

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ШАРА СЫРЬЯ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

*Валентина Бандура, Олег Цуркан, Владислав Паламарчук*  
*Винницкий национальный аграрный университет*  
*Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E-mail: tsurkan\_ov@i.ua*

*Valentina Bandura, Oleg Tsurkan, Vladislav Palamarchuk*  
*Vinnytsia National Agrarian University*  
*St. Solnechnaya, 3, Vinnytsia, Ukraine. E-mail: tsurkan\_ov@i.ua*

**Аннотация.** В статье обосновано применение инфракрасного (ИК) излучения для сушки движущихся на ленточном конвейере семян масличных культур как одного из эффективных методов обработки. Показано его все большее применение в разных отраслях народного хозяйства вследствие ряда преимуществ перед известными способами тепловой обработки.

На разработанном и изготовленном образце экспериментальной конвейерной установки для ИК сушки исследован механизм и кинетика процесса сушки целых семян рапса и сои с помощью ИК-излучения, которые движутся на ленточном конвейере.

По результатам экспериментальных исследований установлено рациональное количество ИК-излучателей и их мощность, расстояние до обрабатываемого сырья, а также скорость движения конвейера и его удельная загрузка.

**Ключевые слова:** кинетика, сушка, ИК излучение, рапс, соя.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На современном этапе развития процессов и оборудования для сушки зерна сельскохозяйственных культур остаются актуальными вопросы разработки и создания высокоэффективной сушильной техники. Так при сушке тонны зерна, в среднем, необходимо удалить 70-80 кг влаги, что при урожае в 35-40 млн. тонн требует 0,4-0,7 млн. тонн условного топлива, а затраты времени на сушку достигают до 70% всего времени на послепосевную обработку урожая [7].

Одним из направлений интенсификации процесса сушки есть использование разных методов, в том числе физических – ИК нагрева с одновременным перемещением обрабатываемого шара сырья. Но без учета высокой интенсивности инфракрасного излучения невозможно получить техническую систему, обеспечивающую более равномерную и достаточно продуктивную тепломассообменную обработку, в частности, семян масличных культур.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Метод ИК излучения является одним из перспективных физических методов обработки сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов [4]. Благодаря преимуществам перед традиционными способами тепловой обработки его все больше используют в различных отраслях пищевой промышленности и ресторанном хозяйстве [9, 10, 16]. ИК-обработка используется для бланширования, обжарки и сушки плодоовощного сырья, пастеризации молока, соков, вин и пива, тепловой обработки мясопродуктов, приготовления гриль-продукции из разных видов пищевого сырья [2, 8, 14]. Использование ИК излучения, как эффективного метода термоподготовки материала масличных культур перед извлечением масла, во-первых, обеспечивает инактивацию антипитательных веществ - трипсинного ингибитора и фермента уреазы, по активности которой определяют уровень токсичности; во-вторых, создает кратковременное интенсивное тепловое воздействие, что дает возможность получить высококачественные макух и масло; в-третьих, дает возможность перерабатывать масличные семена в зоне их выращивания, в фермерских хозяйствах и других агропредприятиях, в линиях для производства растительного масла малой мощности. По этому, отпадает необходимость строительства дорогой котельной, которая обеспечивает производство технологическим паром.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определить основные параметры кинетики процесса сушки целых семян рапса и сои с использованием конвейерной установки для ИК сушки с целью определения ее рабочих параметров, а также эффективную интенсивность инфракрасных излучателей для исследуемой технической системы.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

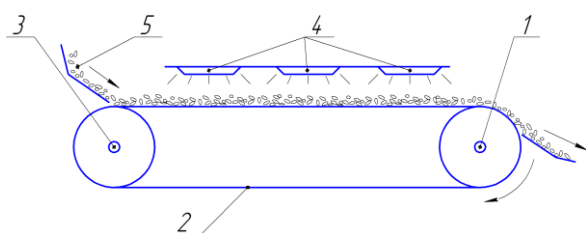
Для установки с ИК излучением для сушки семян масличных культур ее аппаратно-конструктивные особенности на уровне функционально-конструктивных элементов и узлов определены следующими условиями: во-первых, они должны обеспечить, с учетом начальных технологи-

ческих особенностей объекта переработки, необходимый уровень активности антипитательных веществ и влажности; во-вторых, конструктивными решениями в организации ИК излучения, которые обеспечивают необходимую энергетическую и технологическую эффективность процесса; в-третьих, способом механического воздействия, которое обеспечивает транспортирование и перемешивание материала.

