

Профессор Г.В. Калашников, старший преподаватель Е.В. Литвинов
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств,
тел. (473) 255-38-96
E-mail: kagen5@yandex.ru, zenlit@yandex.ru

Professor G.V. Kalashnikov, senior lecturer E.V. Litvinov
(Voronezh state university of engineering technology) Department of machines and devices of
food manufactures.
phone (473) 255-38-96
E-mail: kagen5@yandex.ru, zenlit@yandex.ru

Оценка тепловой эффективности технологической схемы производства яблочных чипсов и сушеных плодов

Evaluation of thermal efficiency of the technological scheme of apple chips and dried fruits production

Реферат. Выполнена оценка термодинамического совершенства отдельных технологических процессов при влаготепловой обработке фруктов и линии производства фруктовых яблочных чипсов и сушеных плодов. Предложена ресурсосберегающая технологическая схема линии переработки плодов и производства фруктовых чипсов на основе конвективной и СВЧ-сушки. Составлена методика и приведены результаты расчета тепловых затрат для различных схем производства яблочных чипсов. Для предлагаемой схемы определены материальные, тепловые и энергетические потоки на основе балансовых соотношений технологических процессов. Показана сравнительная тепловая эффективность производства яблочных чипсов для базового зарубежного варианта и предлагаемой технологической схемы с замкнутым циклом использования теплоносителя и комбинированной конвективно-СВЧ-сушки. В работе определены тепловые и энергетические потоки для процессов конвективной сушки, предварительной СВЧ-сушки, гидротермической обработки и завершающей СВЧ-сушки растительного сырья, являющихся одними из главных стадий производства всех видов плодовоовощных концентратов, в т.ч. фруктовых яблочных чипсов. Ресурсосберегающие способы влаготепловой обработки (гидратации, бланширования, сушки и т.д.) плодовоовощного сырья при производстве пищевых концентратов предполагают снижение расхода теплоносителя с высокой степенью использования его энергетического потенциала и СВЧ-источников. Для оценки тепловой эффективности различных технологических процессов и схем производства в качестве показателей использован тепловой КПД и предложена величина удельной теплоты (кДж/кг) с учетом массовой производительности на единицу исходного сырья и перемещаемой влаги. Определены значения массовой доли теплоты материальных потоков для базовой и предлагаемой ресурсосберегающей технологической схемы производства фруктовых чипсов, на примере яблочных, на основе комбинированной конвективно-СВЧ-сушки каждой контрольной поверхности.

Summary. The estimation of thermodynamic perfection of separate technological processes is executed at heat-moisture of handling of fruit and a line of manufacture of fruit apple chips and dried fruits. The technological scheme of a line of processing of fruits and manufactures of fruit chips on the basis of convection and the microwave-dryings suggested resource-saving. The technique is made and results of calculation of thermal expenses for various schemes of manufacture of apple chips are resulted. For the offered scheme material, thermal and power streams on the basis of balance parities of technological processes are certain. The comparative thermal production efficiency of apple chips for a base foreign variant and the offered technological scheme with the closed cycle of use of the heat-carrier and the combined convection-microwave-drying is shown. In this paper we define the thermal and energy flows for the processes of convective drying, pre-microwave drying, hydrothermal treatment and final microwave drying plant material, which are one of the main stages of the production of all kinds of fruit and vegetable concentrates, including fruit apple chips. Resource-saving ways moisture-heat of handling (hydration, blanching, drying, etc.) produce raw materials in the production of food concentrates suggested a reduced water flow with a high degree of use of its potential power and microwave sources. To assess the thermal efficiency of the various processes and production schemes used as indicators of thermal efficiency and proposed value of specific heat (kJ / kg) given mass productivity per unit of feedstock and translational moisture. The values of the mass fraction of the heat of material flows for the base and the proposed resource-saving production scheme fruit chips, for example, apple, based on a combination of convection-microwave drying each control surface.

Ключевые слова: ресурсосберегающая технология, яблоки, чипсы, тепловой КПД

Keywords: resource-saving technology, apples, chips, thermal efficiency

Необходимость комплексной безотходной переработки плодовоовощного сырья является одной из актуальных задач агропромышленного комплекса [1]. Объем валового сбора яблок в Воронежской области составляет около 93,4 тыс. т. и потери от валового сбора – 18,7 тыс. т. [2].

