

УДК 534.1

## ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ВІБРОХВИЛЬОВОЇ КОНВЕЄРНОЇ СУШАРКИ ДЛЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ СИПКОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

*Паламарчук Ігор Павлович д.т.н., професор*

*Цуркан Олег Васильович к.т.н., доцент*

*Паламарчук Владислав Ігорович асистент*

*Palamarchuk I.*

*Tsurkan O.*

*Palamarchuk V.*

*Vinnytsia National Agrarian University*

*Анотація:* в статті обґрунтовано конструктивно-технологічну схему конвеєрної віброхвильової інфрачервоної сушарки. Проведено аналіз існуючого обладнання для сушіння сільськогосподарської сировини із використанням інфрачервоного випромінювання. Доведено доцільність використання комбінованого метода у післязбиральній обробці та первинній переробці сільськогосподарської сировини.

*Ключові слова:* сушарка, післязбиральна обробка, сировина, вібрація, обробка.

### **Вступ**

Ключовою проблемою сільського господарства як і раніше залишається прискорене і стійке нарощування обсягів виробництва зерна. У зв'язку із цим, особливої актуальності набувають завдання післязбиральної обробки зерна.

На сільськогосподарській сировині працюють багато галузей промисловості: на 100 % — борошномельна і круп'яна; більш як на 90 % — цукрова, спиртова, крохмально-патокова, хлібопекарська, макаронна, пивоварна; більш як на 70 % — комбікормова. Використовується ця сировина у лакофарбовій, фармацевтичній, парфумерній, миловарній, авіаційній промисловості. Зберігається вона або у безпосереднього виробника, або в системі заготівель, де здійснюються переробка деяких її видів та реалізація.

**Метою роботи** є обґрунтування принципової схеми віброхвильової інфрачервоної конвеєрної сушарки та систематизація вібраційних теплообмінних установок для післязбиральної теплообмінної обробки сипкої сільськогосподарської продукції за рахунок аналізу даних процесів та обладнання.

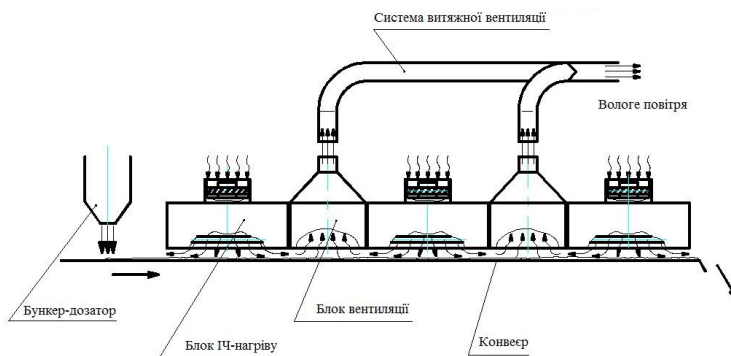
### **Викладення основного матеріалу.**

На сучасному етапі розвитку сушильного обладнання і технологій широко впроваджуються вібраційні та електрофізичні методи обробки сировини серед яких одним із важливих є процес теплової обробки з інфрачервоним нагрівом [1]. Його використання дає змогу значно інтенсифікувати процес сушіння, зменшити питомі витрати енергії і час обробки, забезпечити раціональні температурні режими, що підвищує якість продукції за рахунок зниження втрат маси і швидкості протікання небажаних фізико-хімічних змін і дає значний економічний ефект. Окрім того використання вібрації в процесі сушіння інфрачервоним випромінюванням забезпечує інтенсивне перемішування часток сировини між собою, постійне поновлення шару продукта, який знаходиться в зоні дії інфрачервоного випромінювача.

Враховуючи велику кількість проведених досліджень застосування інфрачервоного випромінювання в різних технологічних процесах [2], сконцентруємо увагу на аналізі обладнання комбінованих процесів, які включають інфрачервоний нагрів і вібраційну дію на продукт.

За комплексом конструктивно-технологічних класифікаційних ознак серед інфрачервоних сушарок можна відзначити такі основні групи: камерні, конвеєрні, вібраційні та комбіновані. У сучасних переробних сільськогосподарських виробництвах саме останні набувають все більшого попиту завдяки високій продуктивності та технологічній гнучкості.

