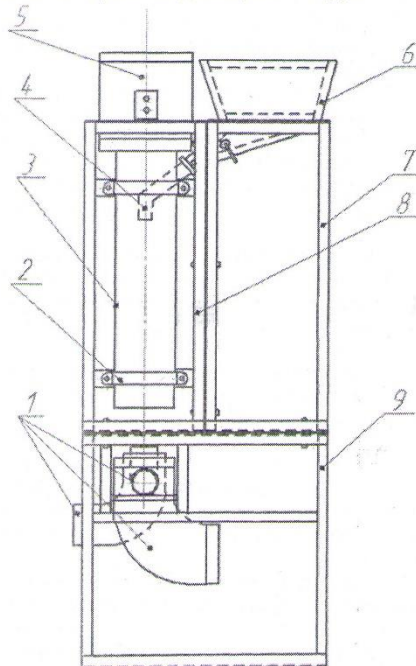
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2013 07937</b>	(72) Винахідник(и): <b>Кюрчев Сергій Володимирович (UA), Колодій Олександр Сергійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>21.06.2013</b>	(73) Власник(и): <b>ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.12.2013</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.12.2013, Бюл.№ 24</b>	

**(54) АЕРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

**(57) Реферат:**

Аеродинамічний сепаратор для насіння містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор. В нижній частині аспіраційного каналу встановлені три розподілювачі, які розміщені під кутами 90° відносно один одного і виконані з різними діаметрами патрубків.



UA 86300 U



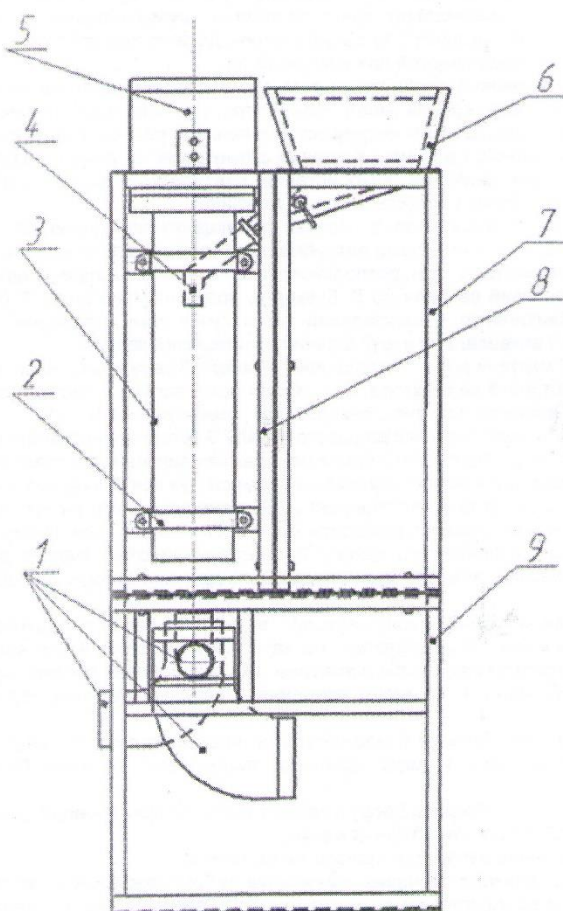
UA 86300 U

Насіння має різну форму, в результаті чого, при падінні у вертикальному потоці, останній розщеплює вертикальну траєкторію падаючих насінин і вони розсіюються в залежності від питомої маси.

- 5 Питомо важке насіння практично не змінює своєї траєкторії руху, тому падає у горизонтальному напрямку практично в місці випадання, в результаті чого, потрапляє в бункер фракції I.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 10 Аеродинамічний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, який відрізняється тим, що в нижній частині аспіраційного каналу встановлені три розподільвачі, які розміщені під кутами  $90^\circ$  відносно один одного і виконані з різними діаметрами патрубків.



Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



(11) **102657**(19) **UA**(51) **МПК (2015.01)  
B07B 1/00**(21) Номер заявки: **u 2015 04895**(22) Дата подання заявки: **19.05.2015**(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну модель: **10.11.2015**(46) Дата публікації відомостей  
про видачу патенту та  
номер бюлетеня: **10.11.2015,  
Бюл. № 21**

(72) Винахідники:

**Кюрчев Сергій  
Володимирович, UA,  
Малкіна Віра Михайлівна,  
UA,  
Колодій Олександр  
Сергійович, UA**

(73) Власник:

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
пр. Б. Хмельницького, 18, м.  
Мелітополь, Запорізька обл.,  
72312, UA**

(54) Назва корисної моделі:

**АЕРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

(57) Формула корисної моделі:

Аеродинамічний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, три розподільвача, який відрізняється тим, що в аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, а над вентилятором встановлений кожух.

(11) 102657

Пронумеровано, прошито металевими  
люверсами та скріплено печаткою  
2 арк.  
10.11.2015



Уповноважена особа

(підпис)



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102657** (13) **U**  
(51) МПК (2015.01)  
**B07B 1/00**

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2015 04895</b>	(72) Винахідник(и): <b>Кюрчев Сергій Володимирович (UA), Малкіна Віра Михайлівна (UA), Колодій Олександр Сергійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>19.05.2015</b>	(73) Власник(и): <b>ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.11.2015</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.11.2015, Бюл.№ 21</b>	

