

Эксергетический анализ технологии осциллирующей сушки семян масличных культур

Виталий Н. Василенко	¹	vvn_1977@mail.ru
Лариса Н. Фролова	¹	fln-84@mail.ru
Иван В. Драган	¹	
Надежда А. Михайлова	¹	
Анастасия А. Щепкина	¹	
Дарья В. Воропаева	¹	

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Реферат. В последние десятилетия эксергетический метод термодинамического анализа стал неотъемлемой частью научных исследований, особенно проводимых в области техники и технологий сушки зерна. Известно, что информация, полученная при проведении эксергетического анализа недоступна при использовании других видов анализа, например, энергетического. В статье продемонстрированы преимущества и перспективы углубленного эксергетического анализа, целью которого является расширение информации, полученной исследователями при анализе энергопреобразующей системы, в разработке стратегий при термодинамическом совершенствовании энергопреобразующих систем, частным случаем которых являются сушилки и холодильные машины. В работе приведена оценка термодинамической эффективности технологии осциллирующей сушки семян масличных культур с учетом степени использования различных видов энергии, затрачиваемых в технологических процессах, исходя из свойств сырья, осуществленной над системой работы и суммарного количества всех видов энергии, привлеченных извне. Основной задачей являлась оценка на основе второго закона термодинамики степени термодинамического совершенства технической системы в целом, а также выявление этапов технического процесса, на которых сосредоточены основные потери эксергии, с целью повышения эффективности ее работы. Для оценки энергоэффективности рассматриваемой технологии нами был выполнен анализ, основанный на методике Бродянского, в соответствии с моделью окружающей среды Шаргута, который показал ее высокую степень термодинамического совершенства за счет использования отработанных теплоносителей и организации работы системы в замкнутом цикле. Высокая энергоэффективность рассматриваемой теплотехнологической системы свидетельствует о целесообразности использования холодильных машин, работающих в режиме теплового насоса при осциллирующей сушке с организацией замкнутых циклов теплоносителей. Смешивание холодного и горячего воздуха в различных пропорциях дает возможность оптимизировать параметры сушки в соответствии с видом масличного сырья и его начальными свойствами.

Ключевые слова: эксергетический анализ, масличные культуры, закон термодинамики

Exergy analysis of the technology of oscillating drying of oilseeds

Vitalii N. Vasilenko	¹	vvn_1977@mail.ru
Larisa N. Frolova	¹	fln-84@mail.ru
Ivan V. Dragan	¹	
Nadezhda A. Mikhailova	¹	
Anastasija A. Shhepkina	¹	
Dar'ja V. Voropaeva	¹	

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. In recent decades, the exergy method of thermodynamic analysis has become an integral part of scientific research, especially in the field of technology and technologies of grain drying. It is known that the information obtained during the exergy analysis is not available when using other types of analysis, for example, energy. The article demonstrates the advantages and prospects of in-depth exergy analysis, the purpose of which is to expand the information obtained by researchers in the analysis of energy-generating system in the development of strategies for thermodynamic improvement of energy-generating systems, a special case of which are dryers and refrigerators. The paper presents an assessment of thermodynamic efficiency of the technology of oscillating drying of oilseeds, taking into account the degree of use of different types of energy spent in technological processes, based on the properties of raw materials, work carried out on the system and the total amount of all types of energy involved from the outside. The main objective was to assess, on the basis of the second law of thermodynamics, the degree of thermodynamic perfection of the technical system as a whole, as well as to identify the stages of the technical process on which the main exergy losses are concentrated, in order to increase the efficiency of its work. To assess the energy efficiency of the technology under consideration, we performed an analysis based on Brodyansky's method, in accordance with the Shargut environmental model, which showed its high degree of thermodynamic perfection due to the use of waste heat carriers and the organization of the system in a closed cycle. High energy efficiency of the considered thermal technology system testifies to expediency of use of the refrigerating machines working in the mode of the heat pump at oscillating drying with the organization of the closed cycles of heat carriers. Mixing of hot and cold air in different proportions makes it possible to optimize the drying parameters in accordance with the type of oilseeds and its initial properties.