Конструктивно інфрачервоні сушарки, залежно від виду об'єкта сушіння, можуть мати різне виконання, але все ж можна виділити загальні ознаки, характерні для всіх видів ІЧ-сушарок конвеєрного виконання (рис. 1) [3].



*Рис. 1. Технологічна схема конвеєрної інфрачервоної сушарки*

Продукт, що піддається сушінню, з бункера-дозатора надходить на конвеєр. Залежно від фракційного складу об'єкта сушіння це може бути сітковий, пластинчастий транспортер або віброконвеєр. Швидкість руху продукту по конвеєру може регулюватися. Дозатор бункера забезпечує рівномірний розподіл продукту по ширині конвеєра і необхідну подачу продукту за одиницю часу. Над конвеєром встановлені нагрівальні блоки і чергуються з ними блоки вентиляції.

У нагрівальних блоках як джерело ІЧ-випромінювання використовуються високотемпературні інфрачервоні галогенові лампи. Кількість блоків ІЧ-нагріву, їх потужність, типи використовуваних ламп може змінюватися в залежності від конкретного завдання. З причини високого теплового навантаження, що припадає на нагрівальний блок, елементи конструкції блоку охолоджуються повітрям. Охолоджуюче повітря виходить з блоку через перфоровані поверхні між ІЧ-лампами, нагрівається і додатково переносить тепло до об'єкта сушіння. Одночасно він екранує зону сушіння від більш холодного зовнішнього повітря. Блоки вентиляції, розташовані між нагрівальними блоками, служать для видалення в процесі сушіння парів води. При необхідності, в процес сушіння можуть бути включені зрушувачі для перемішування продукту.

Компанія «ТехноАгроСервіс» розробила наступні марки сушильних установок, залежно від продуктивності і виду застосовуваних інфрачервоних випромінювачів (електричні чи газові): «Ураган» - 100, 200; «Ураган XXI» - 350E, 350Г, 700E, 700Г; «Торнадо XXI» - 500E, 500Г, 1000E, 1000Г [4]. Обидва види установок спроектовані із застосуванням однакових технічних рішень, що забезпечують найоптимальніші теплофізичні, аеродинамічні і технологічні показники серед існуючих аналогів.

Інфрачервоні конвеєрні сушарки безперервної дії «Ураган-100» (рис. 2), «Ураган-200» включають в себе три стрічки з нержавіючих сіток, автономно регульовані за швидкостями, в процесі роботи сушильної установки товщина шару продукту регулюється автоматично. Крім того, в установках використовується U-подібне продування. Під час роботи установка виконує автономне введення повітря, а також вихід водяної пари за межі приміщення, завдяки чому не змінюються умови всередині приміщення (установки інших виробників здійснюють забір повітря прямо з приміщення).

Енергоспоживання інфрачервоної сушарки «Ураган-100/200» становить 1кВт·год на випаровування 1 кг води (у інших установок цей показник становить 1,7-3,5 кВт·год/кг). Сушарка автоматично завантажує продукт з бункера і розподіляє його на сітку. Продуктивність інфрачервоних конвеєрних сушарок безперервної дії по різним видам сировини при сушінні до вологості 10%

(кг/год.): коренеплоди - 120/240; картопля - 140/280; цибуля - 110/220; зернові - 120/240; кісточкові - 100/200; баштанні - 100/200; ягоди - 80/160; крупи (по вареній крупі) - 120/240; м'ясо, риба - 100/200.



Рис. 2. Конвеєрна інфрачервона сушарка «Ураган-100»

Також відомі сушильні установки УСК (рис. 3) [5], оскільки вони найбільш повно відповідають технологічним умовам по продуктивності і по якості виконання технологічного процесу.

Конструкція сушильної установки УСК передбачає використання технології високотемпературного сушіння. При цьому використовується метод переривчастого опромінення, при якому нагрів продукту ІЧ-променями поєднується з охолодженням повітрям. Перевага ІЧ-опромінення в тому, що його енергія розсіюється слабо і прогріває колоїдні речовини на глибину до 2 мм. Навіть присутній на поверхні продукту тонкий шар пароповітряної суміші не представляє перешкоди для ІЧ-променів.