Одно из направлений решения данной задачи связано с созданием эколого-ресурсосберегающей технологии яблочных чипсов и сушеных плодов, конкурентоспособной импортной продукции [3].

Цель работы состояла в оценке тепловой эффективности созданной технологической схемы производства яблочных чипсов и сушеных плодов.

Данная работа связана с определением тепловых и энергетических потоков для процессов конвективной сушки, предварительной СВЧ-сушки, гидротермической обработки и завершающей СВЧ-сушки растительного сырья, являющихся одними из главных стадий производства всех видов плодовоовощных концентратов, в т.ч. фруктовых яблочных чипсов.

Ресурсосберегающие способы влаготепловой обработки (гидратация, бланширование, сушка и т.д.) плодовоовощного сырья при производстве пищевых концентратов предполагают снижение расхода теплоносителя с высокой степенью использования его энергопотенциала и СВЧ-источников [3].

Исследования влаготепловой обработки пищевых продуктов пищевого концентратного производства (крупы, картофель, фрукты, овощи и т.д.) показали эффективность комбинированных способов влаготеплового воздействия с замкнутым циклом использования теплоносителя [3, 4].

На основании проведенных экспериментальных исследований и полученных теоретических данных были предложены способ осуществления процесса и рациональные комбинированные технологические режимы влаготепловой обработки плодовоовощного сырья, а также ресурсосберегающие технологии производства сушеных продуктов и чипсов [4, 5].

Пищевое растительное сырье предварительно очищается от остатков оболочки и отсортировывается с целью выравнивания гранулометрического состава и обеспечения однородности структуры продукта.

Исходное сырье на начальном этапе конвективной сушки перегретым паром подвергается бланшированию вследствие конденсации. Конвективная сушка плодов и овощей на начальной стадии влагоудаления обеспечивается перегретым паром контура рециркуляции, пронизывающим восходящим потоком слой дисперсного материала.

Последующие стадии многоступенчатой сушки осуществлялись с использованием СВЧ-энергии. При этом мощность на завершающем этапе сушки, например, яблок, составляла до 30 % начальной, подводимой в контрольную поверхность сушки, при сохранении высокого качества продукта.

Отличительной особенностью предложенной ресурсосберегающей технологической линии производства фруктовых чипсов является использование в качестве теплоносителя отработанного перегретого пара рециркуляционного контура конвективной сушки вместе с испаренной влагой для процессов бланширования и конвективной сушки, а также подогрева исходного сырья, водного раствора и ступенчатого нагрева осушенного теплоносителя в секционных теплообменниках (рисунок 1).

Предварительная гидротермическая обработка (ПГТО) в виде бланширования совмещена с последующей конвективной сушкой в одной и той же рабочей камере оборудования. Это достигается вследствие конденсации

и высокой начальной влажности растительного сырья (например, яблок 75 %).

Созданная технология основывается на разработанном способе постадийной комбинированной конвективно-СВЧ-сушки при производстве сушеных продуктов [6]. Для переработки сырья при бланшировании и сушке предлагается использовать в качестве теплоносителя инертный теплоноситель – перегретый пар, а в дальнейшем – процесс комбинированной конвективно-СВЧ-сушки с промежуточной обработкой сырья водным раствором. При этом происходят не только физико-химические и структурно-механические изменения веществ исходного сырья, но и создается новый в качественном отношении продукт со свойствами, сформированными под воздействием теплоты и влаги. Продолжительность получения сушеных яблок и груш составляет около 80-90 мин по сравнению с известными способами (продолжительность только сушки составляет 3,5-4,5 часа в зависимости от влагосодержания готового продукта) [6].

Одними из основных причин интенсификации технологических процессов по предлагаемой ресурсосберегающей схеме производства фруктовых чипсов являются использование эффекта конденсации в периоде прогрева для бланширования растительного сырья, применение в качестве теплоносителя перегретого пара атмосферного давления и активных гидродинамических режимов слоя, а также СВЧ-энергии электромагнитного поля в соответствии с кинетическими закономерностями влаготепловой обработки.

Энергетические и тепловые потоки определены на основе базовой и предлагаемой (рисунок 1) схем производства яблочных чипсов. В качестве базовой принята схема на основе линии фирмы Savenco для производства яблочных чипсов.

Составленная методика расчета тепловых затрат связана с определением тепловых и энергетических потоков для анализируемых контрольных поверхностей линии производства фруктовых чипсов [7, 8].

