

УДК 631.365.2:635.655

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-86-93

## ОБГРУНТУВАННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІЖОПЕРАЦІЙНОГО ВІБРОХВИЛЬОВОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ СОЇ ЗА ЇЇ ІНФРАЧЕРВОНОГО СУШІННЯ

Паламарчук І. П., д. т. н.

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України*

Кюрчев С. В., к. т. н.,

Верхоланцева В. О., к. т. н.,

Кюрчева Л. М., к. с.-г. н.,

Стручаєв М. І., к. т. н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*  
Тел.(0619) 42-13-06

**Анотація** – стаття присвячена проблемі зниження енерговитрат на процес терморадіаційного сушіння насіння сої при максимальному збереженні її вихідних властивостей, шляхом розробки конструктивного оснащення для реалізації міжопераційного транспортування продукції у зоні обробки. Результати експериментальних досліджень виявили ефективність утворення на поверхні гнучкого вантажонесучого органу біжучої або стоячої хвилі, яка забезпечує одночасну реалізацію процесів тепломасообмінної обробки та пошарового перемішування сої.

**Ключові слова** – інфрачервоне сушіння, соя, віброхвильове транспортування, коливальна система, амплітуда коливань, віброшвидкість.

*Постановка проблеми.* Інфрачервоне сушіння сипкої сільськогосподарської продукції відзначається як високою інтенсивністю енергопідведення, так і можливістю термічного ураження поверхневого шару, що зумовлює необхідність у процесі транспортування сировини у робочій зоні виконувати перемішування її шарів [1, 2].

*Аналіз останніх досліджень.* Така проблема вирішувалась за використання віброконвеєрних сушильних апаратів, проте останні відзначаються достатньо високою металомісткістю та енергонасиченістю процесу тепломасообмінної обробки [2, 3]. Техніко-економічні аспекти даного процесу визначають необхідність визначити параметри робочих режимів, що дозволяють з

мінімальними енерговитратами забезпечити максимальну продуктивність сушарки. Серед умов, які обмежують дані характеристики потрібно відзначити необхідність забезпечення потрібного зниження вологості сировини за один прохід продуктивного потоку при максимальному забезпеченні рівномірності пошарової обробки продукції.

Для задоволення даних умов та виконання поставлених завдань, враховуючи технологічно-конструктивні особливості розробленої віброхвильової інфрачервоної сушарки, необхідно синхронізувати робочі параметри двох віброзбуджувачів, що агрегатовані в опорних котках деформованого транспортуючого елемента [4, 5]. При цьому задача зводиться до вибору параметрів вібрації приведених механізмів сушарки, які мають забезпечити стійке просування продуктового потоку з максимально можливою швидкістю, що дозволить досягнути на виході потрібної вологості оброблюваної продукції.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою даної роботи є максимальне збереження вихідних властивостей насінневого матеріалу, зокрема сої, при мінімізації енерговитрат на процес міжопераційного транспортування продукції при її інфрачервоному сушінні на основі аналізу експериментальних досліджень кінематичних характеристик розробленої віброхвильової коливальної системи.

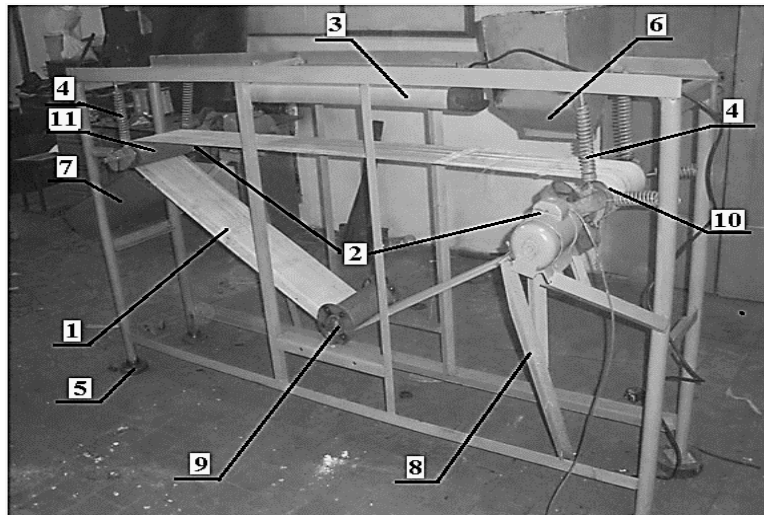
*Основна частина.* Серед основних параметрів досліджуваної вібромашини можна відзначити тепломасообмінні та фізико-механічні, які визначалися при використанні розробленої експериментальної моделі конвеєрної сушарки, що представлена на рисунку 1.

