

О. Г. БУРДО, О. В. ГАВРИЛОВ, АЛЬХУРИ ЮСЕФ, ДАВАР РОСТАМИ ПУР, Я. О. МАСЕЛЬСЬКА

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Інтенсивний розвиток інноваційних зразків техніки випереджає рівень розвитку методологічних основ енергетичного менеджменту. Проблеми виникають при порівнянні енергоефективності електротехнологій і теплотехнологій, оскільки використовуються різні види енергії; відсутні об'єктивні показники ефективності використання енергії в різних технологіях зневоднення сировини. Запропоновано методологію, в основі якої покладена гіпотеза, що об'єктивні результати при порівнянні ефективності використання енергії при переробці сировини можна отримати на основі системного аналізу всього ланцюга конверсії енергії від палива до готового продукту. Пропонується використовувати показник частки енергії палива в готовому продукті і кількість вилученої вологи при спалюванні 1 кг палива. Такий показник не залежить від коливання цін на енергоносії, що характерно для України. Виконано аналіз теплових балансів сушильної і випарної установок. Показано, що при однакових технічних завданнях найгірше випарювання в разі ефективніше найкращої сушки. Наведено структурні моделі конверсії енергії при комбінованих процесах отримання концентрованих харчових продуктів. Розраховані за запропонованою методикою ефективність використання в готовому продукті енергії палива в традиційних схемах сушки, випарювання, криоконцентрування. Проведено порівняння цих параметрів з даними для інноваційних зразків техніки, розроблених в ОНАХТ. В основі цих установок технології адресної доставки енергії безпосередньо до вологи в продукті. Показано, що інноваційні випарні установки не поступаються за ефективністю традиційним, але дозволяють отримувати концентрати до 90 об'ємних часток. Мікрохвильові сушарки та установки блочного виморожування істотно перевищують традиційні аналоги. Так, для палива з нафтовим еквівалентом 40 МДж на 1 кг традиційні сушарки можуть видалити не більше 3 кг вологи, криоконцентратори - 20 кг. Інноваційні, відповідно, до 6 і до 100 кг вологи.

Ключові слова: паливо, волога, конверсія енергії, сушка, випарювання, криоконцентрування, енергоефективність.

О. Г. БУРДО, А. В. ГАВРИЛОВ, АЛЬХУРИ ЮСЕФ, ДАВАР РОСТАМИ ПУР, Я. А. МАСЕЛЬСКАЯ СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Интенсивное развитие инновационных образцов техники опережает уровень развития методологических основ энергетического менеджмента. Проблемы возникают при сравнении энергоэффективности электротехнологий и теплотехнологий, поскольку используются различные виды энергии; отсутствуют объективные показатели эффективности использования энергии в различных технологиях обезвоживания сырья. Предложена методология, в основе которой положена гипотеза, что объективные результаты при сравнении эффективности использования энергии при переработке сырья можно получить на основе системного анализа всей цепи конверсии энергии от топлива до готового продукта. Предлагается использовать показатель доли энергии топлива в готовом продукте и количество удаленной влаги при сжигании 1 кг топлива. Такой показатель не зависит от колебания цен на энергоносители, что характерно для Украины. Выполнен анализ тепловых балансов сушильной и выпарной установок. Показано, что при одинаковых технических задачах самая плохая выпарка в разы эффективней самой хорошей сушки. Приведены структурные модели конверсии энергии при комбинированных процессах получения концентрированных пищевых продуктов. Рассчитаны по предложенной методике эффективность использования в готовом продукте энергии топлива в традиционных схемах сушки, выпарки, криоконцентрирования. Проведено сравнение этих параметров с данными для инновационных образцов техники, разработанных в ОНАПТ. В основе этих установок технологии адресной доставки энергии непосредственно к влаге в продукте. Показано, что инновационные выпарные установки не уступают по эффективности традиционные, но позволяют получать концентраты до 90 % об. Микроволновые сушилки и установки блочного вымораживания существенно превышают традиционные аналоги. Так, для топлива с нефтяным эквивалентом 40 МДж на 1 кг традиционные сушилки могут удалить не более 3 кг влаги, криоконцентраторы – 20 кг. Инновационные, соответственно, до 6 и до 100 кг влаги.