С целью получения наиболее полной информации для всех стадий производства фруктовых чипсов были составлены материальные, энергетические и тепловые балансы теплообменных процессов и определены удельные массовые доли теплоты для контрольных поверхностей. Тепловые затраты получены на основе материальных и тепловых балансов технологических процессов по методике [3] и учитывают различные температуры и влажности материальных потоков на отдельных стадиях (таблица 1) [4].

Обобщенное уравнение материального баланса энерготехнологической системы имеет вид (рисунок 1):

$$\sum_{i=1}^k M'_{ij} + M_0 = \sum_{i=1}^k M''_{ij} \pm \Delta M, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^k M'_{ij}$ и $\sum_{i=1}^k M''_{ij}$ – суммарные материальные потоки i -го компонента в j -ом процессе на входе и выходе контрольной поверхности, соответствующие начальному и конечному состояниям; индекс i обозначает компоненты процесса ($i = 1, 2, 3$ – соответственно, для твердой или дисперсной (продукт), жидкой (вода) и газовой (пар, паровоздушная смесь) фаз), соответствующие начальному и конечному состояниям; k – число потоков; индекс j обозначает контрольную поверхность технологического процесса (рисунок 1, $j = \{A, B, \dots, I\}$); M_0 – поток исходного сырья, поступающего на переработку; ΔM – изменение массы объекта переработки.

Из физических соображений необходимо ввести уравнения согласования для переменных между процессами:

$$G_{1C}^K = G_{1D}^H, G_{1D}^K = G_{1E}^H, G_{1E}^K = G_{1F}^H, \quad (2)$$

$$G_{1F}^K = G_{1G}^H, G_{1G}^K = G_{1H}^H, \dots$$

где G_{1j}^H , G_{1j}^K – расход объекта переработки в j -ом процессе, соответствующий начальному и конечному состояниям, кг/ч.

Энергетические балансовые уравнения в общем виде можно представить системой уравнений:

$$\sum_{i=1}^k Q'_{ij} + \sum_{i=1}^k L'_{ij} = \sum_{i=1}^k Q''_{ij} + \sum_{i=1}^k L''_{ij} + Q_{0j}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^k Q'_{ij}$ и $\sum_{i=1}^k Q''_{ij}$ – соответственно суммарные потоки теплоты с i -м компонентом в j -м процессе на входе и выходе контрольной поверхности с учетом фазового превращения; $\sum_{i=1}^k L'_{ij}$ и $\sum_{i=1}^k L''_{ij}$ – суммарные работы, подводимые к контрольной поверхности и получаемые на выходе; Q_{0j} – поток теплоты на j -м процессе, отдаваемый в окружающую среду.

Уравнения теплового баланса имеют вид: конвективной сушки:

$$G_{1D}^H \text{Im}(T_{1D}^H, u_{1D}^H) + G_{3D}^H \text{Ip}(T_{3D}^H) =$$

$$= G_{1D}^K \text{Im}(T_{1D}^K, u_{1D}^K) +$$

$$+ (G_{3D}^H + \Delta U) \text{Ip}(T_{3D}^K) + Q_{OD}. \quad (4)$$

СВЧ-сушки:

$$G_{1j}^H \text{Im}(T_{1j}^H, u_{1j}^H) + L_{3j}^H + G_{3j}^H \text{Iv}(T_{3j}^H) =$$

$$= G_{1j}^K \text{Im}(T_{1j}^K, u_{1j}^K) + (G_{3j}^H + \Delta U) \text{Iv}(T_{3j}^K) + Q_{Oj}. \quad (5)$$

или

$$(1 - k_{Oj})(G_{3j}^H \text{Iv}(T_{3j}^H)) - (G_{3j}^H + \Delta U) \text{Iv}(T_{3j}^K) =$$

$$= G_{3j}^K \text{Im}(T_{3j}^K, u_{3j}^K) - (1 - k_{Oj})(G_{3j}^H \text{Im}(T_{3j}^H, u_{3j}^H)). \quad (6)$$

где Q_{Oj} – потери теплоты при сушке; k_{Oj} – доля потерь теплоты в окружающую среду при сушке. u – влагосодержание, кг/кг; T – температура, К; $\text{Im}(T_{1j}, u_{1j})$, $\text{Ip}(T_{3j})$, $\text{Iv}(T_{3j})$ – соответственно, энтальпии продукта, перегретого пара и паровоздушной смеси, кДж/кг.