Keywords: exergy analysis, oilseeds, dynamics, thermodynamics law

Для цитирования

Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Драган И.В., Михайлова Н.А., Щепкина А.А., Воропаева Д.В. Эксергетический анализ технологии осциллирующей сушки семян масличных культур // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 81–89. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-81-89

For citation

Vasilenko V.N., Frolova L.N., Dragan I.V., Mihajlova N.A., Shhepkina A.A., Voropaeva D.V. Exergy analysis of the technology of oscillating drying of oilseeds. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 81–89. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-81-89

Введение

Достигнутые к сегодняшнему моменту знания в области теории и практики сушки зерна создали предпосылки к созданию энергосберегающих технологических схем с циклическим использованием агента сушки. Использование энергии, вырабатываемой тепловыми насосами (ТН), для сушки семян злаковых, зернобобовых и масличных культур позволяет с достаточной эффективностью заменить традиционные энергоносители (уголь, нефтепродукты). Кроме реализации принципа энергосбережения, достигается повышение экологичности производства за счет исключения выброса агента сушки в атмосферу [1, 2].

Предложенные технические решения по энергосбережению основаны на проведенных исследованиях [3–5], базирующихся на системном подходе и призванных выявить закономерности функционирования ТН в процессе сушки зерна.

Оценка степени энергосбережения, выражаемая термодинамической эффективностью теплотехнологических систем, к которым принадлежит сушка зерна [7, 8], осуществляется посредством эксергетического анализа [6, 9–13], позволяющего выявить в том числе и «узкие места» технологии, имеющие потенциал энергосбережения.

Основная часть

Используем эксергетический анализ для оценки термодинамической эффективности сушки семян масличных культур в осциллирующем режиме с чередованием циклов нагрева и охлаждения (таблица 1) [1].

Степень эффективности осциллирующей сушки как процесс взаимодействия влажного продукта и агента сушки находится в сильной зависимости от начального воздействия на продукт определяемый, согласно принципу Ле-Шателье [6] скоростью процесса сушки. Обеспечение каскада начальных импульсов, т. е. режима осциллирующей сушки продукта, достигается использованием парожекторной холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса (ПЭТН) для получения теплоносителей (нагретого и охлажденного воздуха).

Согласно технологической схеме, осциллирующей сушки семян масличных культур влажный материал последовательно подвергается следующим операциям:

- магнитное сепарирование;
- предварительная сушка нагретым воздухом, получаемым в конденсаторе ПЭТН;
- предварительное смешивание с антиоксидантом;
- охлаждение предсмеси в камере предварительного охлаждения охлажденным воздухом, получаемым в холодоприемнике ПЭТН;

- окончательная сушка;
- окончательное охлаждение.

Для определения энергетической эффективности технологическая система сушки условно отделена от окружающей среды замкнутыми контрольными поверхностями: I – предварительная сушка, II – предварительное охлаждение, III – окончательная сушка, IV – окончательное охлаждение, V – холодильная машина, VI – подготовка пара, VII – первый теплообменник, VIII – второй теплообменник (рисунок 1).

Эксергетическим параметром, учитываемым в процессе расчетов, в данной работе является эксергетическая мощность E , измеряемая в кДж/ч и учитывающая как энергию материальных, энергетических и тепловых потоков, так и расход вещества в потоке (производительность). Динамика прироста или уменьшения эксергетической мощности в выбранных контрольных поверхностях рассматриваемой теплотехнологической системы, вычисляется в соответствии с формулой [6]:

$$\sum_{i=1}^n E_i^3 = \sum_{k=1}^l E_k^3 + \sum_{j=1}^m D_j, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n E_i^3$ – суммарная эксергетическая мощность подводимых к каждой контрольной поверхности потоков; $\sum_{k=1}^l E_k^3$ – суммарная эксергетическая мощность отводимых от каждой контрольной поверхности полезных потоков; $\sum_{j=1}^m D_j = T_0 \cdot \Delta S$ – сумма потерь эксергии, вычисляемая в соответствии с уравнением Гюи-Стодоллы.