Основні елементи віброконвеєрної терморадіаційної установки які представлені на рисунках 1,2,3, дозволяють реалізовувати разом із основним технологічним процесом інфрачервоного сушіння сипкої продукції віброхвильове транспортування з постійним оновленням поверхонь тепломасообміну.

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 кіл, 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 віброуючий

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.

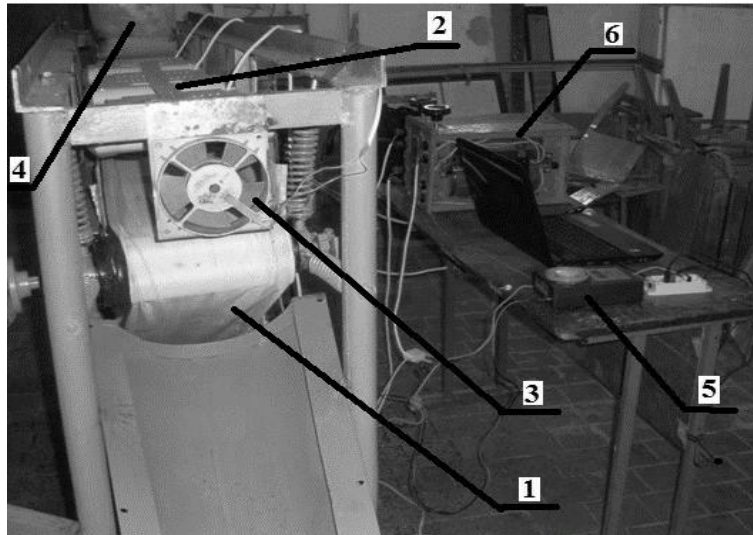


1 – гнучка вантажонесуча стрічка; 2 – механічні віброзбуджувачі кінематичного типу; 3 – блок випромінювача; 4 – пружна підвіска; 5 – віброопора; 6 – живильний патрубок продукції; 7 – приймальний патрубок; 8 – рама установки, 9 – натяжний коток; 10, 11 – робочі вальці.

Рис.1. Експериментальна віброконвеєрна терморадіаційна сушарка.

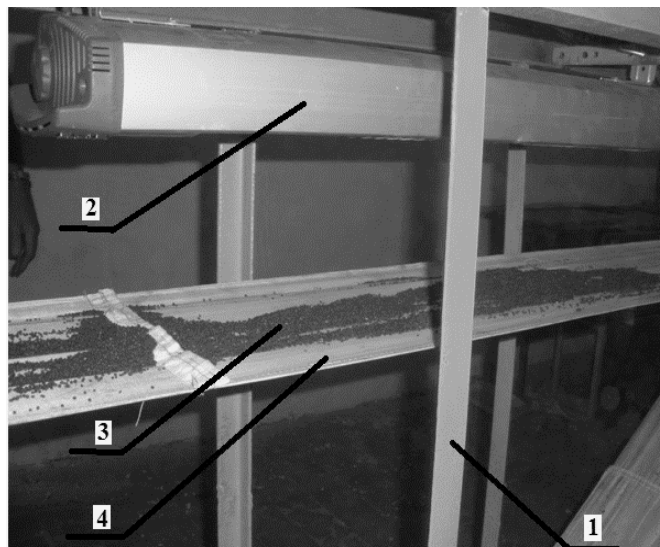
При вимірюванні частоти коливань використовували комплекс електротехнічних пристроїв, який дозволяє повільно змінювати частоту обертання приводного валу віброзбуджувача, контролювати напругу та силу електричного струму. При визначені частоти обертання приводного валу на торці останнього встановлювали 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.



1 – вантажонесуча стрічка; 2 – випромінювальний блок;  
3 – вентилятор видалення вологи; 4 – приймальний бункер сушарки;  
5 – вологомір; 6 – лабораторний автотрансформатор на два джерела енергії.

Рис. 2. Вимірювальне оснащення для оцінки фізико-механічних характеристик процесу інфрачервоного сушіння.



1 – рама установки; 2 – випромінювач; 3 – продукція, що обробляється; 4 – гнучка вантажонесуча стрічка.

Рис. 3. Процес міжопераційного віброхвильового транспортування сипкої продукції в конвеєрній інфрачервоній установці.