Ключевые слова: топливо, влажность, конверсия энергии, сушка, выпарка, криоконцентрирование, энергоэффективность.

О. G. BURDO, O. V. GAVRILOV, ALKHURI YUSEF, DAVAR ROSTAMI PUR, YA. O. MASELSKA COMPARISON OF EFFICIENCY OF ENERGY TECHNOLOGIES WHEN USING DIFFERENT SOURCES OF ENERGY

The intensive development of innovative models of technology is ahead of the level of development of the methodological foundations of energy management. Problems arise when comparing the energy efficiency of electrical technologies and heat technologies, since different types of energy are used; there are no objective indicators of energy efficiency in various technologies of dehydration of raw materials. A methodology is proposed based on the hypothesis that objective results when comparing energy efficiency in the processing of raw materials can be obtained on the basis of a system analysis of the entire energy conversion chain from to finished product. It is proposed to use the indicator of the proportion of fuel energy in the finished product and the amount of moisture removed when burning 1 kg of fuel. This figure does not depend on fluctuations in energy prices, which is typical for Ukraine. The analysis of heat balances of the drying and evaporation plants. It is shown that with the same technical tasks the worst residue is many times more effective than the best drying. The structural models of in combined processes for the production of concentrated foods are presented. Calculated by the proposed method, the efficiency of use in the finished product energy of fuel in traditional schemes of drying, evaporation, cryoconcentration. A comparison of these parameters with the data for innovative models of technology developed in ONAT. The basis of these installations is the technology of targeted delivery of energy directly to moisture in the product. It is shown that innovative evaporators are not inferior in efficiency to traditional ones, but they allow to obtain concentrates up to 90 obrix. Microwave dryers and block freeze installations significantly exceed traditional counterparts. So, for fuel with an oil equivalent of 40 MJ per 1 kg, traditional dryers can remove no more than 3 kg of moisture, and cryoconcentrators – 20 kg. Innovative, respectively, up to 6 and up to 100 kg of moisture.

Keywords: fuel, moisture, energy conversion, drying, evaporation, cryoconcentration, energy efficiency.

Введение. Разработанная в 70-е годы прошлого столетия Глобальная прогнозная модель «Римского клуба» [1] определила приоритеты развития челове-

чества в XXI веке. Согласно этой модели острыми проблемами станут нехватка энергоресурсов, ухудшение экологии, нехватка пищи. В настоящее время

© О. Г. Бурдо, О. В. Гаврилов, Альхури Юсеф, Давар Ростами Пур, Я. О. Масельська, 2018

человечество активно ищет решение проблемы энергетической эффективности. Наиболее остро эти задачи характерны для Украины, которая из энергорасточительной, но энергообеспеченной, оказалась энергодефицитной страной, но до сих пор осталась энергорасточительной. Поэтому, энергетический кризис в Украине развивается чрезвычайно остро. При этом, в стране отсутствуют научно обоснованные Энергетические программы, нет действенной системы энергоменеджмента. В первую очередь это касается агропромышленного комплекса, который является лидером по объему потребляемых энергетических ресурсов в Украине. Удельные затраты энергии в АПК в 2–4 раза выше, чем в развитых странах.

В ближайшем будущем до 2030 года прогнозируется решение задач обеспечения мировой экономики энергией и обострение следующей проблемы – роста нагрузки на окружающую среду [2]. К концу столетия нас ожидает масштабный продовольственный кризис [3]. Преимущество в развитии получает сообщество, которые сумеют первыми выйти из этих кризисов. Решение проблем этих кризисов требует комплексного подхода.

Анализ литературных источников и формулировка гипотезы. Наиболее энергоемкими в АПК являются технологии обезвоживания пищевого сырья [4]. Преимущественно используются технологии перевода влаги в пар (выпарка, сушка). В последнее время растет интерес к вымораживающим процессам (переводу влаги в лед) [5, 6]. Энергетика принципов иллюстрируется рис. 1.



Рис. 1 – Классификация процессов обезвоживания

В энергетическом балансе экономики агропромышленный сектор занимает лидирующие позиции при крайне низкой эффективности использования ресурсов. Наиболее энергоемкими в пищевой и перерабатывающей промышленности являются технологии сушки. Используются в основном конвективные способы сушки. Именно сушка в значительной степени определяет и качество готового продукта, и затраты на расходы энергии.