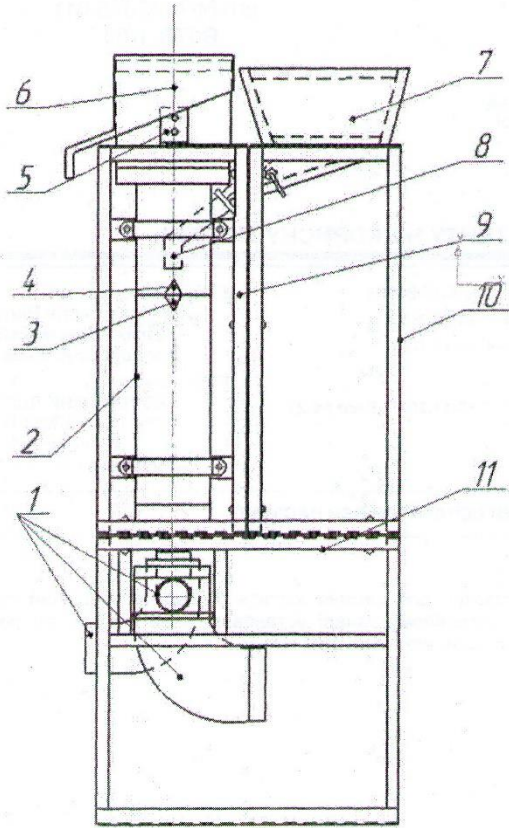
**(54) АЕРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

**(57) Реферат:**

Аеродинамічний сепаратор для насіння містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, три розподілювача. В аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, а над вентилятором встановлений кожух.

**UA 102657 U**

UA 102657 U



UA 102657 U

Корисна модель належить до галузі сільського господарства, а саме до пристроїв, що сепарують насіння під дією повітряного потоку.

5 За прототип вибраний аеродинамічний сепаратор для насіння, який включає бункер, аспіраційний канал, вентилятор, раму, на якій розміщені розподільвачі. (Патент на корисну модель № 86300 публ.: 25.12.2013, Бюл. № 24).

Недоліком сепаратора є неякісне сепарування насіння та втрата найбільш легких насінин.

10 В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення аеродинамічного сепаратора для насіння, в якому шляхом модернізації конструктивно-технологічної схеми, основаної на новій сукупності конструктивних елементів, їх взаємному розташуванні і наявності зв'язків між ними, забезпечується максимальна конструктивна і функціональна взаємозамінність складових частин конструкції - модулів і, за рахунок цього, досягається підвищення якості насіння.

15 Поставлена задача вирішується тим, що в аеродинамічному сепараторі для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, згідно з корисною моделлю, в аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, що підвищує якість сепарації насіння.

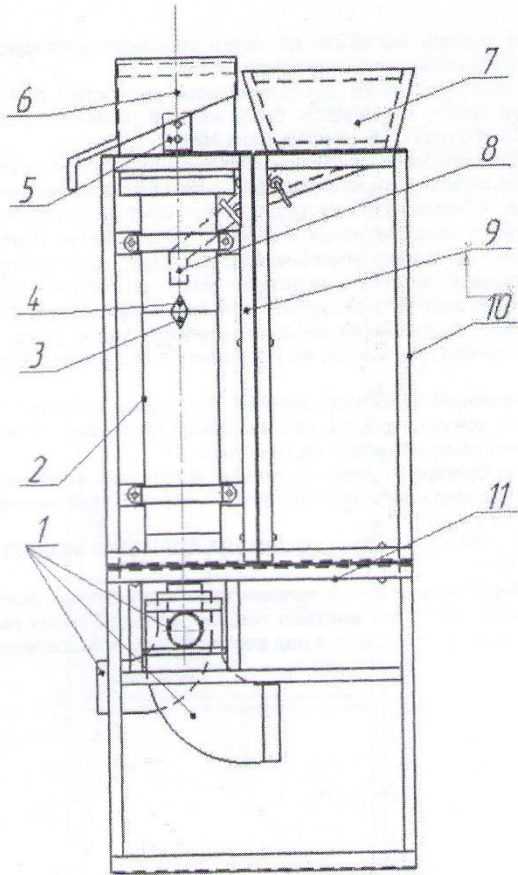
Аеродинамічний сепаратор включає три розподільвача 1, аспіраційний канал 2, бункер 7, вентилятор 5, кожух 6, конус 4, та розміщений проти конус 3, живильник 8, ліва частина рами 9, права частина рами 10, нижня частина рами 11.

20 Насіння із бункера 7, через живильник 8, попадає на конус 4, після проходження по конусу насіння розщеплюється зустрічним потоком повітря, який виникає при роботі вентилятора 5.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

25 Аеродинамічний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, три розподільвача, який відрізняється тим, що в аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, а над вентилятором встановлений кожух.

UA 102657 U



---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

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



(11) **102657**(19) **UA**(51) **МПК (2015.01)  
B07B 1/00**(21) Номер заявки: **u 2015 04895**(22) Дата подання заявки: **19.05.2015**(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну модель: **10.11.2015**(46) Дата публікації відомостей  
про видачу патенту та  
номер бюлетеня: **10.11.2015,  
Бюл. № 21**

(72) Винахідники:

**Кюрчев Сергій  
Володимирович, UA,  
Малкіна Віра Михайлівна,  
UA,  
Колодій Олександр  
Сергійович, UA**

(73) Власник:

**ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
пр. Б. Хмельницького, 18, м.  
Мелітополь, Запорізька обл.,  
72312, UA**

(54) Назва корисної моделі:

**АЕРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

(57) Формула корисної моделі:

Аеродинамічний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, три розподільвача, який відрізняється тим, що в аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, а над вентилятором встановлений кожух.

(11) 102657

Пронумеровано, прошито металевими  
люверсами та скріплено печаткою  
2 арк.