Уравнение (1) для рассматриваемой теплотехнологической системы [4] осциллирующей сушки рапса с начальной влажностью 18,0%, высушиваемого до конечного содержания влаги 8,5%, в виде:

$$E_1^H + E_2^H + E_3^H + E_4^H + \sum E^{3n} = E^{2n} + \sum D^i + \sum D^e, \quad (2)$$

где члены уравнения – эксергетическая мощность (кДж/ч): вводимых семян E_1^H , воздушных потоков E_2^H , пара E_3^H , вводимого антиоксиданта E_4^H , подаваемых в систему; высушенных и охлажденных семян рапса E^{2n} ; эксергетическая мощность, подводимая к системе в виде электрической энергии для приводов оборудования $\sum E^{3n}$; эксергетические потери от необратимости процессов внутри выделенных контрольных поверхностях $\sum D^i$; эксергетические потери в окружающую среду $\sum D^e$.

Эксергетический баланс теплотехнологической системы осциллирующей сушки семян масличных культур

Таблица 1.

Table 1.

Exergic balance of the heat-technological system of oscillating drying of oilseeds

Контроль объекта	Подвод эксергии Input			Отвод и потери эксергии Output			
	Наименование Name	E, 10 ³ мДж/ч	% от суммарной эксергии	Наименование Name	Обозначение Mark	кДж/ч	% от суммарной эксергии % total exergy
I	Камера предварительной сушки The camera pre-drying	7,92	3,98	Внутренние Internal	D ⁱ _I	8,69	4,37
				Внешние External	D ^e _I	8,75	4,40
II	Камера предварительного охлаждения Pre-cooling chamber	39,22	19,73	Внутренние Internal	D ⁱ _{II}	39,98	20,12
				Внешние External	D ^e _{II}	8,75	4,40
III	Камера окончательной сушки Final drying chamber	6,93	3,49	Внутренние Internal	D ⁱ _{III}	8,89	4,47
					D ^e _{III}	1,98	1,00
IV	Камера окончательного охлаждения Final cooling chamber	43,01	21,64	Внутренние Internal	D ⁱ _{IV}	36,19	18,21
				Внешние External	D ^e _{IV}	13,01	6,55
V	ПЭХМ РАНМ	12,87	6,48	Внутренние Internal	D ⁱ _V	11,35	5,71
				Внешние External	D ^e _V	37,73	18,98
VI	Парогенератор и сборник для конденсата Steam generator and the collector for condensate	88,80	44,68	Внутренние Internal	D ⁱ _{VI}	4,99	2,51
				Внешние External	D ^e _{VI}	1,19	0,60
VII	Первый теплообменник The first heat exchanger	0	0	Внутренние Internal	D ⁱ _{VII}	1,17	0,59
				Внешние External	D ^e _{VII}	0,79	0,40
VIII	Второй теплообменник The second heat exchanger	0	0	Внутренние Internal	D ⁱ _{VIII}	2,16	1,09
				Внешние External	D ^e _{VIII}	1,25	0,63
ИТОГО TOTAL		198,75	100	ИТОГО TOTAL		198,75	100
Эксергетический КПД, % Exergy η, %				5,98			

Выражение (2) учитывает изменение эксергетической мощности рассматриваемой системы в процессе подвода семян, воздуха, пара и антиоксиданта, электрической энергии к приводам оборудования и электронагревательным элементам парогенератора; уравнивания эксергетических потерь от необратимости тепловых и механических воздействий на обрабатываемый продукт; изменения его теплофизических свойств; уравнивания воздействия окружающей среды.

Эксергетическая мощность подводимых к системе семян E_1^h , воздуха E_2^h , пара E_3^h и антиоксиданта E_4^h равна нулю, так как данные потоки пребывают в состоянии термодинамического равновесия с внешней средой. Указанные потоки не учитываются в эксергетическом балансе.

При термообработке рапса в оборудовании технологической линии его химическая эксергия постоянна вследствие неизменности состава. В расчетах принимается во внимание его удельная термическая эксергия, определяемая на основании уравнения Гюй-Стодолы:

$$\Delta e = e - e_0 = h - h_0 - T_0(S - S_0) \quad (3)$$

где e , e_0 , h , h_0 , S , S_0 – удельная термическая эксергия, кДж/кг, удельная энтальпия, кДж/кг и энтропия, кДж/(кг·К) продукта при текущих параметрах технологического процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Эксергетическая мощность вычисляется исходя из значений удельной эксергии, определяемой по формуле (3), и производительности данного потока (соответствует расходу вещества).