Вместе с тем, традиционные технологии конвективной сушки столкнулись с серьезными противоречиями. Задача достижения высоких значений коэффициентов массопереноса решается путем увеличения

скорости (расхода) сушильного агента. Однако повышение расхода приводит к пропорциональному росту потерь теплоты в окружающую среду. При этом, при достаточно широких исследованиях кинетики процессов выпаривания [7-9], сушки и вопросов моделирования [10], проблемы энергетике процессов обезвоживания, особенно для инновационных технологий, исследуются редко [11].

Удаление влаги – одна из основных задач в пищевых технологиях. Применяются два принципа: выпаривание и сушка. Казалось бы, у этих процессов одинаковые задачи – перевести в пар влагу. Но затраты энергии на удаление единицы влаги оказываются существенно разными. Если энергетический КПД самого несовершенного процесса выпарки 85 %, то лучшие сушильные технологии не превышают 40 % (рис. 2).

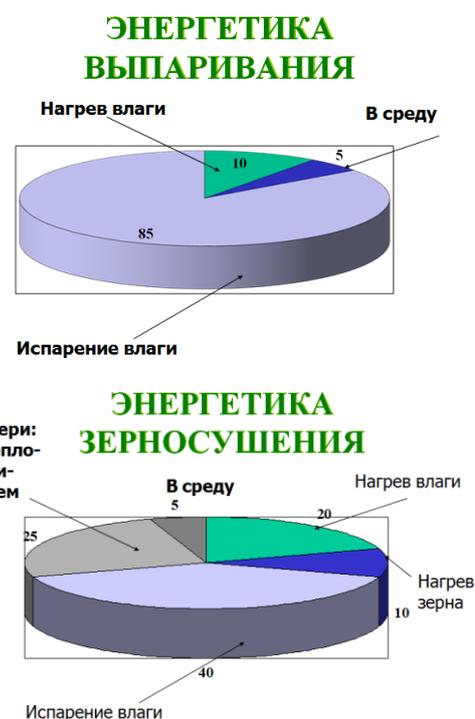


Рис. 2 – Тепловые балансы процессов обезвоживания

Причины в том, что в конвективных сушилках задача достижения высоких значений коэффициентов массопереноса решается путем увеличения скорости (расхода) сушильного агента. Однако повышение расхода приводит к пропорциональному росту потерь теплоты в окружающую среду. Эти противоречия не имеют практического решения, и резервы энергоэффективности в конвективных сушилках исчерпаны [12]. Нерешенные проблемы возникают при сравнении энергоэффективности электротехнологий и теплотехнологий, поскольку используются различные виды энергии; отсутствуют объективные показатели эффективности использования энергии в различных технологиях обезвоживании сырья. Эксергетические методы удобны только для термодинамического анализа, экономические показатели для условий Украины – не стабильны. Известные методы энергетическо-

го менеджмента, которые оперируют коэффициентом удельного энергопотребления (КУЭ), и удельным расходом энергии на 1 кг удаленной влаги (J), не дают корректные результаты. Поэтому актуален вопрос развития научных основ и методов энергетического менеджмента для объективного сравнения энергетической эффективности технологий. Строгих методов оценки энергетической эффективности, особенно для инновационных энерготехнологий, нет.

Развитие методологии энергоменеджмента.

В основе предлагаемой методологии положена следующая гипотеза: «объективные результаты при сравнении эффективности использования энергии при переработке сырья можно получить на основе системного анализа всей цепи конверсии энергии от топлива до готового продукта».

Значительным резервом повышения энергетической эффективности низкотемпературных систем блочного вымораживания (рис. 1) может быть энергия самого льда. Однако информация по практическому использованию этой энергии и по оценке ее влияния на итоговый КПД системы в литературе не обнаружена. Поэтому, необходимо предложить техническую идею возврата энергии льда в теплотехнологическую схему вымораживающей установки и методику оценки эффективности такого решения.

Предлагается делать это на основе следующего научного положения: «Повышение числа преобразователей тепловой энергии на прямом потоке энергии приводит к снижению энергетической эффективности схемы, а на потоках выбросов тепловой энергии, на «реверсных потоках» – к повышению энергетического КПД».

