

<http://smart-lab.ru/uploads/images/01/18/31/2014/07/03/8dec28.jpg>. - 02.12.2015 4. Titanovyye deformirovannyye splavyi [Elektronnyy resurs] / Rezhim vyiborki: http://libmetal.ru/titan/ti_2.jpg. - 11.12.2015 5. Ryabinin, A. V. Perspektivnyy elektroshlakovogo pereplava titana [Tekst] / A. V. Ryabinin // Spetsialna metallurgiya: vchora, sododni, zavtra. 2010. - S. 30-36 / Rezhim vyiborki: http://www.fhotm.kpi.ua/sworks/05/ryabinin_article_2010.pdf 6. Ryabitshev, A. D., Troyanskiy, A. A. (2015). Rafinirovaniye titana pri elektroshlakovom pereplave. Rezhim vyiborki: <http://science.donntu.org/data/mainmenu/innovations/002-DonNTU-Ryabceev.pdf>, 25.09.2015 7. Samuelsson, E., Maurer, G. E., Schlienger, M. E., Haun, R. E., Krafcik, J. S. (2015). Plasma Cold Hearth Remelting of UDIMET Alloy 718. Rezhim vyiborki: http://www.tms.org/superalloys/10.7449/1992/Superalloys_1992_195_2_04.pdf 8. Plasma coating. (2015). Aluminium titan oxide. Rezhim vyiborki:

<http://www.plasmajet.be/en/services/thermal-spray-coatings/plasma-coating/>. 9. Kovalchuk, D. V., Kondratiy, N. P. (2015). Elektronno-luchevoy pereplav titana – problemy i perspektivy razvitiya. Rezhim vyiborki: [file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Doklad CHervona KHvilya na konferentsii Ti-2008 v SNG.pdf](file:///C:/Users/Ivan/Downloads/Doklad%20CHervona%20KHvilya%20na%20konferentsii%20Ti-2008%20v%20SNG.pdf). 10. Paton, B. E., Trigub, N. P., Ahonin, S. V. (2010). Proizvodstvo krupnotonnaznykh slitkov titanovykh splavov metodom elektronno-luchevoy plavki. Titan, No 2 (27), 31–35. 11. Aleksandrov, A. V., Afonin, E. A., Dello, S. A., Kollerov, M. Yu., Konstantinov, V. V., Kuznetsov, S. Yu., Polkin, I. S. (2010). Osnovy plavki titana i splavov na ego osnove v usta-novke s holodnym tigem. Titan, No 2 (27), 36–41. 12. Volkov, A. E. (2010). Novaya tehnologicheskaya shema proizvodstva vyisokokachestvennykh titanovykh splavov iz othodov i nedroblenoy gubki. Titan, No2 (27), 42–49.

Поступила (received) 23.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Червоний Іван Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006; тел.: (061) 227-12-27; e-mail: rot44@yandex.ru.

Червоний Іван Федорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006;

Chervony Ivan – doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department; Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006;

Голобородько Єлизавета Арсенівна – студент, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006.

Голобородько Єлизавета Арсенівна – студент, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006.

Goloborodko Elizaveta – student, Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006

Мамотенко Владлена Ігорівна – студент, Запорозька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, г. Запоріжжя, Україна, 69006.

Мамотенко Владлена Ігорівна – студент, Запорізька державна інженерна академія, Кафедра металургії кольорових металів; пр. Леніна 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006.

Mamotenko Vladlena – student, Zaporozhe State Engineering Academy; Department of Non-Ferrous Metallurgy; Lenin 226, Zaporozhe, Ukraine, 69006

УДК 644.8:658.562.5

А. Н. ЗАГОРУЛЬКО, А. Е. ЗАГОРУЛЬКО, Л. В. КИПТЕЛЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ИК-СУШИЛОК

В работе представлены исследования основных этапов проектирования тепловых аппаратов, поскольку существующие ИК-сушилки имеют недостатки в виде большой производительности, длительной тепловой обработки, значительной энерго- и металлоемкостью, а так же не обеспечивают равномерность тепловых потоков на приемных поверхностях. В связи с этим возникает актуальность в детальном исследовании этапов проектирования современных автоматизированных энергоэффективных ИК-сушилок периодического и непрерывного действия для производства высококачественных сушеных полуфабрикатов из растительного плодоягодного сырья.

Ключевые слова: этапы, проектирование, разработка, ИК-сушилка, растительное плодоягодное сырье, оптимальная форма, равномерность.