В процессе обработки продукт подается на ленту транспортера, над которой находятся генераторы ИК излучения. Суть процесса обработки пищевого сырья в поле ИК излучения в условиях открытого рабочего пространства заключается в том, что электромагнитные волны от источника излучения проникают в продукт на глубину до 2 мм и частично или полностью поглощаются в нем. При этом электромагнитная энергия преобразуется в тепловую, которая нагревает продукт. Кроме этого, нагрев продукта происходит конвективно, то есть при нагревании горячим воздухом рабочего пространства до температуры 175...250°C.

Процесс обработки в ИК оборудовании осуществляем в два этапа: первый этап – обработка продукта при максимальной температуре источника ИК излучения до появления на поверхности изделия корочки; второй этап – приведение продукта к полной готовности при уменьшенной постоянной температуре генераторов. Уменьшение температуры на втором этапе производится с помощью уменьшения электрической мощности или увеличением расстояния продукта к источнику ИК излучения. Конструктивные решения по компоновке блока ИК-ламп и самих генераторов обеспечивают достижение равномерного облучения в соответствии с требованиями переработки соответствующего масляного материала [6, 15], в том числе и по наличию антипитательных веществ [5].

Для изучения влияния технологических, энергетических и конструктивных параметров при ИК излучении на эффективность удаления влаги из продукта была создана экспериментальная установка, которая представлена на рис. 1 [1, 3, 11].



**Рис. 1.** Схема экспериментальной конвейерной установки для ИК сушки: 1 – приводной каток; 2 – лента; 3 – натяжной каток; 4 – инфракрасные излучатели; 5 – продукция

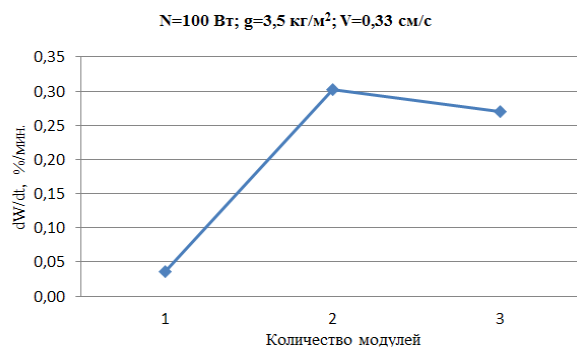
**Fig. 1.** Chart of experimental conveyer fluidizer IR dryings: 1 – is a drive skating rink; 2 – is a ribbon; 3 – is a natyazhnoy skating rink; 4 – are infra-red emitters; 5 – are products

Она работает следующим образом: на ленту подается определенное количество целого зерна рапса или сои, получая при этом значения удельной загрузки равными соответственно 1,5; 3,5; 5 кг/м<sup>2</sup>. После этого приводят в движение ленту со скоро-

стью 0,13; 0,33, 0,54 см/с. Во время движения ленты под инфракрасными излучателями продукция испытывает влияние излучения определенной мощности 100, 200, 300 Вт. При этом по ходу ленты включали один, два или три излучателя.