Однако традиционные методы энергетического мониторинга не дают рекомендаций по количественной оценке влияния реверсных потоков. Поэтому, требуется развитие теоретических основ энергомониторинга, разработка метода иерархической оценки эффективности использования энергии в теплотехнологической схеме.

Значения энергетических КПД отдельных элементов системы определяется отношением величины энергии на выходе (\mathcal{E}_i) из i -го анализируемого элемента и значения на входе (\mathcal{E}_{i-1}). Разница этих потоков определяет потери энергии (Q_i) в i -м элементе.

$$\eta_i = \frac{\mathcal{E}_i}{\mathcal{E}_{i-1}} = \frac{\mathcal{E}_{i-1} - Q_i}{\mathcal{E}_{i-1}}. \quad (1)$$

Общий КПД теплотехнологической системы равен отношению энергии продукта ($\mathcal{E}_{\text{пр}}$) к энергии топлива (\mathcal{E}_T), или произведению всех КПД:

$$\eta = \frac{\mathcal{E}_{\text{пр}}}{\mathcal{E}_T} = \prod_{n=1}^n \eta_i. \quad (2)$$

По такой схеме последовательного анализа можно выявить наиболее энергозатратные элементы схемы. Имея такую карту затрат и потерь энергии можно наглядно решать задачу использования низкопотенциальной теплоты одного уровня для подогрева, например, топлива и дутьевого воздуха другого уровня, т.е. добиться энергетической эффективности на каждом уровне иерархии теплотехнологии. В случае «реверсных» потоков энергии, потоков по пути обрабо-

тавшего теплоносителя, рассчитываются КПД реверсных элементов

$$\eta_{pi} = \frac{Q_{pi}}{\mathcal{E}_T} \quad (3)$$

С учетом реверсных потоков итоговый тепловой показатель системы определяется:

$$\eta = \frac{\mathcal{E}_{\text{пр}} + \sum Q_{pi}}{\mathcal{E}_T} = \prod_{n=1}^n \eta_i + \frac{\sum Q_{pi}}{\mathcal{E}_T} \quad (4)$$

Более наглядным может быть определение суммарных потерь энергии на прямых потоках и возврат – на реверсных потоках.

На основе предложенной гипотезы будем оперировать в расчетах базовыми характеристиками источника энергии, например топлива с теплотой сгорания 40 МДж/кг. т. е. 1 кг нефтяного эквивалента (кг н.э.) выделяет энергию в 40 МДж/кг н. э.

Для проведения анализа вводятся показатели эффективности использования энергии топлива:

- доля полезной в процессе энергии;
- соотношение кг удаленной влаги к кг н.э.

$$d_0 = \frac{\text{кг удаленной влаги}}{\text{кг нефтяного эквивалента}}$$

Исследование энерготехнологий обезвоживания.

Низкотемпературные технологии разделения пищевых жидкостей начали развиваться после 1950 г. К 1990 г удельные затраты энергии криотехнологий (КТ1) на выделение 1 кг льда из раствора достигли 1,1 МДж [6]. А это ощутимо меньше, чем даже у 7-ступенчатых вакуум-выпарных установок. Вместе с тем, с 1985 г появились разработки ОНАПТ вымораживающих установок блочного типа (КТ2), у которых параметр j достигал 0,7 МДж на 1 кг льда. В установках третьего и четвертого поколения этот параметр имел значения, соответственно, 0,4 и 0,3 МДж на 1 кг льда [6].

Установка блочного вымораживания и микроволновой выпарной аппарат используют электрическую энергию. А традиционные аппараты для концентрирования и сушки - другие виды энергии.

Методология энергетического менеджмента основана на системном анализе всей технологической цепочки «первичное топливо – его трансформации в соответствующий вид энергии – распределительная сеть – потребитель».

Подробно конверсия энергии топлива в элементах установок поясняется схемами (рис. 3, 4). Традиционно для получения концентрированных растворов после выпарки проводят сушку. Анализ сводится к эффективности использования энергии первичного топлива органического происхождения. Расход топлива принят равным 100.

В схеме (рис. 3) анализируется вариант, когда количества удаленной влаги и при выпарке, и при сушке равны. В этом случае инновационная технология требует затрат топлива на 6 % меньше. По мере повышения доли сушки, эффективность микроволновой вакуумной выпарной установки (МВВУ) будет расти.