Рис. 3. Конвеєрна інфрачервона сушарка типу УСК

Особливостями установки сушильної конвеєрної (УСК) є:

- вартість сушильної конвеєрної установки нижча в порівнянні з усіма існуючими сушильними установками;
- використання сушильної конвеєрної установки виключає ручну працю;
- крім того, сушіння ІЧ-нагрівальними елементами значно знижує енерговитрати і збільшує ефективність, оскільки діапазон їх випромінювання кратний резонансній частоті коливань  $H_2O$  (молекул води).

Установка для інфрачервоного сушіння високоволової зернової сировини УТЗ-4 "М-500" (рис. 4) призначена для покращення харчових властивостей зернових, олійних і крохмаловмісних зернових культур, для консервування методом сушіння високо вологої (40-50%) зернової і соковитої сировини (варених круп, пророщеного насіння, фруктів і овочів) [5]. Працює в режимі інтенсивного ІЧ-енергопідводу, що дозволяє за 90 – 110 с випарувати до 25% вологи з оброблюваного матеріалу. При цьому вода усередині матеріалу переходить у пар, що створює підвищений тиск всередині об'єкта сушіння та роздуває його структуру. Роздута пухка структура досушується нагрітим повітрям за 5-6 хв. до кінцевої вологості. Таким чином, загальний час сушіння до вологості 12-14% не перевищує 8-10 хв.

Питоме енергоспоживання при сушінні високоволової сировини ІЧ-методом менше 1,5 кВт на 1 кг випаровуваної вологи. Час сушіння 8-10 хв, габаритні розміри в порівнянні з паровими

сушарками зменшуються в 3-4 рази.



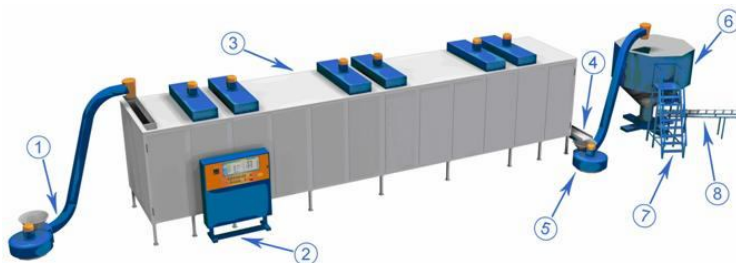
*Рис. 4. Інфрачервона конвеєрна сушарка УТЗ-4 «М-500»*

Установка призначена для експлуатації всередині приміщення, повинна бути обладнана місцевою витяжною вентиляцією або підключена до системи цехової витяжної вентиляції.

Універсальна конвеєрна сушильна установка безперервної дії (рис. 5) призначена для обробки продукції, яка базується на принципі спільного застосування спеціально розроблених інфрачервоних випромінювачів з підвищеним терміном служби розташованих по всій сушильній площині і конвекційного процесу попередньо нагрітим повітрям. Слід зазначити, що система обдуву продукту сконструйована зональним чином, тобто кожна стрічка є окремою кліматичною зоною з регульованою температурою, вологістю і швидкістю потоку повітря.

За додатковою домовленістю інфрачервона сушарка може бути переоснащена нагрівальними елементами сушильної камери на інший вид енергоносія (природний газ, мазут, дизпаливо).

Подальший розвиток конвеєрних інфрачервоних сушарок відбувається з використанням «вібраційного технологічного поля».



*Рис. 5. Технологічна схема універсальної конвеєрної інфрачервоної сушарки: 1 – пневмоукладчик (робоча поверхня з нержавіючої сталі), або подаючий транспортер (залежно від продукції); 2 – пульт керування (управління конвеєрами, контроль температури, вологості ін.); 3 – сушильна камера (з трьома сушильними зонами, з частотними перетворювачами на вентиляторах); 4 – вібротранспортер; 5 – пневмотранспортер подаючий; 6 – бункер-накопичувач (бункер стабілізації для остаточного вирівнювання вологи продуктів); 7 – сходи; 8 – транспортер (для вивантаження готової продукції)*

Вібраційні сушарки з інфрачервоними випромінювачами (СВИК) [6] відносяться до сушильних установок віброкиплячого шару з енергопідведенням в електромагнітному полі інфрачервоного діапазону (ІЧ). Енергопідведення до об'єкта сушіння в електромагнітному полі сприяє значній інтенсифікації процесу тепло- і масообміну, підвищенню якості продукту і створює сприятливі умови для автоматизації процесу.