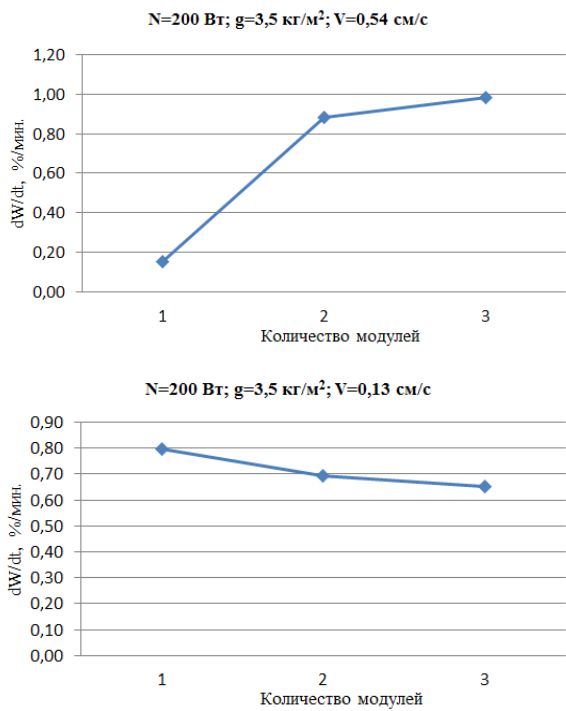
По результатам исследований было установлено [12, 13], что использовать мощность излучателей 200 Вт при удельной загрузке больше 3,5 кг/м<sup>2</sup> нецелесообразно, так как большой шар продукции не дает возможности инфракрасным лучам обрабатывать все зерна, особенно при достаточно больших скоростях движения ленты. Ограничение мощности установлено таким, потому что при увеличении мощности свыше 200 Вт через высокую температуру может происходить повреждение продукции, а использование нескольких излучателей даст больший эффект от сушки чем один, но с большей мощностью. Извлечение влаги с помощью нескольких излучателей эффективнее с той точки зрения, что характер протекания процесса определяется механизмом перенесения влаги в материале и механизмом перенесения влаги с поверхности материала в окружающую среду через поверхностный шар, который находится возле самой поверхности материала. По этому сушка в несколько этапов позволяет предотвратить создание на поверхности материала корочки, которая будет способствовать замедлению процесса переноса влаги. А короткие перерывы между этапами сушки позволяют влаге распределиться из середины материала к его поверхности.

Как показали результаты экспериментальных исследований, при увеличении количества модулей излучателей и скорости транспортировки сырья большей чем 0,33 см/с скорость сушки возрастает; для скорости 0,13 см/с – меняется незначительно (рис. 2-6). Резкое увеличение данных показателей прослеживается при использовании двух излучателей. Снижение скорости сушки имеет место не только для скоростей транспортирующей ленты порядка 0,1-0,13 см/с, но и при падении мощностей излучателей ниже 100 Вт (рис. 2) при снижении производительности процесса либо удельной нагрузки сырья меньше чем 1,5 кг/м<sup>2</sup> (рис. 5).



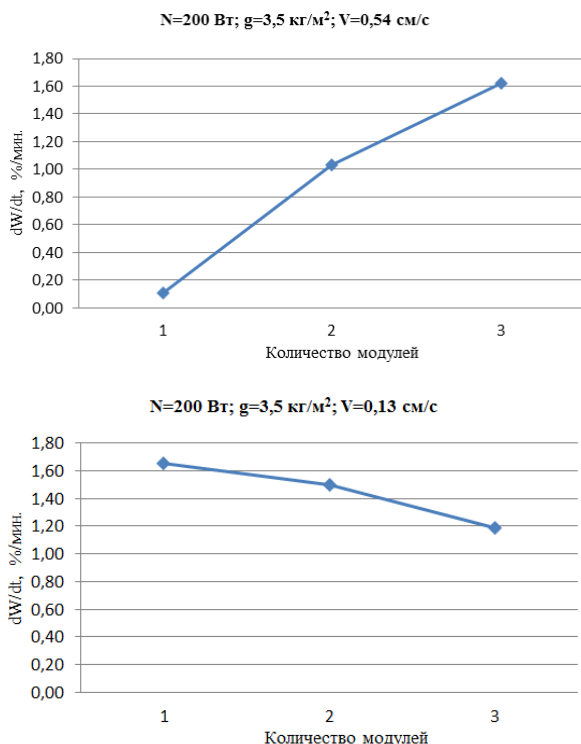
**Рис. 2.** Зависимость снижения влажности для зерна сои при изменении количества излучателей