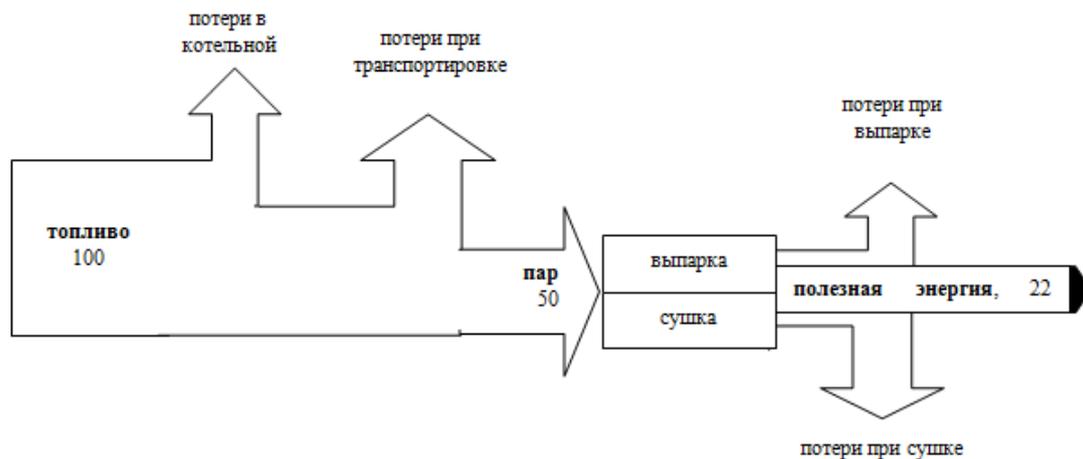


Рис. 3 – Конверсия энергии в традиционной технологии получения пищевых концентратов



Рис. 4 – Конверсия энергии в инновационной технологии получения пищевых концентратов

Часто главным приоритетом является максимальное сохранение в готовом продукте пищевого потенциала сырья. В этом случае, традиционная сушка не может конкурировать с предложенной схемой МВВУ.

Предложенная методология принята при оценке эффективности использования энергии в традиционных технологиях сушки и выпаривания и предложенных в ОНАПТ методов сушки и выпаривания в электромагнитном поле (ЭМП) [12-14]. Выполнено сравнение традиционных принципов криоконцентрирования [5] и разработанного в ОНАПТ аппарата блочного вымораживания [6]. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Значение $d_0 = 6$ кг в/кг н.э. в настоящее время достигнуто при испытаниях сушильных аппаратов с ЭМП. Визуально отмечено, что из камеры выходит пароводяная смесь [12]. Аппараты реализуют режим бародиффузии, а это существенно снижает расход энергии. Реально достичь значений $d_0 = 50$ кг в/кг н.э. при четком согласовании мощности ЭМП генераторов с характеристиками пищевого сырья.

По предложенной методике оценки в энергетическом аспекте наиболее эффективны вымораживающие установки. Объясняется такой феномен тем, что физическая энергия кристаллизации в 7 раз меньше, чем выпаривания. В установках блочного вымораживания используется возможность возврата в холодильный цикл энергии льда (рециклинг льда). При

правильном согласовании конструкции аппарата, характеристик раствора и режимов вымораживания значения $d_0 = 100$ кг в/кг н.э. являются реальными. Более того, установки блочного вымораживания гарантируют сохранение пищевого потенциала сырья.

Таблица 1 – Сравнение традиционных и предложенного показателей энергоэффективности различных технологий обезвоживания

Энерготехнология	КУЭ, МДж/кг влаги	J , МДж/кг н.э.	d_0 , кг влаги/кг н.э.
сушка традиционная	4 – 7	4 – 9	1 – 3
сушка в ЭМП	2 – 4	10 – 20	5 – 6
выпарка + сушка традиционная	2,8	8 – 20	3 – 6
выпарка в ЭМП	2,7	10 – 20	3,5 – 7,5
криоконцентрирование	1,1	24	20 – 21
блочное вымораживание	0,3 – 0,7	35	50 – 100

С помощью предложенной методики проведена оценка эффективности использования энергии в традиционных технологиях сушки и выпаривания и предложенных в ОНАПТ методов сушки и выпаривания в электромагнитном поле, и сравнение традиционных принципов криоконцентрирования и разработанного в ОНАПТ аппарата блочного вымораживания [3]. Результаты анализа представлены на рис. 5.