Удельная изобарная теплоемкость рапса, (Дж/кг·К), вычисляется в соответствии с выражением, полученным опытным путем [9]:

$$c = \left(891,7 + 87,49W - 1,545W^2 + 0,01149W^3 \right) \times \left(1 + 0,287 \cdot 10^{-3} \cdot (25 - W) \cdot (t - 28) \right), \quad (4)$$

где W – влажность семян, %; t – температура семян, °С.

Теплофизические свойства пара, воздуха и воды при различных температурах и давлении найдены по материалам справочной литературы [8, 9].

В данной работе учтены внутренние D^i , связанные с необратимостью любых реальных процессов, и внешние D^e , вызванные взаимодействием системы с внешней средой, потери эксергии. К внутренним потерям эксергии

относятся потери, вызванные конечностью разности температур при теплообмене между продуктом и теплоносителями, и гидравлические потери, происходящие при резком снижении давления теплоносителя при поступлении из подводящего трубопровода в рабочий объем оборудования. Внешние потери D^e обусловлены разностью температур потоков внутри системы и окружающей среды, а также несовершенством теплоизоляции машин и аппаратов.

Термодинамическое совершенство рассматриваемой технологической линии определяли в соответствии с эксергетическим КПД [6, 7]:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{\sum_{k=1}^l E_k^h}{\sum_{i=1}^n E_i^3}, \quad (5)$$

где $\sum_{k=1}^l E_k^h$ – эксергетическая мощность суммы

полезных выводимых потоков, кДж/ч; $\sum_{i=1}^n E_i^3$ – суммарная подведенная к системе эксергетическая, кДж/ч.

При построении эксергетической диаграммы Грассмана–Шаргута (рисунок 2) в качестве абсолютного эксергетического параметра использовалась эксергетическая мощность P_e , кДж/ч. Обозначения потоков представлены в таблице 2

Эксергетический КПД предлагаемой системы осциллирующей сушки масличных культур с применением холодильной машины составил 5,98%, что на 2,3–2,7% выше, чем существующих технологических решений. Это было достигнуто вследствие применения замкнутых циклов теплоносителям с их периодической регенерацией в холодильной машине, работающей в режиме теплового насоса.

Заключение

Высокая энергоэффективность рассматриваемой теплотехнологической системы свидетельствует оцелесообразности использования холодильных машин, работающих в режиме теплового насоса при осциллирующей сушке сорганизацией замкнутых циклов теплоносителей. Смешивание холодного и горячего воздуха в различных пропорциях дает возможность оптимизировать параметры сушки в соответствии с видом масличного сырья и его начальными свойствами.

Обозначения потоков

Table 2.