При ІЧ-опроміненні процес сушіння інтенсифікується завдяки значній щільності теплового потоку на поверхні матеріалу (на порядок більше, ніж при конвективному сушінні), розсіюванню в об'єкті сушіння потоку, поглиненого поверхневим шаром, і часткового проникненню енергії всередину матеріалу.

Дані процеси відзначаються такими особливостями:

- висока інтенсивність тепло- і масообмінних процесів при обробці віброкиплячого шару ІЧ-випромінюванням високої щільності;
- гнучка система контролю і управління, що дозволяє ведення позонної обробки в широкому температурному діапазоні;
- поєднання в одному апараті транспортної та технологічної операцій;
- високий ступінь рівномірності обробки матеріалу;
- відсутність виносу часток продукту з шару;
- мала інерційність процесу.

В процесі обробки під дією вібраційних коливань на оброблюваний шар продукту він набуває властивостей текучості, розпушується, перемішується і транспортується в заданому напрямку. Всі частки продукту при цьому піддаються обробці інфрачервоним випромінюванням, створюваним кварцевими галогенними лампами, встановленими над шаром. Завдяки високій щільності теплового потоку і його проникаючій здатності відбувається швидкий прогрів та сушіння продукту. Для інтенсифікації тепломасообміну сушіння ведеться в осцилюючому режимі, а в зонах термообробки передбачено введення нагрітого повітря.

Вібросушарка з інфрачервоними випромінювачами СВИК (рис. 6) являє собою горизонтальний вібраційний конвеєр (1) з робочим органом у вигляді прямокутного лотка (2) з корозійно-стійкої сталі. Зверху над лотком стаціонарно розташовані касети (3) інфрачервоних випромінювачів, секції відведення парів (4) і секція охолодження продукту (5). Початкова ділянка лотка прогривається касетою встановленої знизу.

Кожна касета ІЧ-випромінювачів (кварцові галогенні лампи КГТ з колірною температурою розжарення 2500 К) забезпечена вбудованим вентилятором (6) з секторною заслінкою, яка забезпечує охолодження контактів ламп і подачу нагрітого повітря в зону сушіння. Касети та секції шарнірно встановлені на круглій штанзі для підняття і повороту їх при технічному обслуговуванні ламп і лотка. Секції відводу парів і секція охолодження матеріалу з'єднані гнучкими повітроводами (7) відповідно з витяжним і припливним вентиляторами.