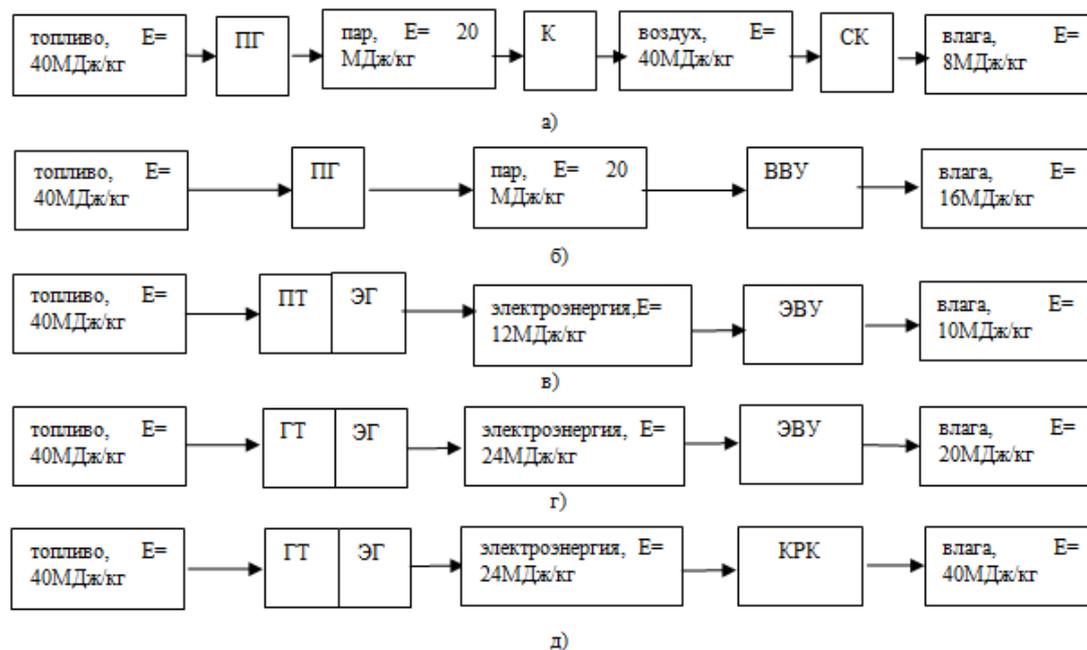


Рис. 5 – Конверсия энергии в технологиях обезвоживания (все параметры приведены к 1 кг топлива):
 а – традиционные конвективные технологии сушки; б – традиционная технология выпаривания;
 в, г – микроволновая выпарка; д – криоконцентрирование.

На рис. 5 приняты следующие обозначения: ПГ – парогенератор; К – паровой калорифер; СК – конвективная сушильная камера; ВВУ – вакуум-выпарная установка; ПТ – паровая турбина; ЭГ – электрогенератор; ГТ – газовая турбина; ЭВУ – электромагнитная сушильная камера; КРК – криоконцентратор. В расчетах принято: энергетический КПД преобразования топлива в электроэнергию на паротурбинных электростанциях 32 %, а на газотурбинных 60 %; КПД преобразования электрической энергии в МВ-камерах 75 %, а электрический холодильный коэффициент 1,5 – 2.

Проведенные оценки свидетельствуют об энергетических и экономических преимуществах предлагаемых аппаратов. Естественно, капитальные затраты на проектирование и изготовление таких аппаратов окажутся выше, чем у традиционных конструкций, что требует отдельных расчетов.

Условием функционирования электромагнитных аппаратов являются следующие факторы:

- наличие в объеме продукта жидкости с полярными молекулами;
- соответствие параметров электромагнитного поля решаемой задачи теплопереноса;
- согласование структурных характеристик продукта с параметрами электромагнитной энергии.

Для подавляющего вида пищевого сырья указанные условия выполняются.

Выводы. Методологический аспект работы заключается в том, что предложен универсальный показатель (do) энергетической эффективности системы, который не зависит от термодинамической специфики и колебаний цен на энергоносители. Показатель отражает отношение масс выходной величины (удаленной влаги) к входной (топлива).

Энергетический аспект подтверждает, что электромагнитные технологии выпаривания практически не уступают традиционным по показателю (do).