**Fig. 2.** Dependence of decline of humidity for grain of soy at the change of amount of emitters



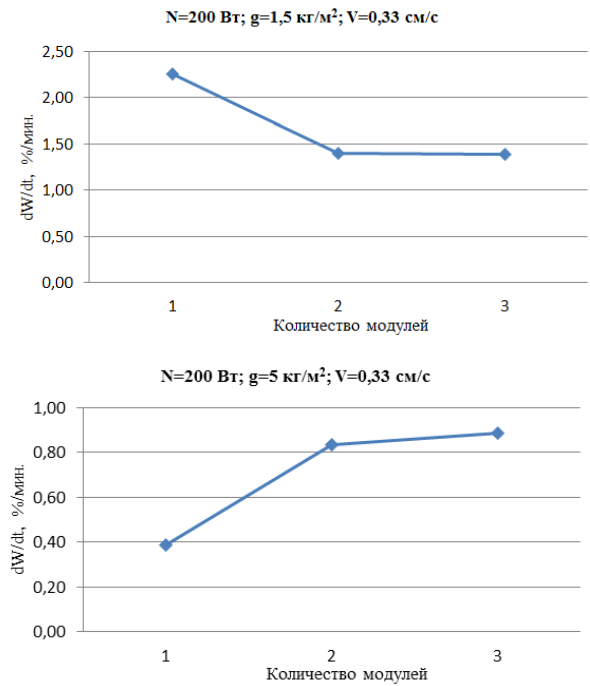
**Рис. 3.** Зависимости снижения влажности для зерна сои при изменении количества излучателей и скорости транспортировки

**Fig. 3.** Dependences of decline of humidity for grain of soy at the change of amount of emitters and speed of transporting



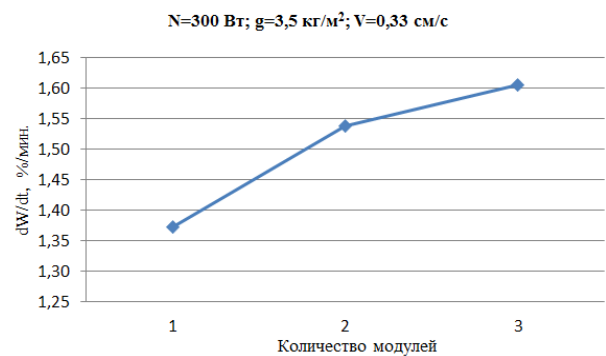
**Рис. 4.** Зависимости снижения влаги для зерна рапса при изменении количества излучателей и скорости транспортировки

**Fig. 4.** Dependences of decline of moisture for grain of rape at the change of amount of emitters and speed of transporting



**Рис. 5.** Зависимости снижения влаги для зерна рапса при изменении количества излучателей и удельной загрузки

**Fig. 5.** Dependences of decline of moisture for grain of rape at the change of amount of emitters and specific load



**Рис. 6.** Зависимость снижения влаги для зерна рапса при изменении количества излучателей

**Fig. 6.** Dependence of decline of moisture for grain of rape at the change of amount of emitters

Еще одним важным результатом, полученным при проведении экспериментов, есть значительно большее извлечение влаги (на 30-40%) из семян рапса по сравнению с семенами сои. Это объясняется меньшими размерами каждого семени рапса, а также его увеличенной поглощающей способностью за счет темного цвета.

## ВЫВОДЫ

1. Исследование кинетических параметров инфракрасной сушки семян масличных культур показали эффективность обработки в условиях подвижного слоя сырья, в частности для его скорости 0,33 см/с.

2. Показано, что эффективным вариантом, для исследуемой технической системы, есть использование 3-х излучателей мощностью по

200 Вт при удельной загрузке не больше 3,5 кг/м<sup>2</sup> и скорости ленты до 0,33 см/с, что можно использовать при проектировании установок с ИК излучением для сушки семян масличных культур, а именно рапса и сои.