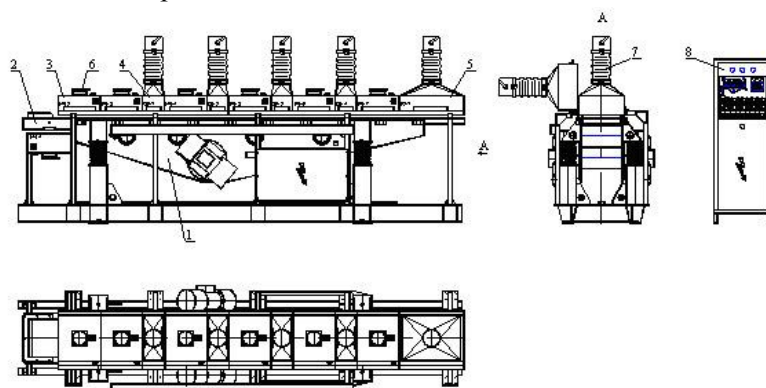


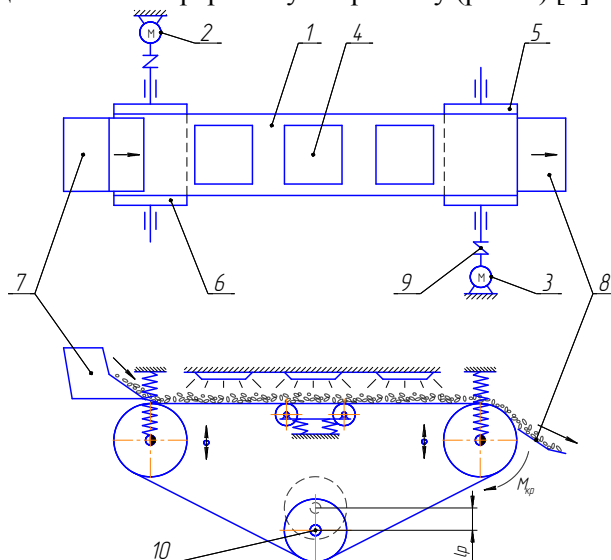
Рис. 6. Схема вібраційної інфрачервоної сушарки типу «СВИК»

Матеріал, що надходить в сушарку під дією вібрації безперервно переміщується по лотку, послідовно проходячи під касетами ІЧ-випромінювачів і секціями відведення парів. Мікрохвильове інфрачервоне випромінювання, що генерується кварцевими галогенними лампами, проходить крізь шар, перетворюється на теплову енергію, нагріває матеріал і випаровує з нього вологу. Повітря, що подається вентилятором, вбудованим в касету, проходить всередині неї по каналах, охолоджує контакти ламп, нагрівається при цьому і надходить у зону сушіння, забезпечуючи конвективний тепло- і масообмін та видалення парів вологи. Відведення насиченого вологою повітря здійснюється витяжним вентилятором через секції відведення парів, з'єднаних гнучкими повітроводами з

коллектором. Висушений матеріал перед вивантаженням з сушарки охолоджується повітрям, що подається припливним вентилятором в секцію охолодження.

Швидкість транспортування матеріалу і час його обробки регулюється зміною швидкості обертання вібраторів. Температура лотка під касетами контролюється контактними термопарами, температура матеріалу на виході з сушарки контролюється безконтактним датчиком (пірометром).

Комбінування розглянутих вище процесів дозволяє істотно поліпшити експлуатаційні характеристики інфрачервоних сушарок, що було втілено у розробленій віброхвильовій конвеєрній сушарці на базі кафедри процесів та обладнання переробних і харчових виробництв імені професора П.С. Берника Вінницького національного аграрного університету (рис. 7) [7].



**Рис. 7. Конструктивно-технологічна схема конвеєрної віброхвильової інфрачервої сушарки: 1 – стрічка; 2, 3 – вібробудувачі; 4 – інфрачервоні випромінювачі; 5, 6 – котки; 7 – живильник; 8 – приймальний бункер; 9 – гнучка муфта; 10 – натяжний коток**

На відміну від вібраційних конвеєрних сушарок розроблена установка містить гнучкий вантажонесучий орган, на якому створюється біжуча або стояча хвиля при роботі механічних вібробудувачів 2, 3. Така хвиля сприяє як транспортуванню продукції, що надходить з живильника 7, так і інтенсивному її перемішуванню. Тим самим зменшується теплова інтенсивність на поверхневий шар при збереженні достатньо високої швидкості потоку. При цьому достатньо забезпечити коливання тільки котків 5, 6 для підтримання високої кінетики досліджуваного процесу, що значно зменшує енерговитрати на привод порівняно з вібраційними конвеєрними установками.

### Висновки

1. Розглянуті варіанти виконання установок для сушіння з ІЧ-випромінюванням у віброкиплячому шарі вказують на доцільність більш широкого впровадження цього прогресивного комбінованого метода у післязбиральній обробці та первинній переробці сільськогосподарської сировини.

2. Розвиток конструктивної та технологічної досконалості інфрачервоних сушарок для післязбиральної обробки сипкої сільськогосподарської сировини спостерігається від камерних, конвеєрних, вібраційних до комбінованих установок.

3. Розроблена віброхвильова конвеєрна інфрачервона установка дозволяє, при збереженні всіх позитивних якостей конвеєрних та вібраційних сушарок, у 3...5 разів зменшити енерговитрати на привод, істотно знизити металоємкість конструкції (приблизно у 4...6 разів) та поліпшити технологічну гнучкість процесу.