10.11.2015



Уповноважена особа

(підпис)



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102657** (13) **U**

(51) МПК (2015.01)  
**B07B 1/00**

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2015 04895</b>	(72) Винахідник(и): <b>Кюрчев Сергій Володимирович (UA), Малкіна Віра Михайлівна (UA), Колодій Олександр Сергійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>19.05.2015</b>	(73) Власник(и): <b>ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.11.2015</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.11.2015, Бюл.№ 21</b>	

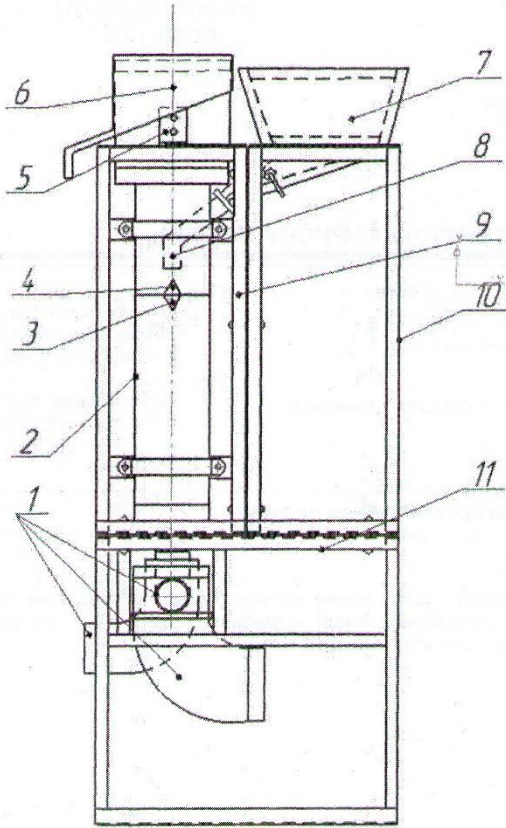
**(54) АЕРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

**(57) Реферат:**

Аеродинамічний сепаратор для насіння містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, три розподільвача. В аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, а над вентилятором встановлений кожух.

UA 102657 U

UA 102657 U



UA 102657 U

Корисна модель належить до галузі сільського господарства, а саме до пристроїв, що сепарують насіння під дією повітряного потоку.

5 За прототип вибраний аеродинамічний сепаратор для насіння, який включає бункер, аспіраційний канал, вентилятор, раму, на якій розміщені розподільвачі. (Патент на корисну модель № 86300 публ.: 25.12.2013, Бюл. № 24).

Недоліком сепаратора є неякісне сепарування насіння та втрата найбільш легких насінин.

10 В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення аеродинамічного сепаратора для насіння, в якому шляхом модернізації конструктивно-технологічної схеми, основаної на новій сукупності конструктивних елементів, їх взаємному розташуванні і наявності зв'язків між ними, забезпечується максимальна конструктивна і функціональна взаємозамінність складових частин конструкції - модулів і, за рахунок цього, досягається підвищення якості насіння.

15 Поставлена задача вирішується тим, що в аеродинамічному сепараторі для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, згідно з корисною моделлю, в аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, що підвищує якість сепарації насіння.

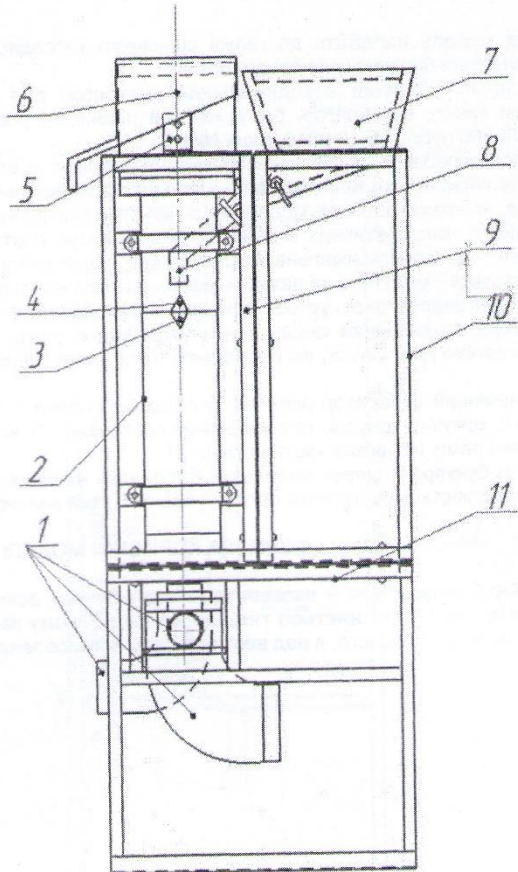
Аеродинамічний сепаратор включає три розподільвача 1, аспіраційний канал 2, бункер 7, вентилятор 5, кожух 6, конус 4, та розміщений проти конус 3, живильник 8, ліва частина рами 9, права частина рами 10, нижня частина рами 11.

20 Насіння із бункера 7, через живильник 8, попадає на конус 4, після проходження по конусу насіння розщеплюється зустрічним потоком повітря, який виникає при роботі вентилятора 5.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

25 Аеродинамічний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятор, три розподільвача, який відрізняється тим, що в аспіраційному каналі встановлені два конуси, які розміщені один проти одного, а над вентилятором встановлений кожух.

UA 102657 U



---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

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



(11) **119052**(19) **UA**(51) МПК  
**B07B 1/28 (2006.01)**

- 
- |                                                                             |                                  |                   |                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) Номер заявки:                                                          | <b>u 2017 02551</b>              | (72) Винахідники: | <b>Кюрчев Сергій<br/>Володимирович, UA,<br/>Колодій Олександр<br/>Сергійович, UA,<br/>Кюрчева Людмила<br/>Миколаївна, UA,<br/>Шершенівський Олександр<br/>Сергійович, UA</b> |
| (22) Дата подання заявки:                                                   | <b>20.03.2017</b>                |                   |                                                                                                                                                                              |
| (24) Дата, з якої є чинними<br>права на корисну модель:                     | <b>11.09.2017</b>                |                   |                                                                                                                                                                              |
| (46) Дата публікації відомостей<br>про видачу патенту та<br>номер бюлетеня: | <b>11.09.2017,<br/>Бюл. № 17</b> | (73) Власник:     | <b>ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ<br/>АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ<br/>УНІВЕРСИТЕТ,<br/>пр. Б. Хмельницького, 18, м.<br/>Мелітополь, Запорізька обл.,<br/>72310, UA</b>                          |

(54) Назва корисної моделі:

**ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

(57) Формула корисної моделі:

Пневмогравітаційний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятори, розподільник, який **відрізняється** тим, що в аспіраційному каналі встановлено конус у формі дуги кола, який закріплено на порожнистому валу, та у верхній частині аспіраційного каналу розташовані чотири вентилятори.