Для электромагнитных технологий сушки показатель (do) в несколько раз превышает традиционные. Причина – возможность удаления влаги в виде тумана. Важную роль играет и вид самой электромагнитной энергии. В традиционной конвективной схеме сушильный агент отдает энергию сначала поверхностной влаге, затем сухой части продукта, которая передает энергию влаги в капиллярах. Так протекает традиционная конвективная сушка, результатом которой считается поток влажного пара. В ИК-сушке капиллярная влага удаляется частично непосредственно электромагнитной энергией, а частично так, как и конвективной сушке.

В случае микроволновой (МВ) сушки из капилляров за счет бародиффузии может наблюдаться поток смеси влажного пара и капель воды. Состав такой смеси и характеризует удельные затраты энергии на процесс обезвоживания. Чем больше доля капель – тем меньше затрат энергии.

Самые высокие значения показателя (do) в установках блочного вымораживания, разработанных в ОНАПТ.

Технологический аспект работы подтверждает, что инновационные технологии ОНАПТ микроволновой вакуумной выпарки и сушки обеспечивают высокую степень сохранения пищевого потенциала сырья.

Инновационные технологии ОНАПТ блочного вымораживания полностью сохраняют вкус, цвет, аромат и остальные компоненты пищевого потенциала сырья.

Список литературы

- Gabor D., Colombo U., King A. S. Beyond the age of waste: a report to the Club of Rome. Elsevier. 2016. 258 p.
- Balin B. E., Akan D. M. EKC hypothesis and the effect of innovation: A panel data analysis // Journal of Business Economics and Finance. 2015. T. 4. № 1. p. 81–91.
- Roberfroid M. B. Global view on functional foods: European perspectives // British J. Nutrition. 2002. V. 88. Suppl.2.1. p.133–138.
- Ul'ev L. M., Vasil'ev M. A. Heat and power integration of processes for the refinement of coking products // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2015. T. 49. № 5. p. 676–687.
- F. Khajehei, M. Niakousari, M. H. Eskandari, M. Sarshar. Production of Pomegranate juice concentrate by complete block cryoconcentration process // Journal of Food Process Engineering. 2015. Vol. 38. Issue 5. pp. 488–498.
- Тришин Ф. А., Трач А. Р., Орловская Ю. В. Управление потоками энергии в низкотемпературных разделительных установках // Problemele energeticii regionale. Chisinau. 2018. Nr. 1(36). pp. 72–6.
- Manal A. Sorour Optimization of multiple effect evaporators designed for fruit juice concentrate // American Journal of Energy Engineering, 2015, pp. 6–11.
- S. Chantasiriwan. Simulation of quadruple-effect evaporator with vapor bleeding used for juice heating // International Journal of Food Engineering 2016, Vol. 2, No. 1, pp. 36–41.
- M. Fazaeli, G. Hojjatpanah, Z. Emam-Djomeh. Effects of heating method and conditions on the evaporation rate and quality attributes of black mulberry (*Morus nigra*) juice concentrate // Journal of Food Science and Technology, 2013, Vol. 50, Issue 1, pp. 35–43.
- Hosovskyi R. et al. Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks // Chemistry & Chemical technology. 2016. № 10, № 4. – С. 459–464.
- Chan C.-Hung, Lima J.-J., Yusoff R., Ngho G.-C. A generalized energy-based kinetic model for microwave-assisted extraction of bioactive compounds from plants // Water Environment Research, 2015. Vol. 88, Num. 10. P. 1192–1229/
- Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes / Oleg Burdo, Valentyna Bandura, Aleksandr Zykov, Igor Zozulyak, Julia Levtrinskaya, Elena Marenchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 4/11 (88). P. 34–42.
- Бурдо О. Г. и др. Технологии селективного подвода энергии при выпаривании пищевых растворов // Проблемы региональной энергетики. 2017. № 1. С. 100–109.
- Бурдо О.Г., Бандура В.Н., Левтринская Ю.О. Электротехнологии адресной доставки энергии при обработке пищевого сырья // Электронная обработка материалов. 2017. №53 (3). С. 64–72.