Введение. Существующие ИК-аппараты характеризуются длительностью тепловой обработки, энерго- и металлоемкостью, а так же не обеспечивают равномерность тепловых потоков на приемных поверхностях. В связи с этим возникает актуальность в детальном исследовании этапов проектирования современных автоматизированных энергоэффективных ИК-аппаратов. Основной проблемой при разработке ИК-сушилок для сушки растительного сырья является: фиксированные геометрические размеры (формы аппаратов), не равномерность температурного поля на приемных поверхностях, а так же отсутствует возможность использования вторичного воздуха с пользой для технологического процесса. Возникают также сложности в ходе автоматизации процесса сушки с

использованием инерционных генераторов (ТЕНы, кварцевые лампы), имеющих высокую температуру рабочей поверхности, что усложняет конструкцию аппаратов и снижает качество продукции [1-4].

Природным источником для производства сушеных полуфабрикатов с большим содержанием БАВ является растительное плодоягодное сырье, обладающее так же лечебно-профилактическими свойствами [5-6].

Целью работы является исследование этапов проектирования энергоэффективных ИК-сушилок.

Методика экспериментов. Для достижения поставленной цели работы ассистентом кафедры про-

© А. Н. Загорюлько, А. Е. Загорюлько, Л. В. Киптеля. 2015

цессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств Харьковского государственного университета питания и торговли были проведены экспериментальные исследования по определению основных этапов

проектирования энергоэффективных аппаратов на базе созданных и разработанных ИК-сушилок (рис. 1), а так же анализ полученных результатов в современных компьютерных программах.



Рис. 1 – Пошаговые этапы исследований по проектированию энергоэффективных ИК-сушилок

В первом этапе исследований была разработана экспериментальная ИК-сушилка с верхним расположением рефлектора (рис. 2), состоящая из рабочей камеры 1, рефлектор 2, направляющих для лотков 3, патрубка отведения конденсата 4, кварцевого ИК-излучателя 5, лотка с продуктом 6, термопары 7, регулятора температуры ТРМ 8 и монтажной шпильки 9.

В начале исследований сначала определялась начальная влажность образца, после чего растительное сырье (яблоко) сушилось под кварцевым излучателем с взвешиванием каждые пять минут. Сушка длилась до достижения установившейся массы.

В результате проведенных исследований были определены основные факторы, уровни и интервалы их варьирования, которые в значительной степени влияют на сушку органического сырья. В качестве основных были выбраны следующие параметры: X_1 – расстояние от излучателя до продукта; X_2 – расстояние от излучателя до отражателя; X_3 – длительность процесса; X_4 – высота слоя продукта. Уровни и интервалы варьирования факторов ИК-сушки представлены в табл. 1.

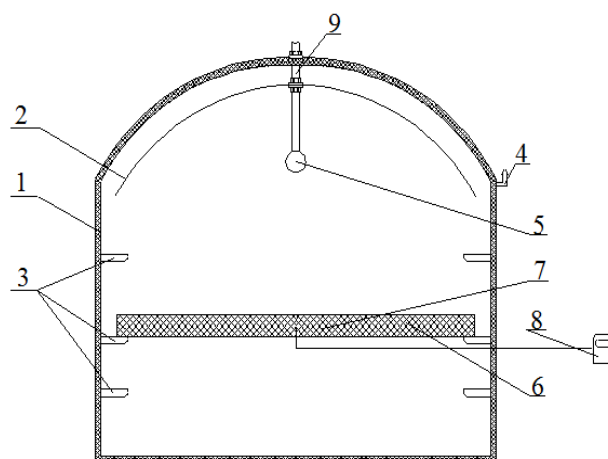


Рис. 2 – Экспериментальная ИК-сушилка с верхним расположением рефлектора: 1 – рабочая камера; 2 – рефлектор; 3 – направляющие для лотков; 4 – патрубок для отведения конденсата; 5 – кварцевый ИК-излучатель; 6 – лоток с продуктом; 7 – термопары; 8 – регулятор температуры ТРМ-101; 9 – монтажная шпилька

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов ИК-сушки

Уровень	Фактор			
	Расстояние от излучателя до продукта X_1 , мм	Расстояние от излучателя до отражателя X_2 , мм	Продолжительность сушки X_3 , мин	Высота слоя продукта X_4 , мм
Основной	225	25	30	7
Верхний	275	75	90	17
Нижний	175	50	150	24

Функцией отклика Y была выбрана окончательная влажность продукта, которая стабилизировалась в процессе сушки. В результате статистической обработки экспериментальных данных было получено линейное уравнение регрессии (1), которое отражает взаимодействие между факторами эксперимента и откликом:

$$Y = 45,0866 + 0,0441 \cdot X_1 - 0,0347 \cdot X_2 - 0,2825X_3 - 8,3972 X_4 \quad (1)$$

Гипотеза является достоверной, на что указывает критерий Фишера ($F < 5\%$). Так же было исследовано влияние геометрической формы рефлекторов на равномерность распределения теплового потока на приемных поверхностях, изменении высот размещения линейного кварцевого ИК-излучателя и приемной поверхности (сетчатого поддона), согласно указанных параметров для этих условий (рис. 3) на смену влагосодержания растительного сырья, продолжительность процесса и качество полученной продукции.