(11) 119052

Державне підприємство  
«Український інститут інтелектуальної власності»  
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 1572070917.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.

2. Виконати пошук за номером заявки.

3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

11.09.2017



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119052** (13) **U**  
(51) МПК  
**B07B 1/28** (2006.01)

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2017 02551</b>	(72) Винахідник(и):
(22) Дата подання заявки: <b>20.03.2017</b>	Кюрчев Сергій Володимирович (UA),
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>11.09.2017</b>	Колодій Олександр Сергійович (UA), Кюрчева Людмила Миколаївна (UA), Шершенівський Олександр Сергійович (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>11.09.2017, Бюл.№ 17</b>	(73) Власник(и): ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72310 (UA)

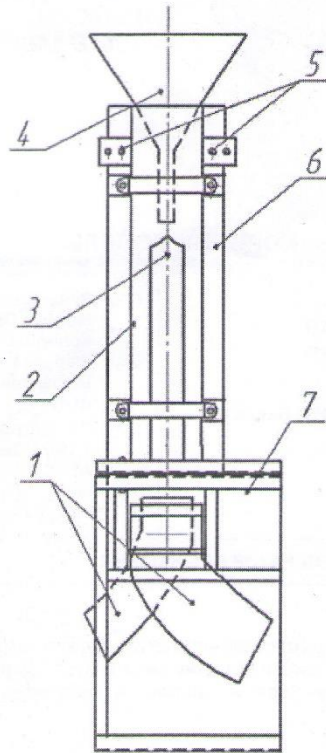
**(54) ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНИЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ НАСІННЯ**

(57) Реферат:

Пневмогравітаційний сепаратор для насіння містить бункер, аспіраційний канал, вентилятори, розподільник. В аспіраційному каналі встановлений конус у формі дуги кола, який закріплений на порожньому валу, та у верхній частині аспіраційного каналу розташовані чотири вентилятори.

UA 119052 U

UA 119052 U



UA 119052 U

Корисна модель належить до галузі сільського господарства, а саме до пристроїв, що сепарують насіння під дією повітряного потоку.

Найближчий аналог аеродинамічний сепаратор для насіння, який включає бункер, аспіраційний канал, вентилятор, раму, на якій розміщені розподільники (Патент на корисну модель № 86300 публ.:25.12.2013, Бюл. № 24).

Недоліком сепаратора є неякісне сепарування насіння, збільшена матеріалоемність.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення аеродинамічного сепаратора для насіння, в якому шляхом модернізації конструктивно-технологічної схеми, основаної на новій сукупності конструктивних елементів, їх взаємному розташуванні і наявності зв'язків між ними, забезпечується максимальна конструктивна і функціональна взаємозамінність складових частин конструкції - модулів і, за рахунок цього, досягається підвищення якості насіння та зменшення матеріалоемності.

Поставлена задача вирішується тим, що в пневмогравітаційному сепараторі для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятори, розподільник, згідно з корисною моделлю, в аспіраційному каналі встановлений конус у формі дуги кола, який закріплений на полуму валу та у верхній частині аспіраційного каналу розташовані чотири вентилятори.

Встановлення конуса у вигляді дуги кола покращує якість сепарації насіння, чотири вентилятори зменшують турбулентність повітря.

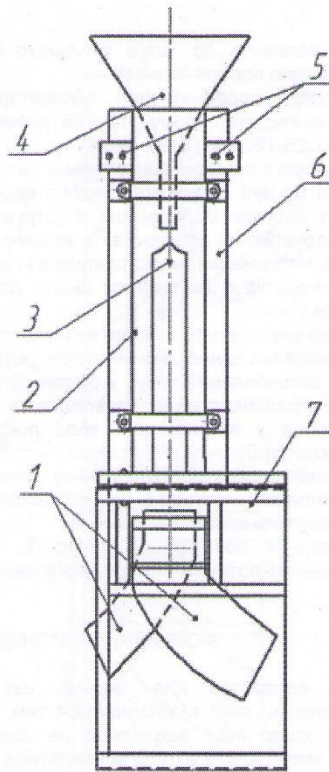
Пневмогравітаційний сепаратор (креслення) включає два розподільники 1, аспіраційний канал 2, бункер 4, чотири вентилятори 5, конус 3, верхня частина рами 6, нижня частина рами 7. Сепаратор працює таким чином:

Насіння із бункера 4 попадає на конус 3, після проходження по конусу насіння розщеплюється зустрічним потоком повітря, який виникає при роботі вентиляторів 5 і виконує поставлену задачу.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пневмогравітаційний сепаратор для насіння, що містить бункер, аспіраційний канал, вентилятори, розподільник, який відрізняється тим, що в аспіраційному каналі встановлено конус у формі дуги кола, який закріплено на порожнистому валу, та у верхній частині аспіраційного каналу розташовані чотири вентилятори.

UA 119052 U



---

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



(11) 129217

(19) UA

(51) МПК  
A01F 25/08 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2018 04212

(22) Дата подання заявки: 17.04.2018

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.10.2018

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 25.10.2018, Бюл. № 20

(72) Винахідники:  
Стручаєв Микола Іванович,  
UA,  
Загорко Надія Петрівна, UA,  
Кюрчев Сергій  
Володимирович, UA,  
Верхоланцева Валентина  
Олександрівна, UA,  
Кюрчева Людмила  
Миколаївна, UA,  
Тарасенко Віра Григорівна,  
UA(73) Власник:  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ,  
пр. Б. Хмельницького, 18, м.  
Мелітополь, Запорізька обл.,  
72310, UA

(54) Назва корисної моделі:

ГЕЛІОАБСОРБЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ Й СУШІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ

(57) Формула корисної моделі:

Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів, що включає геліонагрівач рідини, теплові трубки, генератор, заповнений концентрованим розчином холодоагенту, конденсатор, терморегулюючий вентиль, випарник, абсорбер зі слабким розчином холодоагенту, насос, регулюючий вентиль, вентилятор, повітря підвідні канали, приміщення сховища над продукцією, який відрізняється тим, що геліонагрівач рідини, який має покриття з чорного хрому, теплові трубки, які паралельно розміщені в корпусі геліонагрівача, приєднаний до генератора, вентилятор розміщено у повітропідвідних каналах перед входом випарника абсорбційної холодильної машини, а патрубок відведення конденсату встановлено в нижній частині повітропідвідного каналу.