В данной работе расчет тепловых и энергетических потоков выполнен по технологическим показателям производства фруктовых яблочных чипсов (таблица 1) на основе данных [9-11] и результатов экспериментальных исследований для районированных сортов «Степная красавица», «Антоновка», «Синап» и «Богатырь» [4, 5].

Т а б л и ц а 1

Технологические показатели производства яблочных чипсов по базовой (а) и предлагаемой (б) схемам

№	Показатели	Технологические схемы	
		а	б
1	Массовая доля исходного сырья, кг	960	1250
2	Влажность продукта, %:		
	а) начальная	80	74,72
	б) конечная	8,0	7,0
3	Температура продукта в контрольных поверхностях, К	353...363	303...382
4	Расход пара, кг/ч	400	
5	Расход теплоносителя:		
	а) предварительной СВЧ – сушки, м ³ /ч;	–	0,243
	б) завершающей СВЧ – сушки, м ³ /ч	–	5,62
6	Расход водного раствора, м ³ /ч		30
7	Расход воды, м ³ /ч	2	
8	Давление пара на входе в контрольную поверхность, МПа	0,6	0,2
9	Температура водного раствора, К	293	308
10	Потребляемая электроэнергия, кВт	40,0	55,0
11	Мощность электродвигателя привода секций, кВт	–	3
12	Мощность приводов вентиляторов, кВт	7,0	9,5
13	Мощность привода насоса подачи сиропа, кВт	–	0,5
14	Мощность колебательная магнетронов, кВт	–	37
15	Производительность по готовому продукту, кг/ч	10,9...12	346,56
16	Продолжительность сушки, мин	240...270	70...90