3. Установлено, что больший влагосъем достигается у семян меньших размеров и с темной окраской поверхности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бандура В.Н., В.И. Паламарчук. 2012.** Экспериментальные исследования кинетики сушки рапса и сои в неподвижном шаре в инфракрасном поле. Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. Вып. 41, том 2, 110-113. (Украина).
2. **Беляев М., Пахомов П. 1991.** Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов: моногр. Х.: ХИОП, 160.
3. **Паламарчук И.П., Бандура В.Н., Паламарчук В.И. 2014.** Вибрационная конвейерная сушилка с инфракрасными излучателями: патент Украины №87767, заявл. 28.02.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4, 4. (Украина).
4. **Гинзбург А.С. 1966.** Инфракрасная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая пром-сть, 398.
5. **Деревенко В.В. 2004.** Основные технологические закономерности термодготовки масличного материала к извлечению масла // XXIV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.П. Макеева: сб. тр. – Миасс, 144-146.
6. **Зверев С.В., Тюрев Е.П., Сю Чжи Цзюнь. 1997.** Оптимизация параметров блока излучателей при инфракрасном нагреве сои // Международная научно-техническая конференция „Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности”. Тезисы докладов. – Воронеж, 180-181.
7. **Снежкин Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Чалаев Д.М. 2012.** Теплонасосная зерносушилка для семенного зерна. - К.: ТОВ „Полиграф-Сервис”, 154. (Украина).
8. **Красников В.В., Гинзбург А.С., Сыродов В.И., Федутин Г.Н. 1985.** Инфракрасное излучение в пищевой технологии / // Материалы пятой Всесоюзной научно-технической конференции «Электрофизические методы обработки пищевых продуктов» М.: МТИММП, 12-16.
9. **Лебедев П.Д. 1955.** Сушка инфракрасными лучами. – М.: Госэнергоиздат, 265.
10. **Левитин И.В. 1981.** Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. – Л.: Энергоиздат, 264.
11. **Паламарчук И.П., Цуркан О.В., Паламарчук В.И. 2015.** Обоснование конструктивно-технологической схемы инфракрасной виброволновой конвейерной сушилки для послеуборочной обработки сыпучей сельскохозяйственной продукции // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. Серия: Технические науки. - Вып. № 1(89). Том 1, 117-123. (Украина).
12. **Паламарчук И.П., Бандура, В.И. Паламарчук В.М. 2013.** Анализ динамики виброконвейерной технологической системы с кинематическим комбинированным вибровозбуждением. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 15. No.4. 314-323.
13. **Паламарчук И.П., Драчишин В.И., Паламарчук В.И. 2014.** Обоснование структурных составляющих виброконвейерной машины для поверхностной упрочняющей обработки рабочих органов сельскохозяйственных машин. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 16. No.4. 132-141.
14. **Рогов Н.А. 1988.** Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 272.
15. **Сафаров А.Ф. 1991.** Влаготепловая обработка масличных культур // Дис. доктора техн. наук. Ташкент, 288.
16. **Топольник В.Г., Коренец Ю.М. 2007.** Оценка качества ИК-оборудования с открытой рабочей зоной для заведений ресторанного хозяйства. Оборудование и технологии пищевых производств. Вып. 16, 87-93. (Украина).

#### EXPERIMENTAL STUDY OF PROCESS PARAMETERS INFRARED DRYING MOVING BALL OF RAW OILSEEDS

**Summary.** In the article application (IR) of infrared is reasonable for drying of locomotive on a band conveyer seed of oil-bearing cultures as one of effective methods of treatment. His all greater application is shown in different industries of national economy because of row of advantages before the known methods of thermal treatment.

On the worked out and made standard of the experimental conveyer setting for IR drying a mechanism and kinetics of process of drying of whole seed of rape and soy are investigational by means of infrared Emission, that move on a band conveyer.

On results experimental researches the rational amount of IR heating and their power, distance to the processed raw material, and also rate of movement of conveyer and his specific loading, is set.

**Key words:** kinetics, drying, IR heating, rapeseed, soybean.