Notation of flows

№ потока Flow no.	Наименование потока The name of the thread	E, кДж/ч
1	Свежее сырье Fresh raw materials	0
2	Подсушенное сырье Dried raw materials	9268
3	Охлажденное сырье Chilled raw material	1170
4	Высушенное сырье The dried raw material	14010
5	Конечный продукт Final product	3290
6	Горячий воздух, подаваемый в камеру предварительной сушки Hot air supplied into the chamber for pre-drying	24901
7	Холодный воздух, подаваемый в камеру предварительной сушки Cold air supplied into the chamber for pre-drying	260
8	Паровоздушная смесь, отводимая из камеры предварительной сушки Steam-air mixture removed from the pre-drying chamber	6570
9	Холодный воздух, подаваемый в камеру предварительного охлаждения Cold air supplied to the pre-cooling chamber	2601
10	Воздух, отводимый из камеры предварительного охлаждения The air is with drawn from pre-cooling	434
11	Горячий воздух, подаваемый в камеру окончательной сушки The hot air supplied in the chamber of the final drying	27888
12	Паровоздушная смесь, отводимая из камеры окончательной сушки Steam-air mixture removed from the final drying chamber	10961
13	Холодный воздух, подаваемый в камеру окончательного охлаждения Cold air supplied into the chamber of the final cooling	2601
14	Воздух, отводимый из камеры окончательного охлаждения The air with drawn from the final cooling	12
15	Воздух, отводимый из второго рекуперативного теплообменника в конденсатор Air discharged from these condheat exchanger to the condenser	5679
16	Воздух, отводимый из первого рекуперативного теплообменника в холодоприемник Air discharged from the first heat exchanger to the cold collector	2839
17	Воздух, отводимый из холодоприемника в первый рекуперативный теплообменник Air discharged from the cold collector to the first heat exchanger	10404
18	Воздух, отводимый из первого рекуперативного теплообменника во второй Air discharged from the first heat exchanger to the second heat exchanger	7027
19	Пар Steam	106576
20	Конденсат, поступающий из холодоприемника The condensat ecoming from coldcollector	241
21	Конденсат, поступающий из конденсатора The condensate coming from the condenser	1528
22	Конденсат, поступающий во второй рекуперативный теплообменник The condensate received in the second recuperative heat exchanger	4583
23	Конденсат, поступающий из второго рекуперативного теплообменника The condensate coming from the second regenerative heat exchanger	1294
24	Антиоксидант, вводимый в сырье после камеры предварительной сушки The oxidant introduced into the raw material after pre-drying chamber	0
25	Антиоксидант, вводимый в сырье после камеры окончательной сушки The oxidant introduced into the raw material after final drying chamber	0
26	Электроэнергия вентилятора, подающего воздух в камеру предварительной сушки Electric power of the fan feeding air into the pre-drying chamber	7920
27	Электроэнергия вентилятора, подающего воздух в камеру предварительного охлаждения Electric power of the fan supplying air to the pre-cooling chamber	7920
28	Электроэнергия привода первого смесителя Electric power of the first mixer drive	39600
29	Электроэнергия вентилятора, подающего воздух в камеру окончательной сушки Electric power of the fan feeding air into the final drying chamber	7920
30	Электроэнергия привода второго смесителя Electric power of the second mixer drive	39600
31	Электроэнергия вентилятора, подающего воздух в камеру окончательного охлаждения Electric power of the fan supplying air to the final cooling chamber	7920
32	Электроэнергия вентилятора, подающего пар в эжектор Electricity fan, feed steam to the ejector	900
33	Электроэнергия насоса, подающего хладагент в холодоприемник Electricity pump supplying refrigerant to cold collector	7200
34	Электроэнергия насоса, подающего конденсат в испаритель Electricity from the condensate pump to the evaporator	7200
35	Электроэнергия ТЭНов парогенератора Electricity to the heating elements of the steam generator	104400
36	Электроэнергия насоса, подающего конденсат в парогенератор Electric power of the condensate pump to the steam generator	7200
37	Избытки воды, выводимые из системы Excess water discharged from the system	241