Представлена проекция ИК-лучей и распределение теплового потока на приемную поверхность при использовании цилиндрического в рабочей камере полученная с помощью компьютерной программы TracePro (рис. 4, 5), при расстоянии линейного кварцевого ИК-излучателя – 50 мм, высоте приемной поверхности – 175 мм и толщине слоя растительного сырья 1,7 мм.

Данные высоты расположения ИК-излучателя и приемной поверхности обеспечивают равномерное температурное поле, а видимые пиковые зоны интенсивного нагрева находятся за пределами поддона и не влияют на качество полученной продукции.

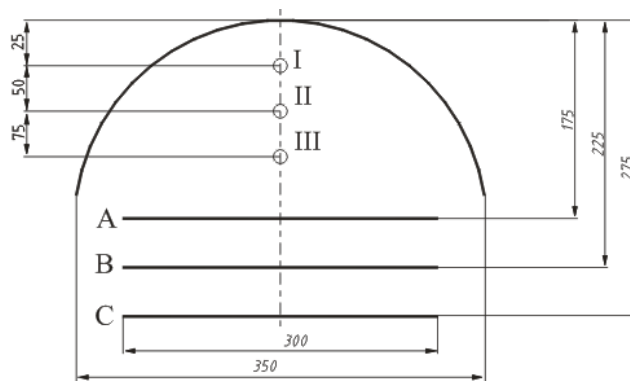


Рис. 3 – Схема геометрического расположения кварцевого ИК-излучателя и приемной поверхности

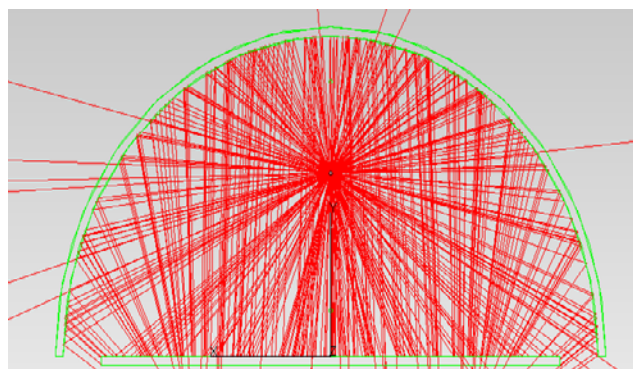


Рис. 4 – Проекция ИК-лучей теплового потока на приемную поверхность при использовании цилиндрического рефлектора

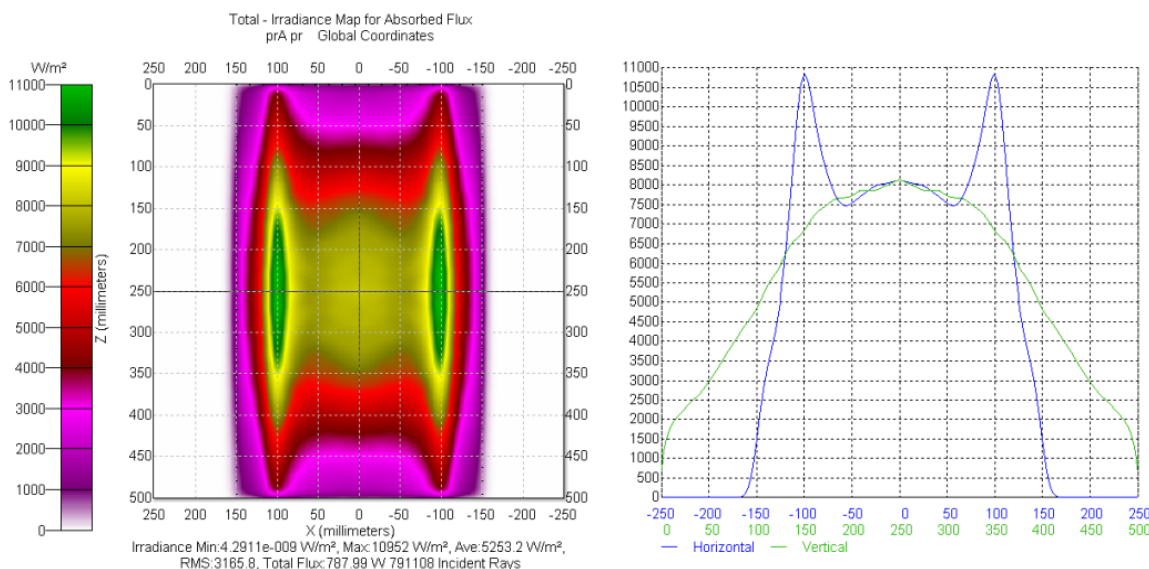


Рис. 5 – Распределение теплового потока на приемной поверхности при использовании цилиндрического рефлектора

Недостатком данной установки является небольшая производительность за счет установки только одного лотка, снижение коэффициента отражения рефлектора за счет попадания на его поверхность конденсата.