(11) 129217

Державне підприємство  
«Український інститут інтелектуальної власності»  
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 2294231018.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

25.10.2018



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129217** (13) **U**  
(51) МПК  
**A01F 25/08** (2006.01)

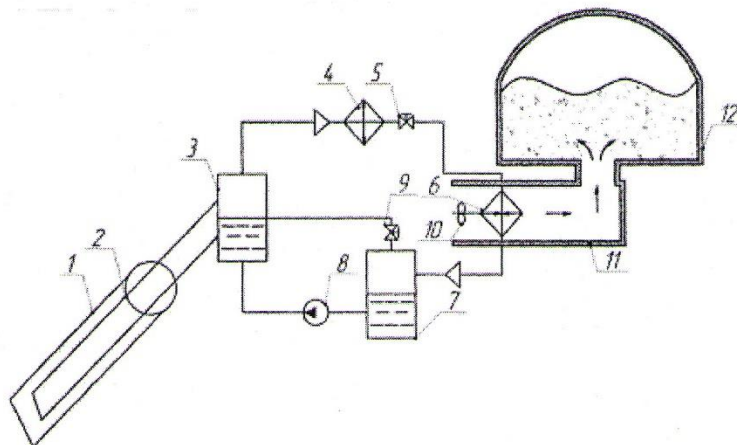
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2018 04212</b>  (22) Дата подання заявки: <b>17.04.2018</b>  (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.10.2018</b>  (46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.10.2018, Бюл.№ 20</b></p>	<p>(72) Винахідник(и):  <b>Стручасв Микола Іванович (UA),  Загорко Надія Петрівна (UA),  Кюрчев Сергій Володимирович (UA),  Верхоланцева Валентина Олександрівна (UA),  Кюрчева Людмила Миколаївна (UA),  Тарасенко Віра Григорівна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и):  <b>ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,  пр. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь,  Запорізька обл., 72310 (UA)</b></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**(54) ГЕЛІОАБСОРБЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ Й СУШІННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ**

(57) Реферат:

Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів включає геліонагрівач рідини, теплові трубки, генератор заповнений концентрованим розчином холодоагенту, конденсатор, терморегулюючий вентиль, випарник, абсорбер зі слабким розчином холодоагенту, насос, регулюючий вентиль, вентилятор, повітря підвідні канали, приміщення сховища над продукцією. Геліонагрівач рідини має покриття з чорного хрому. Теплові трубки паралельно розміщені в корпусі геліонагрівача, який приєднаний до генератора. Вентилятор розміщено у повітропідвідних каналах перед входом випарника абсорбційної холодильної машини, а патрубок відведення конденсату встановлено в нижній частині повітропідвідного каналу.



UA 129217 U

## UA 129217 U

Запропонована корисна модель, що описується, належить до області сільського господарства, а саме пристроїв для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів.

За найближчий аналог вибрано відомий пристрій сушіння повітрям шляхом використання тепловентиляційного агрегату. Пристрій включає повітря підігрівач, вентилятор, сушильну камеру з решітчастою основою для розміщення матеріалу, що висушується, яку розміщено та закріплено всередині корпусу сушильної камери. Нагріте повітря надходить знизу в простір між корпусом і решітчастою основою, де є дифузор і патрубок для під'єднання до тепловентиляційного агрегату [Справочник по теплоснабженню сельскохозяйственных предприятий. Под. ред В.В. Уварова. - М.: Колос, 1983. - 320 с. Селекционные сушильные установки. - С. 139-140].

Недоліком цього відомого пристрою є те, що він не дозволяє отримати достатньо низький ступінь вологовмісту та високу температуру сушильного агенту.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення геліоабсорбційного пристрою для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів, в якому, за рахунок розміщення охолоджувача в потоці повітря, забезпечується підвищення ступеню зниження вологовмісту сушильного повітря й збільшення питомого відведення вологи з матеріалу, який підлягає сушінню, та зниження температури сушильного агенту.

Поставлена задача вирішується тим, що в геліоабсорбційному пристрої для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів, який має геліонагрівач рідини, теплові трубки, генератор, заповнений концентрованим розчином холодоагенту, конденсатор, терморегулюючий клапан, випарник, абсорбер зі слабким розчином холодоагенту, насос, регулюючий клапан, вентилятор, повітряні канали, приміщення сховища над продукцією, відповідно до запропонованої корисної моделі, геліонагрівач рідини, який має покриття з чорного хрому і теплові трубки, що паралельно розміщені в корпусі геліонагрівача, приєднаний до генератора, вентилятор розміщено у повітряному каналі перед входом випарника абсорбційної холодильної машини, а патрубок відведення конденсату встановлено в нижній частині повітряного каналу.

Використання геліоабсорбційного пристрою для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів запропонованої конструкції дає можливість підсушити повітря, знизити вологовміст в ньому та відносну вологість на вході в приміщення сховища над продукцією, а це збільшує кількість відведеної вологи від матеріалу, який сушать, підвищує ступінь сушіння та зменшує витрати енергії на сушіння, зниження температури сушильного агенту дозволяє виконувати сушіння більш делікатно, без ушкодження сільськогосподарських продуктів, використання абсорбційної холодильної машини з підігріванням її генератора геліонагрівачем рідини, який має покриття з чорного хрому і теплові трубки, що паралельно розміщені в корпусі геліонагрівача та приєднані до генератора, зводить до мінімуму витрати електроенергії.