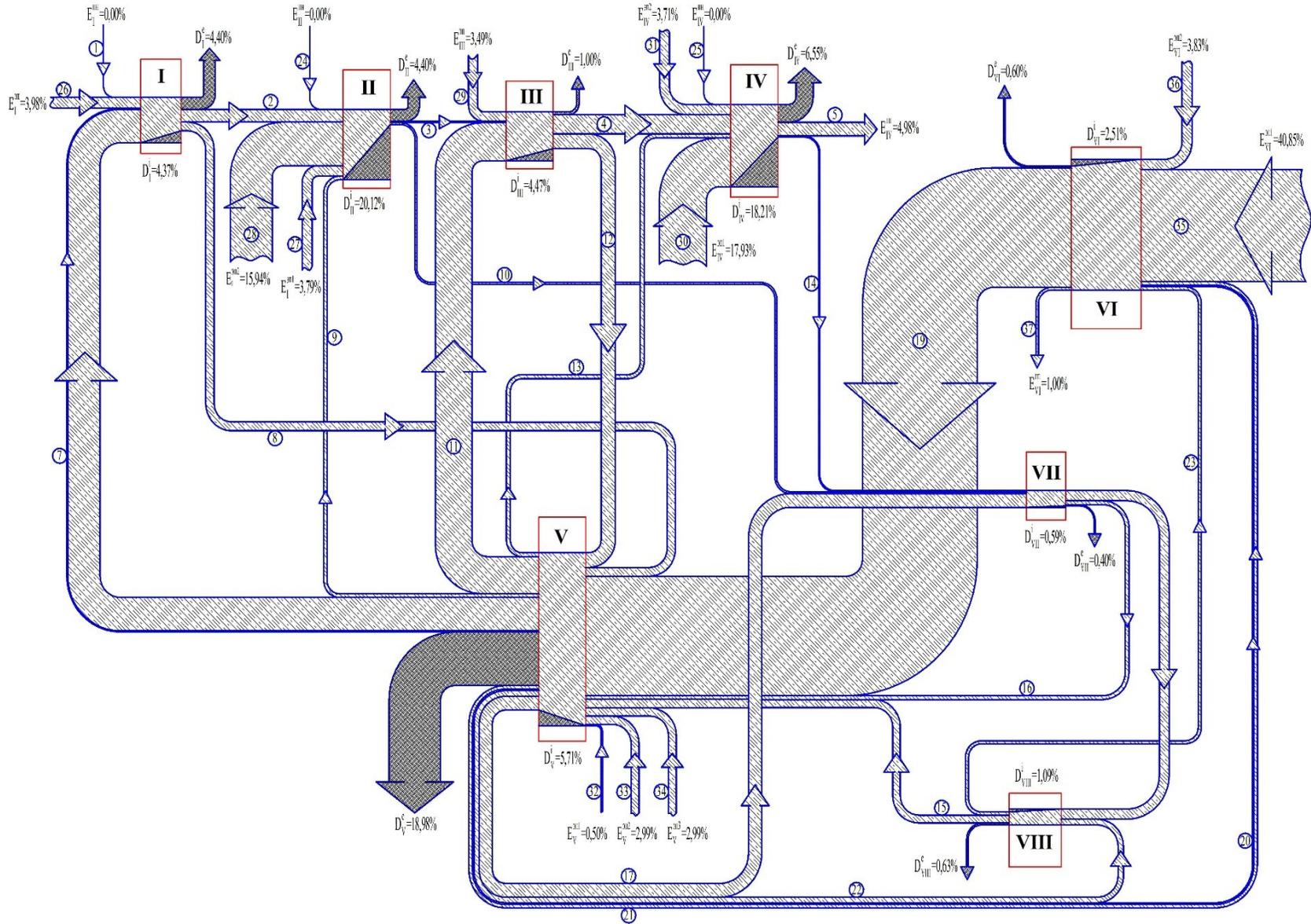


Рисунок 2. Эксергетическая диаграмма Грассмана-Шаргута
 Figure2. The exergetic diagram of Grassmann-Shargut

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бегунов А. А., Рогозина Е. А. К вопросу об измерении массы в пищевых лабораториях. Часть 1. Средства измерений массы //Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – №. 6. – С. 52-57.
- 2 Бегунов А. А., Рогозина Е. А. К вопросу об измерении массы в пищевых лабораториях. Часть 2. Методы измерений массы //Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – №. 7. – С. 45-51.
- 3 Василенко В.Н., Копылов М.В., Фролова Л.Н., Драган И.В. Математическая модель движения сырья в шнековом канале маслопресса // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 3 (57). С. 18-22.
- 4 Шевцов А.А., Бритиков Д. А., Острикова Е.А., Пономарев А. В. Сравнительная энергетическая оценка способов сушки зерна с применением тепловых насосов методом эксергетического анализа // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. № 4. С. 88-92.
- 5 Шевцов А.А., Павлов И.О., Воронова Е.В., Тертычная Т.Н. Структурно-функциональный анализ технологической системы сушки и хранения зерна // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 9. С. 8 – 13.
- 6 Шаргут Я., Петела В. Эксергия. М.: Энергия, 1968. 279 с.
- 7 Бродянский В. М., Фратшер В., Михалец К. Эксергетический метод и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988. 287 с.
- 8 Базаров И. П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991. 376 с.
- 9 Богословский С. В. Физические свойства газов и жидкостей. СПб.: СПбГУАП, 2001. 73 с.
- 10 Berghout J.A.M. et al. Sustainability assessment of oilseed fractionation processes: A case study on lupin seeds // Journal of Food Engineering. 2015. V. 150. P. 117-124.
- 11 Ranjbaran M., Zare D. Simulation of energetic-and exergetic performance of microwave-assisted fluidized bed drying of soybeans // Energy. 2013. V. 59. P. 484-493.
- 12 Ferreira M.E.M., Neto A.C., Costa P.A.B. Exergy Evaluation of the Production Process of Babassu Biodiesel Synthesized via Methanolic and Ethanolic Route // International Journal of Applied. 2014. V. 4. №. 3.
- 13 Boldrin A., Balzan A., Astrup T. Energy and environmental analysis of a rapeseed biorefinery conversion process // Biomass Conversion and Biorefinery. 2013. V. 3. №. 2. P. 127-141.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Виталий Н. Василенко д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vvn_1977@mail.ru