Детальный анализ полученных результатов ИК-сушилки с верхним расположением рефлектора позволил модернизировать установку за счет изменения геометрического размещения рефлектора в плоскости ИК-сушилки.

Было предложено вынести рефлектор за границы приемной поверхности. Усовершенствованная ИК-сушилка, представленная на рис. 6 состоит из теплоизолирующего корпуса 1, лотков с продуктом 2, направляющих для лотков 3, нагнетателя воздуха 4, распределительной решетки для потока воздуха 5, рефлектора 6, ИК-излучателей 7, патрубка для отвода конденсата 8 и стоек 9 [7].

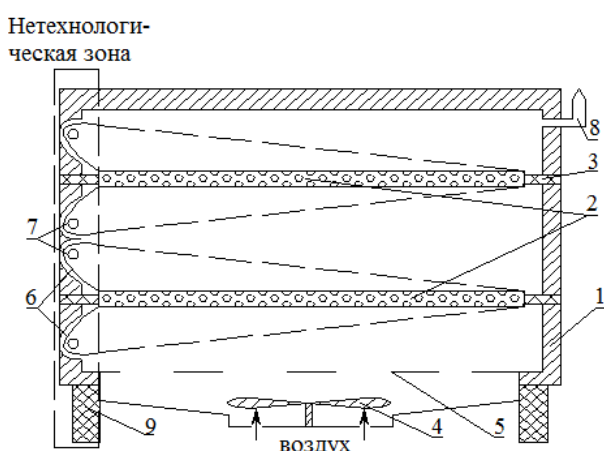


Рис. 6 – ИК-сушилка с вынесенными рефлекторами за пределы приемной поверхности

Разрез теплотехнической системы ИК-сушилки, проведенный нормально к осям излучателей, показан на рис. 7 и состоит из кварцевых излучателей 1, рефлекторов 2 и плоского приемника тепловых лучей (лотка с сырьем) 3.

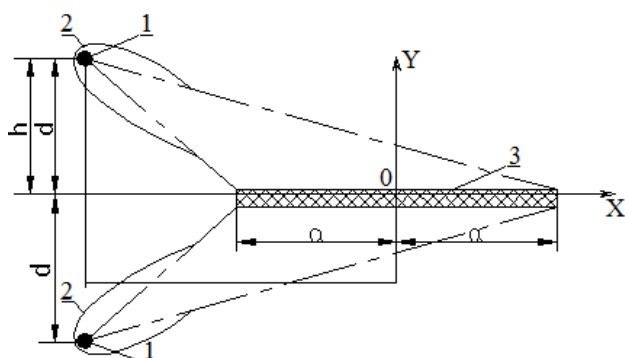


Рис. 7 – Схема разреза теплотехнической системы ИК-сушилки

Определим профили двух цилиндрических рефлекторов при условии, что плотность облучения приемной поверхности является постоянной величиной во всех точках на его поверхности. Исследования

проводили в двухмерной постановке, где: a – половина ширины приемника 3, h – высота расположения излучателей над поверхностью рабочего тела, d – расстояние от концов излучателей до середины приемника (при условии, что $h = d$ в геометрическом расположении).

Очевидно, что плотность облучения рабочего тела состоит из двух величин:

$$q = q_1(x) + q_2(x), \quad (2)$$

где $q_1(x)$ – плотность облучения приемника лучами, которые поступают непосредственно от излучателя; $q_2(x)$ – плотность облучения приемника лучами, которые отражаются от поверхности рефлекторов.

Исходя из этого, получаем:

$$\begin{aligned} q_1(x) &= q_{1L}(x) + q_{1R}(x), \\ q_2(x) &= q_{2L}(x) + q_{2R}(x), \end{aligned} \quad (3)$$

где $q_{1L}(x)$ – плотность излучения верхнего ИК-излучателя; $q_{1R}(x)$ – плотность излучения нижнего ИК-излучателя.

При вынесении рефлекторов за приемную поверхность лотка обеспечивается равномерное температурное поле на нижней и верхней поверхностях приемного лотка, что позволило увеличить высоту слоя продукта и интенсифицировать процесс сушки без применения вибрации [5, 6].

Недостатком данной сушилки является образование нетехнологической зоны со стороны расположения блока рефлекторов (рис. 6), что приводит к увеличению металлоемкости, трудности замены контактных дорожек ИК-излучателей.

Данные исследования позволили разработать и спроектировать две конструкции энергоэффективные ИК-сушилок, а именно:

- Вальцовых ИК-сушилка непрерывного действия (рис. 8) для сушки предварительно концентрированных многокомпонентных паст с содержанием сухих веществ – 28...30 СР и последующим досушиванием до окончательного влагосодержания 6...8 %. Предложенный аппарат работает в комплексе с роторно-пленочным аппаратом (РПА), который предназначен для размещения на линиях производства сушеных порошкообразных полуфабрикатов из растительного сырья.