Технічна суть та принцип пристрою, який пропонується, пояснюється кресленням, де зображена схема пристрою.

Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів включає геліонагрівач 1, покритий чорним хромом, теплові трубки 2, які паралельно розміщені в корпусі геліонагрівача, який приєднується до генератора 3, заповненого концентрованим розчином холодоагенту, конденсатор 4, терморегулюючий клапан 5, випарник 6, абсорбер 7 зі слабким розчином холодоагенту, насос 8, регулюючий клапан 9, вентилятор 10 повітря, повітряні канали 11, приміщення 12 сховища над продукцією.

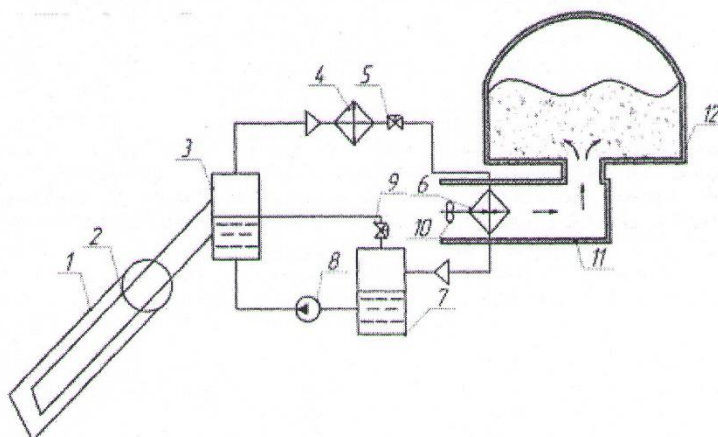
Пристрій працює таким чином. Теплова енергія сонця за допомогою паралельно розміщених у геліонагрівачі 1 теплових трубок 2 подається до генератора 3, завдяки чому концентрований розчин холодоагенту постійно нагрівається. Так як температура кипіння холодоагенту значно нижче температури кипіння розчинника, здійснюється процес випарювання холодоагенту. Підіймаючись до конденсатора 4, пари холодоагенту конденсуються і, проходячи крізь терморегулюючий клапан 5, надходять у випарник 6 у рідкому вигляді, де закипають при мінусовій температурі, відбираючи теплоту з повітря - сушильного агенту. Слабкий розчин з генератора 3 надходить в абсорбер 7 крізь регулюючий клапан 9 і охолоджується навколишнім середовищем до температури початку абсорбції. Циркуляція розчину і холодоагенту здійснюється безперервно за допомогою насоса 8. Повітря - сушильний агент, під дією вентилятора 10, рухається через випарник 6, який виконує функції охолоджувача-підсушувача. При зниженні температури нижче точки роси після випарника надлишкова волога випадає у вигляді конденсату водяних парів. Підсушене повітря, з якого видалено частину вологи, надходить в приміщення 12 сховища над продукцією, де, завдяки низькій відносній вологості

UA 129217 U

повітря, з матеріалу видаляється частина вологи і відводиться разом з потоком повітря. Далі цикл повторюється.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 5 Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів, що включає геліонагрівач рідини, теплові трубки, генератор, заповнений концентрованим розчином холодоагенту, конденсатор, терморегулюючий клапан, випарник, абсорбер зі слабким розчином холодоагенту, насос, регулюючий клапан, вентилятор, повітряні підвідні канали, приміщення сховища над продукцією, який відрізняється тим, що геліонагрівач рідини, який
- 10 має покриття з чорного хрому, теплові трубки, які паралельно розміщені в корпусі геліонагрівача, приєднаний до генератора, вентилятор розміщено у повітропідвідних каналах перед входом випарника абсорбційної холодильної машини, а патрубок відведення конденсату встановлено в нижній частині повітропідвідного каналу.



Комп'ютерна верстка М. Мацело

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 В**

## СПИСОК

## ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

## Публікації у фахових виданнях

1. Богданов Є. В., Кюрчев С. В. Теоретичне дослідження явища резонансу дебалансного вібраційного дозатора сипких матеріалів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10. Т. 6. С. 65 - 69. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку дебалансних віброзбуджувачів.**
2. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруємого матеріалу. *Збірник наукових праць. Серія: Технічні науки / Вінницький національний аграрний університет*. Вінниця: ВНАУ, 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 322 - 327. **Внесок здобувача: розробка технології процесу післязбиральної обробки сільськогосподарських культур.**
3. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Методика дослідження раціонального діаметра патрубків постачання насіння в середині вертикального аспіраційного каналу. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т. 3. С. 146 - 150. **Внесок здобувача: обґрунтування технологічно-конструктивної схеми гравітаційно-аспіраційного сепаратора.**
4. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2013. Вип. 13. Т. 6. С. 204 - 212. **Внесок здобувача: кінематичний аналіз гравітаційно-аспіраційної системи розділення на фракції зернової сировини.**
5. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження раціональних розмірів вертикального аспіраційного каналу сепаратора насіння сільськогосподарських культур. *Вісник Харківського національного*

*технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Серія: технічні науки. Харків: ХНТУСГ, 2014. Вип. 148. С. 56 - 63. **Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень геометричних параметрів аспіраційних сепараторів.***

6. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Особенности хранения зерновых запасов. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 15. Т. 3. С. 189 - 194. **Внесок здобувача: розробка технології післязбиральної обробки та зберігання зернової продукції.***

7. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Багатокритеріальний аналіз існуючих сепараторів насіння із різним робочим знаряддям. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Серія: технічні науки / ХНУТСГ ім. П. Василенка. Харків, 2015. Вип. 156. Т. 1. С. 86 - 92. **Внесок здобувача: розробка методики багатокритеріального аналізу конструктивних схем обладнання для аспіраційної сепарації насіння зернових культур.***

8. Кюрчев С. В., Верхованцева В. О. Визначення параметрів оптимізації процесу охолодження зерна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків, 2015. Вип. 163. С. 228 - 239. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку статистичних характеристик процесу охолодження зернових мас.***

9. Кюрчев С. В., Верхованцева В. А. Конструктивные особенности установки для сушки и охлаждения зерна активным вентилированием. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. Вип. 5. Т. 1. С. 108 - 113. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/e-index.html> **Внесок здобувача: розробка технології конвективного охолодження зернової продукції потоком холодоносія.***

10. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Стручаєв М. І., Верхованцева В. О.