References (transliterated)

- Gabor D., Colombo U., King A. S. Beyond the age of waste: a report to the Club of Rome. Elsevier. 2016. 258 p.
- Balin B. E., Akan D. M. EKC hypothesis and the effect of innovation: A panel data analysis // Journal of Business Economics and Finance. 2015. T. 4. № 1. p. 81–91.
- Roberfroid M. B. Global view on functional foods: European perspectives // British J. Nutrition. 2002. V. 88. Suppl.2.1. p.133–138.
- Ul'ev L. M., Vasil'ev M. A. Heat and power integration of processes for the refinement of coking products // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2015. T. 49. № 5. p. 676–687.
- F. Khajehei, M. Niakousari, M. H. Eskandari, M. Sarshar. Production of Pomegranate juice concentrate by complete block cryoconcentration process // Journal of Food Process Engineering. 2015. Vol. 38. Issue 5. pp. 488–498.
- Trishin F. A., Trach A. R., Orlovskaya Yu. V. Energy Management in Low-Temperature Separators // Problemele energeticii regionale, Chisinau. 2018. Nr. 1(36). pp. 72–86.
- Manal A. Sorour. Optimization of multiple effect evaporators designed for fruit juice concentrate // American Journal of Energy Engineering, 2015, pp. 6–11.
- S. Chantasiriwan. Simulation of quadruple-effect evaporator with vapor bleeding used for juice heating // International Journal of Food Engineering 2016, Vol. 2, No. 1, pp. 36–41.
- M. Fazaeli, G. Hojjatpanah, Z. Emam-Djomeh. Effects of heating method and conditions on the evaporation rate and quality attributes of black mulberry (*Morus nigra*) juice concentrate // Journal of Food Science and Technology, 2013, Vol. 50, Issue 1, pp. 35–43.
- Hosovskyi R. et al. Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks // Chemistry & Chemical technology. 2016. № 10, № 4. P. 459–464.
- Chan C.-Hung, Lima J.-J., Yusoff R., Ngho G.-C. A generalized energy-based kinetic model for microwave-assisted extraction of bioactive compounds from plants // Water Environment Research, 2015. Vol. 88, Num. 10. P. 1192–1229.
- Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes / Oleg Burdo, Valentyna Bandura, Aleksandr Zykov, Igor Zozulyak, Julia Levtrinskaya, Elena Marenchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 4/11(88). P. 34–42.
- Burdo O.G, et al. Technologies of selective energy supply during evaporation of food solutions // Problems of regional energy. – 2017. – № 1. – С. 100–109.
- Burdo O.G, Bandura V.N., Levtrinskaya Yu.O. Electrotechnologies of targeted energy delivery in the processing of food raw materials // Electronic materials processing. 2017. №53 (3). С. 64–72.

Надійшла (received) 28.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бурдо Олег Григорович (Бурдо Олег Григорьевич, Burdo Oleg Grigorovich) – доктор технічних наук, професор, Одеська національна академія харчових технологій, завідувач кафедри Процесів, обладнання та енергетичного менеджменту, м. Одеса, Україна, тел.: +38(050)-66-58-415, e-mail: poem.onaft@gmail.com

Гаврилов Олександр Вікторович (Гаврилов Александр Викторович, Gavrilov Aleksandr Viktorovich) – кандидат технічних наук, доцент, Академія біоресурсів та природокористування Кримського федерального університету ім. В.І. Вернадського, доцент кафедри Технології та обладнання виробництва та переробки продукції тваринництва, м. Сімферополь, Республіка Крим, тел.: +7(978)73-66-157, e-mail: tehfac@mail.ru

Альхурі Юсеф Еліас Жоржет (Альхурі Юсеф, Alkhuri Yusef) – Одеська національна академія харчових технологій, кафедра Процесів, обладнання та енергетичного менеджменту, аспірант, м. Одеса, Україна, тел.: +38(063)-46-72-669, e-mail: yodef-hh@live.com

Давар Ростамі Пур (Давар Ростами Пур, Davar Rostami Pur) – фірма «Davarrostamipour», директор, м. Тигран, Іран, e-mail: drpgroup@gmail.com

Масельська Яна Олександрівна (Масельская Яна Александровна, Maselska Yana Aleksandrovna) – Одеська національна академія харчових технологій, кафедра Процесів, обладнання та енергетичного менеджменту, аспірант, м. Одеса, Україна, тел.: +38(095)-38-52-980, e-mail: yana.maselska@gmail.com