- «Вертикальная цилиндрическая ИК-сушилка» (ВЦ-ИК-20) периодического действия с возможностью 85% -го использования вторичного воздуха и встряхивания с целью перемешивания и предотвращения слипания сырья при термической обработке (рис. 9). Разработанная конструкция предназначена, прежде всего, для использования в небольших фермерских хозяйствах расположенных непосредственно у роста и переработки растительного сырья или в домашнем быту [8].

Установка состоит из вертикальной цилиндрической рабочей камеры 1, стоек 2, распределительной решетки 3 для поступления потока свежего воздуха, регулирующей заслонки 4, встряхивающего ролико-

вого механизма 5, кольцевого барботера 6, продольных рабочей камере гибких карбоновых прямоугольных ИК-излучателей 7, отражающей фольги с теплоизолирующим листовым алюфомом 8, крышки с затяжными фиксаторами 9, вытяжного вентилятора 10, нагнетающего канала 11, регулирующей задвижки 12, монтажных шпилек 13, фиксатора 14, штатива 15 и сетчатых лотков 16.

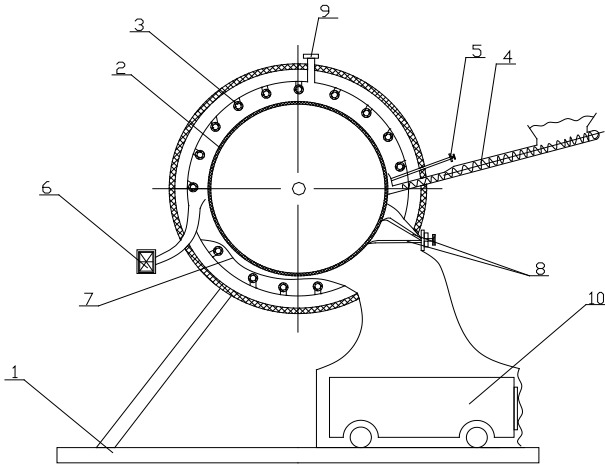


Рис. 8 – Вальцовая ИК-сушилка для сушки многокомпонентных паст

Работа аппарата ВЦ-ИК-20 заключается в следующем: растительное сырье загружается на сетчатые лотки 14, которые фиксируются с помощью монтажной шпильки 16 на штативе 13. После этого штатив с лотками устанавливается в фиксирующем устройстве 12 крышки 8 с затяжными фиксаторами и вытяжным вентилятором 10 и загружается в цилиндрическую вертикальную рабочую камеру ИК-сушилки 1, установленной на стойках 2, где сырье сушится при температуре 40...60 °С. Отработанный нагретый воздух, подается вентилятором 10, установленным в вытяжной улитке по нагнетающему каналу 11 в трубчатый теплообменник 4, установленный в нижней нетехнологической зоне сушилки и предназначен для подогрева свежего воздуха на 5 °С.

Разработанный механизм для встряхивания сетчатых поддонов 5, встряхивающий сетчатые лотки 14, предотвращая слипание сырья, а также интенсифицируя процесс ИК-сушки растительного сырья.

Для интенсификации сушки растительного сырья вертикальная ИК-сушилка оборудована встряхивающим роликовым механизмом, используемым для перемешивания и предотвращения слипания продукта.

С целью определения равномерности распределения теплового потока на приемных поверхностях (сетчатых поддонах с растительным сырьем) применяли компьютерную программу TracePro, которая основывается на утверждении – угол падения луча равен углу отражения. Программа случайным образом выбирает точки на поверхности излучателей и направление движения лучей и автоматически вычисляет их траекторию. На (рис. 10) представлено распределение тепловых потоков на приемных поверхностях в ВЦ-ИК-20.