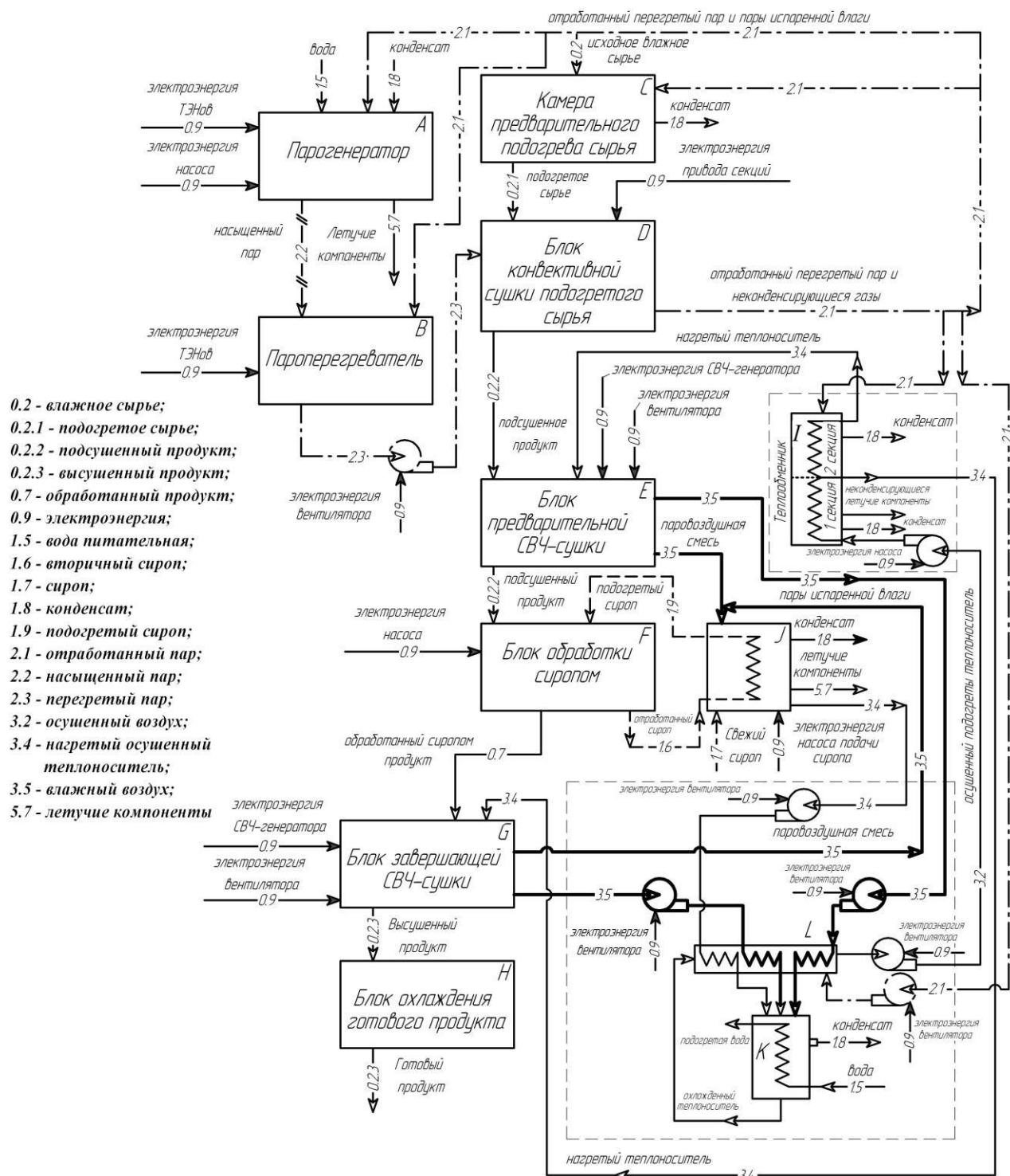


Рисунок 1 - Схема распределения материально-тепловых и энергетических потоков ресурсосберегающей линии производства яблочных чипсов с контрольными поверхностями: А – парогенератора, В – пароперегревателя, С – предварительного подогрева сырья, D – конвективной сушки, E – предварительной СВЧ-сушки, F – обработки водным раствором, G – завершающей СВЧ-сушки, H – охлаждения готового продукта, J – подогрева водного раствора, L – теплообменника 1 ступени с конденсатором для подогрева осушенного теплоносителя, I – теплообменника 2 ступени нагрева осушенного теплоносителя

Контрольные поверхности ресурсосберегающей технологической схемы производства яблочных чипсов и переработки яблок с распределением материальных, тепловых и энергетических потоков показаны на рисунке 1.

В таблице 2 приведены значения массовой доли теплоты материальных потоков для базовой и предлагаемой ресурсосберегающей технологической схемы производства фруктовых чипсов, на примере яблочных, на основе комбинирован-

ной конвективно-СВЧ-сушки с контрольными поверхностями А–І (рисунок 1).

Для оценки тепловой эффективности различных технологических процессов и схем производства в качестве показателей использован тепловой КПД и предложена величина удельной теплоты (кДж/кг) с учетом массовой производительности на единицу исходного сырья и перемещаемой влаги [3].

Суммарные удельные затраты теплоты для теплотехнологической системы производства и массовой доли теплоты, приходящей в контрольные поверхности на технологических процессах при производстве высушенного продукта, определяем по формуле:

$$q_{ij}^c = \sum_{i=1}^k Q_{ij} / G_1', \text{ кДж/(кг нач. продукта)} \quad (7)$$

где $\sum_{i=1}^k Q_{ij}$ – суммарное количество теплоты, приходящей с i – компонентом в j – контрольной поверхности, кДж; G_1' – масса начального сырья, кг.

С точки зрения использования энергетического потенциала теплоносителя в качестве одного из основных оценочных показателей эффективности осуществления тепломассообменных процессов при обработке плодовых и овощных продуктов использован тепловой КПД, который определялся как для промышленных, так и для разработанных ресурсосберегающих технологических схем производства фруктовых и овощных концентратов.

Тепловой КПД для схемы:

$$\eta_T = \left(\frac{\sum_{j=1}^l Q_j^n}{\sum_{j=1}^l Q_j^3} \right) \cdot 100\% = \left(Q_{kj} + \frac{\sum_{j=1}^l Q_{3j}^n}{Q_{1n} + Q_{2n} + \dots + Q_j} \right) \cdot 100\% \quad (8)$$

и каждого технологического процесса:

$$\eta_{Tj} = \left(Q_j^n / \sum_{i=1}^k Q_i \right) \cdot 100\% \quad (9)$$

где $\sum_{j=1}^l Q_j^n$ – суммарная удельная теплота полезных потоков, кДж/кг; $\sum_{j=1}^l Q_j^3$ – суммарная затраченная удельная теплота, кДж/кг; Q_{1n} , Q_{2n} , Q_j – удельная теплота исходного растительного сырья, теплоносителя, СВЧ-энергии, сиропа, подаваемых в систему, кДж/кг; Q_{kj} – удельная теплота готового продукта, кДж/кг; $\sum_{j=1}^l Q_{3j}^n$ – удельная теплота теплоносителей, используемых в контрольных поверхностях рециркуляционного контура термической обработки продукта, и сиропа, подаваемого на обработку сырья, кДж/кг.