Амплітудно-частотні характеристики дозволяють виявити ділянки резонансних піків та встановленого режиму роботи виконавчих органів машин, що дозволило обґрунтувати за резонансний період за умов ефективного віброзахисту. Оцінку даних параметрів проводимо за різних кутів розташування дебалансів один

відносно одного, що дозволяє, змінюючи даний кут від 0 до  $\pi$ , варіювати силу інерції незрівноважених елементів від максимального значення до нуля. Зміна положень незрівноважених елементів відносно вертикальної осі машини дало можливість отримати варіанти силової, моментної та комбінованої незрівноваженості досліджуваної коливальної системи [6].

На основі експериментальної бази даних сушіння (табл. 1) [6, 7], що була отримана при дослідженні зміни фізико-механічних та тепломасообмінних параметрів олієвмісної продукції, зокрема сої, за умов інфрачервоного оцінювали найбільш значимий факторний простір процесу та визначили його основні характеристики.

Таблиця 1 – Вихідні експериментальні дані інфрачервоного сушіння сої у рухомому шарі

№ п/п	$v$ , см/с	$N_{оп}$ , Вт	$\tau$ , с	$m_B$ , г	$m_{п}$ , г	$\Delta X$ , кг/кг	$mB/\tau$ , 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;  $m_{п}$  – маса продукції, що висушується;  $\Delta X$  – маса видаленої вологи, що приходить на одиницю маси продукції, кг/кг.

За використання попередньо представленої експериментальної бази даних визначаємо параметри основних етапів досліджуваного терморадіаційного сушіння залежно від швидкісних параметрів силового поля. У результаті отримуємо сімейства графічних експериментальних залежностей для представлених швидкостей транспортування сипкої продукції (рис.4, 5, 6).

Представлені рисунки відображають криві терморадіаційного сушіння сої для різних швидкостей транспортування насінневого матеріалу вздовж робочої довжини тепломасообмінної установки. Етап постійної швидкості сушіння починається через 250 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 13...14% як за швидкостей переміщення сипкої маси 0,4 та 0,6 см/с.

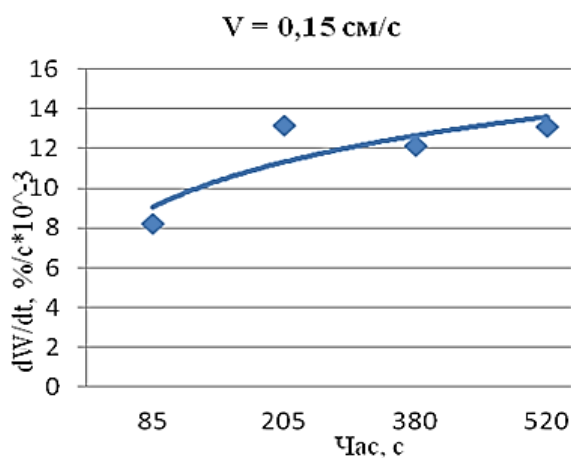


Рис. 4. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,15 см/с.

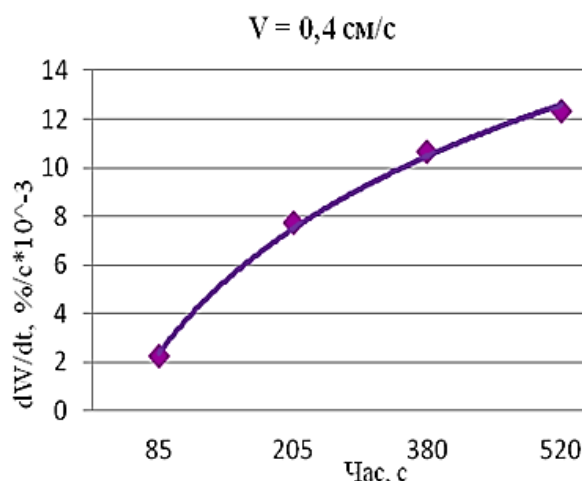


Рис. 5. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,4 см/с.

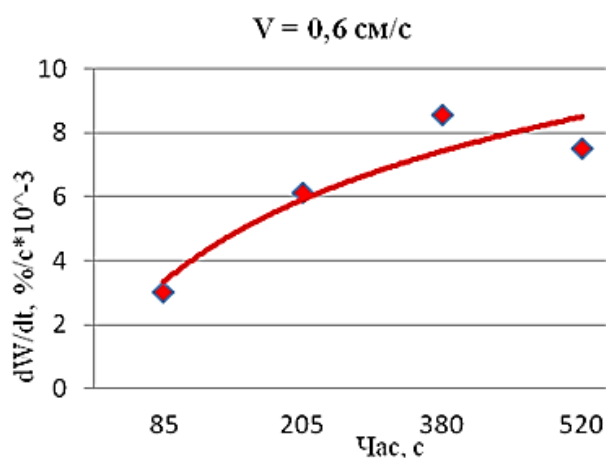


Рис. 6. Зміна швидкості інфрачервоного сушіння сої залежно від часу при швидкості транспортування продукції 0,6 см/с.