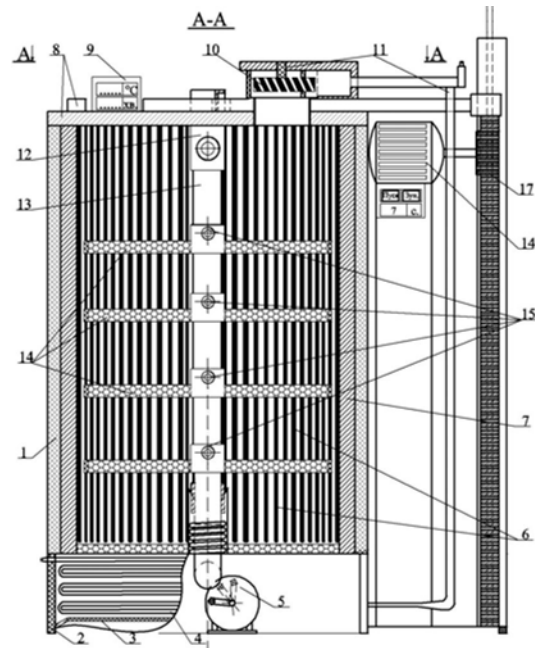


Рис. 9 – Вертикальная цилиндрическая ИК-сушилка ВЦ-ИК-20: 1 – вертикальная цилиндрическая рабочая камера; 2 – стойки; 3 – распределительная решетка для поступления свежего воздуха; 4 – трубчатый теплообменник; 5 – механизм для встряхивания; 6 – продольные рабочей камере ИК-излучатели; 7 – отражающая фольга с теплоизолирующим листовым алюфомом; 8 – крышка с затяжными фиксаторами; 9 – блок САУ; 10 – вентилятор, установленный в вытяжной улитке; 11 – нагнетающий канал; 12 – фиксатор; 13 – штатив; 14 – сетчатые лотки; 15 – подъемный механизм; 16 – монтажные шпильки; 17 – прямоугольная направляющая

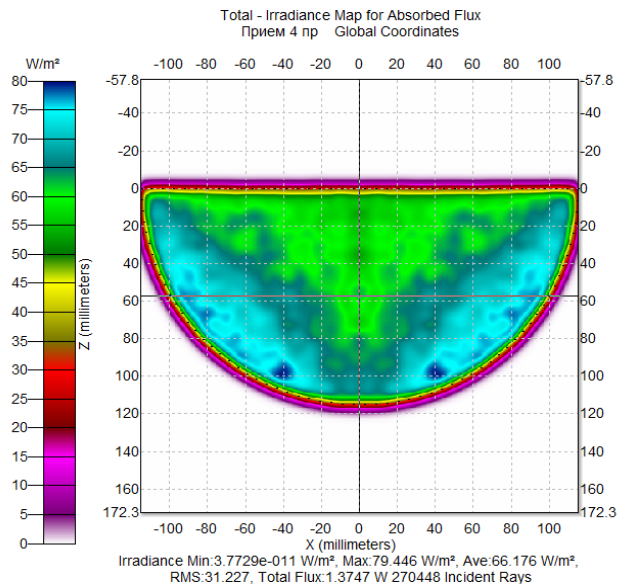


Рис. 10 – Распределение тепловых потоков на приемной поверхности

Таким образом, констатируем, что все точки рабочей поверхности, как это и предсказывала теория, прогреваются равномерно, а незначительная неравномерность, которая изображается изменением цвета отдельных участков при переходе от одной точки рабочей поверхности к другой, объясняется погрешностями метода вычислений, используемого программой TracePro

Для подтверждения равномерности распределения теплового потока были получены в реальном времени результаты температурных параметров на приемной поверхности (сетчатого поддона) со следующей схемой расположения термопар на его поверхности с помощью контрольно-измерительного комплекса ТРМ 101 (рис. 11). Предложенное

расположение термопар позволяет получать полную визуальную картину в реальном времени с помощью компьютерного интерфейса RS-485, относительно равномерности температурного поля на приемной поверхности в процессах ИК-сушки растительного сырья [9–10].

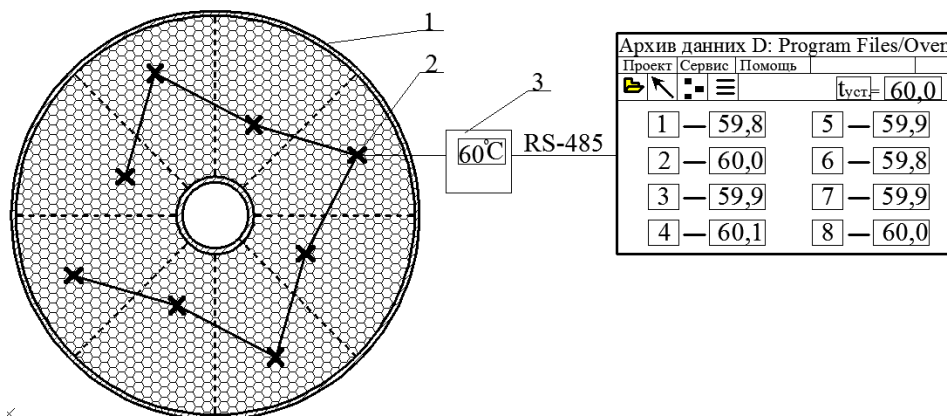


Рис. 11 – Схема размещения термопар на приемной поверхности (сетчатого поддона) с указанием в реальном времени температурного параметра (60 оС)

Анализируя полученные данные с контрольно-измерительного прибора ТРМ101, можно утверждать, что обеспечивается равномерность теплового потока на приемных поверхностях, а незначительное отклонение температурного поля от установленного температурного параметра в 60 оС, можно считать в условиях экспериментальной погрешности, поскольку колебания составляет температурной разницы составляет: 2...1 °С и является не значительным (в пределах ошибки эксперимента).