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, fln-84@mail.ru

REFERENCES

- 1 Begunov A.A., Rogozina E.A. On the measurement of mass in food laboratories. Part 1. Means of measuring the mass. *Khranenie I pererabotka sel'skhozsyrya* [Storage and Processing of Grain] 2016. no. 6. pp. 52-57. (in Russian)
- 2 Begunov A.A., Rogozina E.A. On the measurement of mass in food laboratories. Part 2. Methods of measuring the mass. *Khranenie I pererabotka sel'skhozsyrya* [Storage and Processing of Grain] 2016. no. 7. pp. 45-51. (in Russian)
- 3 Vasilenko V.N., Kopylov M.V., Frolova L.N., Dragan I.V. A mathematical model of the movement of raw materials in the screw channel of the oil press. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technology] 2013. no. 3 (57). pp. 18-22. (in Russian)
- 4 Shevtsov A.A., Britikov D.A., Ostriкова E.A., Ponomarev A.V. Comparative energy evaluation of grain drying methods using heat pumps using the exergetic analysis method. *Izvestiya Vuzov*. [News of universities Food technology] 2012. no. 4. pp. 88-92. (in Russian)
- 5 Shevtsov A.A., Pavlov I.O., Voronova E.V., Tertychna T.N. Structurally functional analysis of the technological system of drying and storage of grain. *Avtomatizatsiya I sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technologies] 2008. no 9. pp. 8 - 13. (in Russian)
- 6 Shargut J., Petela V. *Eksergiya* [Exergy] Moscow, Energiya, 1968. 279 p. (in Russian)
- 7 Brodyanskii V.M., Fratsher V., Mikhalek K. *Eksergeticheskii metod* [The exergy method and its applications] Moscow, Energoatomizdat, 1988. 287 p. (in Russian)
- 8 Bazarov I. P. *Termodinamika* [Thermodynamics] Moscow, Higher School, 1991. 376 p. (in Russian)
- 9 Bogoslovsky S.V. *Fizicheskie svoistva gazov* [Physical Properties of Gases and Liquids] Saint-Petersburg, SPbGUAP, 2001. 73 p. (in Russian)
- 10 Berghout J.A.M., Pelgrom P.J.M., Schutyser M.A.I., Boom R.M. et al. Sustainability assessment of oilseed fractionation processes: A case study on lupin seeds. *Journal of Food Engineering*, 2015. vol. 150. pp 117-124.
- 11 Ranjbaran M., Zare D. Simulation of energetic-and exergetic performance of microwave-assisted fluidized bed drying of soybeans. *Energy*, 2013. vol. 59. pp. 484-493.
- 12 Ferreira M.E.M., Neto A.C., Costa P.A.B. Exergy Evaluation of the Production Process of Babassu Biodiesel Synthesized via Methanolic and Ethanolic Route. *International Journal of Applied*, 2014. vol. 4. no. 3.
- 13 Boldrin A., Balzan A., Astrup T.. Energy and environmental analysis of a rapeseed biorefinery conversion process. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2013. vol. 3(2). no. 127-141.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Vitalii N. Vasilenko Dr. Sci. (Egin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vvn_1977@mail.ru

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Egin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru

Иван В. Драган к.т.н., кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Надежда А. Михайлова к.т.н., кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Анастасия А. Щепкина студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Дарья В. Воропаева студент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 22.01.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.02.2018

Ivan V. Dragan Cand. Sci. (Engin.), technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Nadezhda A. Mikhailova Cand. Sci. (Engin.), technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Anastasija A. Shhepkina student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Dar'ja V. Voropaeva student, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.22.2018

ACCEPTED 2.19.2018