Таким чином, найбільш ефективним робочим режимом транспортування сої в умовах терморадіаційного сушіння є інтервал швидкостей 0,15...0,4см/с.

*Висновки.* Запропоновано процес міжопераційного віброхвильового транспортування сипкої продукції у конвеєрній інфрачервоній установці, що дозволяє отримати необхідну спіралевидну траєкторію руху зернівок сої при неперервному перемішуванні шарів продукції без застосування спеціалізованих механічних пристроїв для проведення вказаних операцій у робочій зоні. За результатами експериментальних досліджень найбільш ефективним робочим режимом транспортування сої в умовах терморадіаційного сушіння є інтервал швидкостей 0,15...0,4см/с.

#### Література:

1. Технологічні властивості сировини: навч. посібник / *О. П. Прісс, С. В. Кюрчев, В. Ф. Жукова, Н. А. Гапрідашвілі*. Мелітополь, Херсон : Олді -плюс, 2014. 224 с.

2. Технологічне обладнання для переробки продукції рослинництва : навч. посібник / *В. Ф. Ялчак [та ін.]*. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2017. 278 с.

3. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* Обґрунтування параметрів процесу інфрачервоного сушіння зернової продукції з віброхвильовим конвеєром // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. Одеса, 2018. Вип. 82, т. 1. С.122-127.

4. *Богданов Є. В., Кюрчев С. В.* Теоретичне дослідження явища резонансу дебалансного вібраційного дозатора сипких матеріалів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 6. С. 65-69.

5. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* Тенденції розвитку конвеєрних вібраційних сушарок // The development of technical sciences: problems and solutions: the international research and practical conference (Brno city, 27–28 April 2018). Brno, 2018. P. 9-12.

6. *Паламарчук І. П., Кюрчев С. В., Верхованцева В. О.* Застосування вібротехнологій у процесах зберігання сільськогосподарської продукції // Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали ІV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Умань, 17-18 травня 2018 р.). Умань, 2018. С. 113-115.

7. *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 П. М. Василенка (м. Київ, 17-19 жовтня 2018 р.). Київ, 2018. С. 84-85.

## ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕЖОПЕРАЦИОННОЙ ВИБРОВОЛНОВОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ СОИ ПРИ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКЕ

Паламарчук И. П., Кюрчев С. В., Верхоланцева В. А., Кюрчева Л. М., Стручаев Н. И.

*Аннотация* – статья посвящена проблеме снижения энергозатрат на процесс сушки сои, путем рассмотрения межоперационной транспортировке к сушке. Приведенные результаты практических исследований с использованием виброволновой инфракрасной сушки. Процесс межоперационной транспортировки сыпучей продукции в установке, позволяет получить необходимую спиралевидную траекторию движения сои при непрерывном перемешивании слоев без применения специализированных механических устройств.

## JUSTIFICATION OF KINEMATIC PARAMETERS OF INTER-OPERATING VIBROWAVE SOFTWARE AND FOR ITS INFRARED DRYING

I. Palamarchuk, S. Kiurchev, V. Verkholantseva, L. Kiurcheva, N. Strouchayev

### *Summary*

The article is devoted to the problem of reducing energy consumption for the process of drying soybeans, by considering the inter-operational transportation to drying. The basic characteristics of vibration are considered: amplitude of oscillation, vibration velocity and vibration acceleration, which influence on interoperative transportation to drying of infrared irradiation of soy. Short-term intense infrared exposure of the surface layer of raw products carries both problems: of their overheating and uneven layer processing. Their promising solution has become the usage of vibrating conveyor and wave techniques. They allow creating favourable conditions for intensifying of the production process and applying effective methods of exposure of its object; implementing continuous process movement; creating general control on dynamic status of the system; minimizing mechanical and thermal damages to the object. Saving and rationalizing the harvest of crops for important crops, skin products, skin conditioners, independent of the structure, the volume of the workplace and other demonstrations. The results of practical research using vibro-infrared drying. Considered a change in the speed of infrared drying of soybean depending on the time at the speed of transportation of products Represented by changes in humidity during the We want to note that the process of transportation is carried out on the peculiarity of the contraction of the vibration-conveyer infrared dryer, which consists of the rollers located on the eccentric shaft.