Выводы. Данные исследования позволили разработать оптимальные конструкции энергоэффективных ИК-сушилок непрерывного и периодического действия, которые имеют следующие преимущества: равномерный тепловой поток по всей приемной поверхности с растительным сырьем (в лотках и между ними) за счет геометрических формы ИК-сушилок; возможность использования вторичного (нагретого) воздуха и встряхивания для интенсификации процессов ИК-сушки растительного плодоягодного сырья; низкая энерго- и металлоемкость конструкций аппаратов по сравнению с существующими аналогами.

Список литературы: 1. Шаззо, Р. И. Продукты детского питания из растительного и мясного сырья инфракрасной сушки. Хранение и переработка сельхозсырья [Текст] / Р. И. Шаззо, Г. П. Овчарова. – 2005. – No 1. – С. 50–52. 2. Jaros, M. Theoretical models for fluid-bed drying of cut vegetables [Text] / M. Jaros, S. Pabis // Biosyst. – 2006. – Eng. 93. – pp. 45–55. 3. Лыков, А. В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 471 с. 4. Касаткин, В. В. Сушка термостабильных материалов на установках непрерывного действия

[Текст] / В. В. Касаткин, И. Ш. Шумилова // Пищевая промышленность. – 2006. – No 10. – С. 12–13. 5. Алексанян, И. Ю. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование [Текст]: монография / И. Ю. Алексанян, А. А. Буйнов. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. – 380 с. 6. Pabis, S. The first period of convection drying vegetables and the effect of shape-dependent shrinkage [Text] / S. Pabis, M. Jaros // Biosyst. – 2002. – Engin. 81. – pp. 201–21. 7. Киптелая, Л. В. ИК-сушка плодоягодного сырья [Текст] / Л. В. Киптелая, А. Н. Загорулько // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – Вып. 2. – С. 80–86. 8. ІЧ-сушарка органічної рослинної сировини [Текст]: Патент No 106461 Україна, A23N 12/08 B01D 1/00 / Черевко О. І., Киптєлая Л. В., Загорулько А. М., (Україна). – No a 2013 14949; заявл. 20.12.2013; опубл. 26.08.2014, Бюл. No 16. – 3 с. 9. Мачкаши, А. Лу- чистое отопление [Текст] / А. Мачкаши, Л. Банхиди. – М.: Стройизд-дат, 1985. – 464 с. 10. Брамсон, М. А. Инфракрасное излучение нагретых тел [Текст] / М. А. Брамсон. – М.: Наука, 1965. – 222 с.

Bibliography (transliterated): 1. Shazzo, R. I., Ovcharova, H. P. (2005). Produkty detskoho pitaniia iz rastitel'noho i miasnoho syr'ia infrakrasnoi sushki. Khranenie i pererabotka sel'khozsyry'a, 1, 50–52. 2. Jaros, M., Pabis, S. (2006). Theoretical models for fluid-bed drying of cut vegetables. Biosyst. Eng. 93: pp. 45–55. 3. Lykov, A. (1968). Theory of Drying. Moscow: Energia, 471. 4. Kasatkin, V., Shumilova, I. (2006). Drying heat-sensitive materials in a continuous action. Food and Beverage, 10, 12–13. 5. Aleksanyan, I. Y., Bujnov, A. A. (2004). High-intensity drying foods. Penosushka. Theory. Practice. Modelling. Astrakhan Univ ASTU, 380. 6. Pabis, S., Jaros, M. (2002). The first period of convection drying vegetables and the effect of shape-dependent shrinkage. Biosyst. Engin. 81: pp. 201–211. 7. Kiptelaya, L., Zagorulko, A. (2014). YK-sushka plodoiahodnoho syria. Nauchnyi zhurnal NYU YTMO. Seryia Protessy y apparaty pyshecheykh proizvodstv, 2, 80–86. 8. Cherevko, A., Kiptela, L., Zagorulko, A. (2014). IR drying of organic plant material. Patent No 106 461 Ukraine, A23N 8/12 1/00 V01D. No a 2013 14949. Appl. 12/20/2013. Bull. No 16, 3. 9. Machkashi, A., Banhidi, L. (1985). Radiant heating. Moscow: Stroyizdat, 464. 10. Bramson, M. (1965). Infrared radiation from hot bodies. Moscow: Science, 222.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Загорулько Андрей Николаевич – ассистент, Харьковский государственный университет питания и торговли, кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, ул. Клочковская 333, г. Харьков, 61051; тел.: (050) 547-41-73; e-mail: match_andrey@mail.ru.