Дослідження процесу теплообміну при охолодженні шару зерна пшениці. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 166. С. 50 - 56. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесів тепломасообміну при охолодженні зернових мас потоком холодоносія.**

11. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати дослідження форми і параметрів живильно-розподільчого пристрою пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. *Інженерія природокористування*. 2016. №2(6). С. 52 - 57. **Внесок здобувача: розробка методики розрахунку параметрів процесу транспортування насіння олійних культур у каналі аспіраційного сепаратора.**

12. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Результати впровадження пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2016. Вип. 16. Т. 2. С. 211 - 217. **Внесок здобувача: отримані результати виробничої апробації гравітаційно-аспіраційного сепаратора насіння соняшника.**

13. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження впливу коефіцієнта теплопровідності на вологість зернового матеріалу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка / ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. Харків, 2016. Вип. 179. С. 26 - 31. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу критеріїв подібності теплообмінних процесів.**

14. Кюрчев С. В., Ялпачик В. Ф., Верхованцева В. О. Дослідження ентальпії у процесі зберігання зернової маси із застосуванням охолодження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 1. С. 62 - 67. **Внесок здобувача: розробка методики графоаналітичного аналізу теплообмінних та енергетичних характеристик процесу охолодження сипких мас.**

15. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. А. Разработка рекомендации по хранению пшеницы в зернохранилище. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 17. Т. 3. С. 166 - 173. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень процесів зберігання пшениці у зерносховищах.**

16. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Визначення важливого фактора якості пшениці у процесі зберігання із застосуванням охолодження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 1. С. 20 - 28. **Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень якісних параметрів при зберіганні пшениці в умовах активного вентилявання потоком холодоносія.**

17. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Обґрунтування параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції з віброхвильовим конвеєром. *Наукові праці: наук. збірник / Одеська національна академія харчових технологій*. Одеса, 2018. Вип. 82. Т. 1. С. 122 - 127. URL: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/swonaft/article/view/1024> **Внесок здобувача: проведено аналіз теплообмінних параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції.**

18. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Колодій О. С. Математичне моделювання віброаспіраційного сепарування насіннєвого матеріалу. *Вісник ЛНАУ: агроінженерні дослідження № 22, 2018*. С. 172 - 176. **Внесок здобувача: розробка коливальної системи у віброхвильовому транспортуванні насіннєвого матеріалу.**

19. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Обґрунтування конструкції та принципу роботи віброаспіраційного сепаратора. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: зб. наук. праць*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 99 - 108. **Внесок здобувача: розробка конструкції та принципу роботи**

***віброаспіраційного сепаратора.***

20. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Дослідження динаміки руху насінинни при виході з живильного конуса віброаспіраційного сепаратора. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 8. Т. 2., DOI:10.31388/2220-8674-2018-2-20. ***Внесок здобувача: отримані результати дослідження у віброаспіраційному сепараторі.***

**Публікації у закордонних виданнях**

21. Кюрчев С. В., Колодій О. С. Методики дослідження раціонального діаметра патрубк постачання насіння всередині вертикального аспіраційного каналу та раціональної довжини вертикального аспіраційного каналу сепаратора *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013. Vol. 15. № 2. P. 284 - 293. ***Внесок здобувача: розробка методики розрахунку геометричних параметрів аспіраційних сепараторів.***

22. Кюрчев С. В., Колодій А. С. Математическое описание поведения зерновок подсолнечника в воздушном потоке разделительных установок. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 17. № 9. P. 13 - 19. ***Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесу аспіраційного розділення сипких мас.***

23. Кюрчев С. В., Колодій А. С. Результаты исследования разработанного сепаратора семян с вертикальным аспирационным каналом. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2014. Vol. 16. № 2. P. 322 - 329. ***Внесок здобувача: отримані результати експериментальних досліджень геометричних параметрів аспіраційних сепараторів для обробки насіння сільськогосподарських культур.***

24. Kiurchev S., Vercholantseva V. Linear and nonlinear relationship of wheat storage characteristics. *Canadian Scientific Journal*. ISSUE 1. 2015. VOL. 2. pp. 10 - 15. ***Внесок здобувача: розробка плану експериментальних***

*досліджень процесів зберігання зернової продукції у сховищах за її активної обробки охолодженням потоком повітря.*

25. Кюрчев С. В. Конструктивні особливості зерносховища із застосуванням охолодження. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ: НУБІП, 2018. Вип. 298. С. 105 - 110. **Внесок здобувача: розробка конструкції зерносховищ із застосуванням охолодження.**

26. Кюрчев С. В. Методика дослідження впливу вологості насіння соняшника на раціональну швидкість повітряного потоку у пневмогравітаційному сепараторі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Київ : НУБІП, 2018. Вип. 296 С. 139 - 141. **Внесок здобувача: розробка методики досліджень впливу вологості насіння в пневмогравітаційному сепараторі.**

### Патенти

27. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 86300 Україна: МПК<sup>51</sup> B07В 1/28 (2006.01) / С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. № 86300; заявл. 21.06.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. №24. 4с. **Внесок здобувача: проведено аналіз конструкційно-технологічних схем аспіраційних сепараторів.**