Массовая доля полезной составляющей теплоты, необходимой для переработки растительного сырья, расходуется на перемещение влаги внутри обрабатываемого растительного сырья (лагоприращение и лагоудаление) с физико-химическим изменением веществ и преобразованием структуры продукта. Поэтому полезная теплота включает массовую долю теплоты продукта и теплоносителя, используемого на рециркуляции без потерь в окружающую среду.

Общие удельные затраты теплоты на производство яблочных чипсов показывают различные удельные затраты массовой доли теплоты на переработку 1 кг исходного сырья для базовой и разработанной технологических схем производства. Для базовой схемы линии данный показатель составляет 5811,6 кДж/(кг исходного сырья), а для предлагаемой – 1064,7 кДж/(кг исходного сырья).

Т а б л и ц а 2

Тепловая эффективность базовой (а) и предлагаемой (б) технологических схем линий производства яблочных чипсов

Показатели	Обозн.	Технологические схемы	
		а	б
1	2	3	4
Суммарные затраты теплоты для всей технологической схемы, кДж/(кг исход. сырья)	$\sum_{j=1}^l Q_j^3$	5811,6	1064,7
Полезная составляющая теплоты на основе полезной работы по преобразованию продукта и использования отработанного теплоносителя, кДж/(кг исход. сырья)	$\sum_{j=1}^l Q_j^n$	5,8* 5024,2	1050,9
Тепловой КПД, %	η_T	86,45	98,72

*- без использования вторичного пара

Теплота каждого материального и энергетического потока, а также внешние тепловые потери для составления теплового баланса энерготехнологической системы линии производства фруктовых чипсов определялась по формулам (1-9).

Каждая взятая в отдельности контрольная поверхность предлагаемой схемы имеет достаточно высокий тепловой КПД. По известным схемам производства яблочных чипсов (ПГТО, обработка паровоздушной смесью при атмосферном давлении в конвейерном оборудовании периодического действия, охлаждение на испарительных установках, сушка паровоздушной смесью в сушилках туннельного типа) тепловой КПД на отдельных технологических стадиях достигает 0,5-0,9. Значительное изменение теплового КПД различных схем производства фруктовых яблочных чипсов в основном обуславливается степенью использования энергетического потенциала теплоносителя.

Тепловой КПД на основе полезной работы по преобразованию продукта и использования отработанного теплоносителя предлагаемой технологической схемы производства яблочных чипсов на основе комбинированной конвективно-СВЧ-сушки составляет $\eta_T = 0,98$ и превышает аналогичный показатель известных технологий (базовый вариант при полном использовании пара – $\eta_T = 0,86$), что свидетельствует о

повышении степени термодинамического совершенства предлагаемой линии (таблица 2).

При этом предложенная ресурсосберегающая технологическая схема производства фруктовых чипсов с комбинированной конвективно-СВЧ-сушкой и промежуточной обработкой сиропом характеризуются лучшей степенью использования теплоты потока энергии с получением максимальной работы от теплоносителя при наиболее полной полезной утилизации теплоты и отличается экономией материальных энергоресурсов на стадиях ПГТО и сушки. Например, при переработке 1,25 т яблок из 689 кг испаряемой на конвективной сушке влаги используется для технологических процессов около 482 кг пара.

Составленная методика позволяет определить расход теплоты и влагозатраты при проектировании как комбинированного оборудования непрерывного действия с замкнутым циклом использования теплоносителя, так и отдельных блоков конвективной и СВЧ-сушки, блоков ПГТО и охлаждения пищевых растительных продуктов [12].

Обозначения

Q – массовая доля теплоты контрольных поверхностей, кДж/кг; индексы: 1,2,3 – соответственно, для твердой (дисперсной), жидкой и паровой фаз.

ЛИТЕРАТУРА

1 Рогов И.А., Некрутман С.В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1986. 351 с.

2 Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gks.ru>.

3 Калашников Г.В., Остриков А.Н. Ресурсосберегающие технологии пищевых концентратов. Воронеж: ВГУ, 2001. 355 с.

4 Калашников Г.В., Литвинов Е.В. Кинетика СВЧ-сушки яблок // Вестник ВГУИП. № 2 (52). 2012. С. 40–42.