Загорулько Андрій Миколайович – асистент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв, вул. Клочківська 333, м. Харків, 61051;

Zagorulko Andrey – assistant, Kharkov State University of Food Technology and Trade, assistant of processes, devices and automation of food production, st. Klochkovskaya 333, Kharkov, 61051; tel.: (050) 547-41-73;

Загорулько Алексей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, Харьковский государственный университет питания и торговли, кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств ул. Клочковская 333, г. Харьков, 61051; тел.: (093) 827-38-66; e-mail: panamari@mail.ru.

Загорулько Олексій Євгенович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський державний університет харчування та торгівлі, кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв вул. Клочківська 333, м. Харків, 61051; тел.: (093) 827-38-66; e-mail: panamari@mail.ru.

Zagorulko Aleksey – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Kharkiv State University of Food and Trade, an assistant professor of processes, devices and automation of food production, st. Klochkovskaya 333, Kharkov, 61051;

Киптелая Людмила Васильевна – доктор технических наук, профессор, кафедра процессов, аппаратов и автоматизации пищевых производств, Харьковский государственный университет питания и торговли ул. Клочковская 333, г. Харьков, 61051; тел.: (067)-988-51-52; e-mail: Kiptelaya@mail.ru.

Киптела Людмила Василівна – доктор технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі, кафедра процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв вул. Клочківська 333, м. Харків, 61051; тел.: (067)-988-51-52; e-mail: Kiptelaya@mail.ru.

Kiptelaya Lyudmila – Professor, Doctor of technical sciences, Kharkiv State University of Food and Trade, an assistant professor of processes, devices and automation of food production, st. Klochkovskaya 333, Kharkov, 61051;

УДК 577.152.3 + 663.15

Т. С. ТОДОСІЙЧУК, О. М. ДУГАН

ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ОТРИМАННЯ ІММОБІЛІЗОВАНОГО ГІДРОЛІТИЧНОГО ФЕРМЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ

Робота присвячена дослідженню технологічних режимів іммобілізації гідролітичного ферментного комплексу (ГФК) з *Streptomyces albus* адсорбційним методом на аеросилі. Встановлено вплив температури, концентрації носія (аеросилу марки А-300) та тривалості іммобілізації на ефективність процесу та активність ферментного комплексу. Досліджена можливість іммобілізації ферментного комплексу безпосередньо в ході біотехнологічного процесу та показано її переваги порівняно з адсорбцією з розчину готового ферментного препарату. Результати дослідження можуть бути використані при розробці нормативно-технічної документації на виробництво іммобілізованого гідролітичного ферментного препарату (ГФП).

Ключові слова: гідролітичні ферменти, іммобілізація, абсорбція, літична активність, параметри, ферментний препарат.

Вступ. Гідролітичні ферменти знайшли застосування в широких галузях промисловості, медицини, народного господарства та науки завдяки своїй здатності до деградації різноманітних субстратів [1, 2]. Однак, у технології та медицині довгий час використовували препарати нативних ферментів, що обмежувало термін та умови їх використання. Іммобілізовані препарати, на відміну від нативних, мають ряд переваг: підвищена ефективність і стабільність, зручність та тривалість застосування [3-5]. Лише основні вказані переваги обумовлюють інтерес науковців до пошуку оптимальних умов іммобілізації різних гідролаз та виправдовують витрати на тривалі дослідження та розробку їх технологій.

Використання мікробного біосинтезу для отримання гідролітичних ферментів за своїми економічними показниками значно перевищує інші способи. Тому, доцільним є розробка мікробних ферментних препаратів, а суттєвими параметрами удосконалення біотехнологій іммобілізованих гідролаз є підбір оптимального носія, умов і режимів іммобілізації, зниження витрат на стадіях виділення продукту. Актуальність роботи в даному напрямку обумовлюється відсутністю вітчизняних біотехнологій іммобілізованих гідролітичних препаратів, реалізованих у промисловості. Поряд з цим важливе науково-практичне зна-

чення має дослідження методів модифікації ферментів з метою створення препаратів із високою активністю та контрольованою специфічністю.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Високий рівень витрат на виділення ферментних препаратів надає особливого значення вибору оптимальних шляхів отримання продукту. Вибір методів виділення у першу чергу залежить від фізико-хімічних властивостей культуральної рідини (КР), характеристик ферменту та вимог до його товарної форми (ступеня чистоти), а також пов'язаний з економічністю процесів.

Культуральна рідина, яку отримують після культивування продуцентів ферментів, містить велику кількість баластних речовин. В сільському господарстві можна використовувати практично неочищені ферментні препарати, але в таких галузях як харчова, текстильна промисловості й, особливо, в медицині використовують лише очищені препарати ферментів, частково або повністю звільненні від баластних речовин [4, 6]. При отриманні очищених ферментних препаратів біомасу продуценту разом із залишками поживного середовища відділяють фільтруванням, центрифугуванням або сепарацією.

Виділення ферментів з концентрованих розчинів можливо здійснити методом адсорбції. Цей метод до-