### Список використаних джерел

1. Материалы шестой Всесоюзной научно-технической конференции «Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья». - Москва: 1989. - 416с.
2. Инфракрасное излучение в пищевой технологии / В.В. Красников, А.С. Гинзбург, В.И. Сыроедов, Г.Н. Федутина // Материалы пятой Всесоюзной научно-технической конференции «Электрофизические методы обработки пищевых продуктов». - М.: МТИММП.- 1985. – С. 12-16.
3. Конвейерная инфракрасная сушилка с механическим перемешиванием объекта сушки [Электронный ресурс]/Производственная Компания "Старт".— Режим доступа: \www/ URL: <http://pcstart.ru/infrared/infrashushka/>— 2009 г.
4. Сушильные установки, инфракрасная сушка пищевых продуктов [Электронный ресурс] / ТОО«ТехноАгроСервис». — Режим доступа: \www/ URL: <http://tass.kz/wordpress/glavnaya/oborudovaniye/>— 2013 г.
5. Конвейерные сушильные установки [Электронный ресурс] / Производственное конструкторское бюро "ПКБ Малышева". — Режим доступа: \www/ URL: <http://pkbm.ru/konveiersuhka/>— 2013 г.
6. Сушилка вибрационная с ик-излучателями СВИК-150 [Электронный ресурс] / Производственная Компания "Старт".— Режим доступа: \www/ URL: <http://pcstart.ru/infrared/sushilkavibro/>— 2009 г.
7. Вібраційна конвеєрна сушарка з інфрачервоними випромінювачами: патент України №87767 / І.П. Паламарчук, В.М. Бандура, В.І. Паламарчук // заявл. 28.02.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4. — 4 с.

### References

1. The proceedings of the sixth all-Union scientific-technical conference "electro-physical methods of food processing and agricultural raw materials." -Moscow: 1989. -416p.
2. Infrared radiation in food technology/V. Krasnikov, A. Ginzburg, V. Sirojedov, G. Fedutina //materials of the fifth all-Union scientific-technical conference "electro-physical methods of food processing." -M.: MTIMMP.-1985. -P. 12-16.
3. Conveyor infrared dryer with mechanical stirring drying object [electronic resource]/Production company "Start".-The access mode:/WWW/URL: <http://pcstart.ru/infrared/infrashushka/>— 2009 y.
4. Drying machines, infrared drying of foods [electronic resource]/TOO "TehnoAgroServis". — Mode of access: WWW/URL: <http://tass.kz/wordpress/glavnaya/oborudovaniye/>— 2013 y.
5. Conveyor drying machines [electronic resource]/Production design Bureau "PCB Malysheva". — Mode of access: WWW/URL: <http://pkbm.ru/konveiersuhka/>— 2013 y.
6. The vibrating dryer with infrared emitters SWICK-150 [electronic resource]/Production company "Start".-The access mode:/WWW/URL: <http://pcstart.ru/infrared/sushilkavibro/>— 2009 y.
7. Vibration conveyor dryer with infrared radiators: patent of Ukraine № 87767/ I. Palamarchuk, V. Bandura, V. Palamarchuk // subm. 28.02.2013; eg. 25.02.2014, No. 4. -4 p.

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИНФРАКРАСНОЙ ВИБРОВОЛНОВОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ СУШИЛКИ ДЛЯ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЫПУЧЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

**Аннотация:** в статье обосновано конструктивно-технологическую схему конвейерной виброволновой инфракрасной сушилки. Проанализировано действующее оборудование для сушки сельскохозяйственного сырья с использованием инфракрасного излучения. Доказано целесообразность использования комбинированного метода в послеуборочной и первичной переработке сельскохозяйственного сырья.

**Ключевые слова:** сушилка, послеуборочная обработка, сырье, вибрация, обработка.

## JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SCHEME OF INFRARED VIBROWAVE CONVEYOR DRYER FOR POST-HARVEST PROCESSING OF GRANULAR AGRICULTURAL PRODUCTS

**Summary:** the article is constructive-technological scheme of conveyer vibrowolnovoj infrared dryers. Analysis of the operating equipment for drying agricultural materials using infrared radiation. Proven usefulness of combined method in postharvest and primary processing of agricultural raw materials

**Keywords:** dryer, post-harvest processing, raw material, vibration, handling.