5 Калашников Г.В., Литвинов Е.В. Анализ свойств яблок различных сортов на основе термоаналитических методов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2012. № 11. С. 28–31.

6 Пат. № 2520142, RU, A23L1/212. Способ производства плодовоовощных чипсов / Калашников Г.В., Литвинов Е.В. № 2012127498/13; Заявл. 03.07.2012; Оpubл. 10.01.2014; Бюлл. № 1.

7 Пат. № 2483571, RU, A 23 L 01/025, A 23 L 1/064. Тороидальный аппарат для производства плодовоовощных чипсов / Калашников Г.В., Литвинов Е.В. № 2012100586/12; Заявл. 10.01.2012; Оpubл. 10.06.2013; Бюлл. № 16.

8 Пат. № 2485803, RU, A 23 L 01/025, A 23 L 1/064. Линия для производства плодовоовощных чипсов / Калашников Г.В., Литвинов Е.В. № 2012104280/12; Заявл. 07.02.2012; Оpubл. 27.06.2013; Бюлл. № 18.

9 Богословский С.В. Физические свойства газов и жидкостей. СПб.: СПбГУАП, 2001. 73 с.

10 Вукалович М.П. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М.: Машиностроение, 1967. 160 с.

11 Гинзбург А.С., Громов М.А. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов. М.: Агропромиздат, 1987. 272 с.

12 Калашников Г.В., Литвинов Е.В., Расстегаев М.Н. Структурная модель расчета оборудования влаготепловой обработки сыпучих пищевых продуктов // Вестник ВГТА. № 1 (43). 2010. С. 99–103.

REFERENCES

- 1 Rogov I.A., Nekrutman S.V. Sverkhvysokochastotnyi nagrev pishchevykh produktov [Superhigh heating foods]. Moscow, Agropromizdat, 1986. 351 p. (In Russ.).
- 2 Federal'naya sluzhba statistiki [Federal State Statistics Service]. Available at: <http://www.gks.ru>. (In Russ.).
- 3 Kalashnikov G.V., Ostrikov A.N. Saving technologies of food concentrates [Resursosberegaiushchie tekhnologii pishchevykh kontsentratsiy]. Voronezh, VGU, 2001. 355 p. (In Russ.).
- 4 Kalashnikov G.V., Litvinov E.V. Microwave drying kinetics of apples. *Vestnik VGUIT*. [Bulletin of VSUET], 2012, № 2 (52). P. 40-42. (In Russ.).
- 5 Kalashnikov G.V., Litvinov E.V. Analysis of the properties of apples of different varieties on the basis of thermoanalytical methods. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyra*. [Storage and processing of agricultural raw materials], 2012, № 11, P. 28-31. (In Russ.).
- 6 Kalashnikov G.V., Litvinov E.V. Sposob proizvodstva plodoovoshchnykh chipsov [A method of production of fruit and vegetable crisps]. Patent RF, no. 2520142, 2012. (In Russ.).
- 7 Kalashnikov G.V., Litvinov E.V. Toroidal'nyi apparat dlia proizvodstva plodoovoshchnykh chipsov [Toroidal apparatus for the production of fruit and vegetable crisps]. Patent RF, no. 2483571, 2012. (In Russ.).
- 8 Kalashnikov G.V., Litvinov E.V. Liniya dlia proizvodstva plodoovoshchnykh chipsov [Line for the production of fruit and vegetable crisps]. Patent RF, no. 2485803, 2012. (In Russ.).
- 9 Bogoslovskii S.V. Fizicheskie svoystva gazov i zhidkosti [Physical properties of gases and liquids]. St. Petersburg . : SPbGUAP, 2001. 73 p. (In Russ.).
- 10 Vukalovich M.P. Teplofizicheskie svoystva vody i vodianogo para [Thermophysical properties of water and steam]. Moscow, Mashinostroenie, 1967. 160 p. (In Russ.).
- 11 Ginzburg A.S., Gromov M.A. Teplofizicheskie svoystva kartofelia, ovoshchei i plodov [Heat-physical characteristics of potatoes, vegetables and fruiting]. Moscow, Agropromizdat, 1987. 272 p. (In Russ.).
- 12 Kalashnikov G.V., Litvinov E.V., Rastegaev M.N. Structural model for calculating moisture-heat processing equipment flowing food. *Vestnik VGTA*. [Bulletin of VSTA], № 1 (43), 2010, P. 99-103. (In Russ.).