28. Аеродинамічний сепаратор для насіння: пат. 102657 Україна: МПК<sup>51</sup>(2015.01) B07В 1/00 / С. В. Кюрчев, В. М. Малкіна, О. С. Колодій. № 102657; заявл. 19.05.2015; опубл. 10.11.2015, Бюл. №21. 4 с. **Внесок здобувача: розробка технології аспіраційного розділення насіння зернових культур.**

29. Пневмогравітаційний сепаратор для насіння: пат. 119052 Україна: МПК<sup>51</sup> B07В 1/28 /С. В. Кюрчев, О. С. Колодій. № 119052 ; заявл. 20.03.2017 ; опубл. 11.09.2017, Бюл. №17. 4 с. **Внесок здобувача: отримані результати аналізу конструктивного виконання машин для аспіраційно-гравітаційної сепарації сипких мас.**

30. Геліоабсорбційний пристрій для охолодження й сушіння сільськогосподарських продуктів: пат. 129217 Україна: МПК<sup>51</sup> F25/08 (2006.01)

/ М. І. Стручаєв, Н. П. Загорко, С. В. Кюрчев, В. О. Верхоланцева, В. В. Тарасенко. № 129217 ; заявл. 17.04.2018 ; опубл. 25.10.2018, Бюл. №20. 4с.  
**Внесок здобувача: розробка конструкційно-технологічної схеми пристрою.**

### **Матеріали доповідей на наукових конференціях**

31. Кюрчев С. В., Колодій О. С., Мельник К. Л. Дослідження руху насіння в аспіраційному каналі пневмогравітаційного сепаратора методами числових експериментів. *Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник тез доповідей XVII Міжнар. наук. конф., присвяченої 116-річчю з дня народження П. М. Василенка (17 – 18 жовтня 2016 р., м. Суми). Суми, 2016. С. 156 - 160. Внесок здобувача: отримані результати обробки експериментальних даних для оцінки процесу аспіраційної сепарації насіння сільськогосподарських культур.*

32. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Вплив коефіцієнта теплопровідності на вологість зерна. *Інноваційні технології в АПК: тези V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (травень 2015 р., м. Луцьк) / Луцький НТУ. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2015. С. 60 - 62. Внесок здобувача: розробка методики розрахунку теплообмінних параметрів процесу охолодження сипких мас.*

33. Ялпачик В. Ф., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Економічна оцінка ефективності зберігання зерна із застосуванням охолодження. *Підвищення ефективності діяльності підприємств харчової та переробної галузей АПК: матеріали V Всеукраїнської наук.-практ. конф. (17-18 листопада 2016 р., м. Київ). / НУХТ. Київ, 2016. С. 90 - 92. Внесок здобувача: розробка методики техніко-економічної оцінки ефективних технологій зберігання зернової продукції при активному вентильованні холодоносієм.*

34. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Паляничка Н. О. Візуалізація конструкції зерносховища та процесу охолодження. *Розвиток харчових*

*виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 50-річчю заснування Харківського державного університету харчування та торгівлі (18 травня 2017 р., м. Харків) / ХДУХТ. Харків, 2017. Ч. 1. С. 258 - 260. **Внесок здобувача: проведено аналіз методів імітаційного моделювання процесів охолодження зерна у сховищах.***

35. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О., Процес теплообміну між зернівками та охолоджувальним повітрям у зерносховищі. *Сучасні проблеми холодильної техніки та технології: матеріали XI Міжнар. наук.-техн. конф. (21 – 22 вересня 2017 р., м. Одеса). Одеса, 2017. С. 228 - 229. **Внесок здобувача: розробка методики математичного аналізу процесів тепломасообміну при охолодженні зернових мас потоком холодоносія.***

36. Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Перспективний процес зберігання зерна із застосуванням охолодження у зерносховищі. *Сучасні проблеми землеробської механіки : матеріали XVIII Міжнар. наук. конф., присвяченої 117 - й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (16 – 18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець – Подільський). Кам'янець-Подільський, 2017. С. 141 - 143. **Внесок здобувача: розробка плану експериментальних досліджень процесів зберігання зернової продукції у сховищах за її активної обробки охолодженим потоком повітря.***

37. Паламарчук І., Кюрчев С., Верхоланцева В. Вібродвигуновий семіфлюїдаційний процес низькотемпературної обробки рослинної сировини. *Соціально – економічний розвиток аграрної сфери : інженерно-економічне забезпечення : матеріали Міжнар. наук.- практ. конф. (19 – 20 квітня 2018 р., м. Тернопіль). Тернопіль, 2018. С. 283 - 285. **Внесок здобувача: аналіз процесів флюїдаційної обробки сільськогосподарської продукції.***

38. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних сушарок. *The development of technical sciences: problems and solutions: the international research and practical*

*conference (April, 27–28, 2018., Brno city). Brno, 2018. pp. 9 - 12. **Внесок здобувача: аналіз процесів вібраційного транспортування сипких мас.***

39. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. О. Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції. *Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (17-18 травня 2018 р., м. Умань). Умань, 2018. С. 113 - 115. **Внесок здобувача: аналіз процесів створення віброзваженого шару продукції при її зберіганні.***

40. Optimization of the parameters for the process of grain cooling / Igor Palamarchuk, Sergey Kiurchev, Valentyna Verkholtantseva [et al.]. *ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII: V Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja (20 – 22 червня 2018., м. Кринниця). Кринниця, 2018. С. 91. **Внесок здобувача: отримані результати досліджень процесу охолодження зернової продукції при її зберіганні.***

41. Паламарчук І. П., Кюрчев С. В. Застосування перспективної віброконвеєрної інфрачервоної сушарки. *Сучасні проблеми землеробської механіки: матеріали XIX Міжнар. наук. конф., присвяченої 118 – й річниці від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (17 – 19 жовтня 2018 р., м. Київ). Київ, 2018. С. 84 - 85. **Внесок здобувача: розробка віброконвеєрної інфрачервоної сушарки.***