






Многокритериальная оптимизация процесса получения свекловичного сока прессово – диффузионным способом

Виталий Ю. Овсянников	¹	ows2003@mail.ru	 0000-0001-9388-6303
Василий В. Торопцев	¹	vsworkmail@bk.ru	 0000-0001-6448-5586
Алексей А. Берестовой	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Наталья Н. Лобачева	¹	naloni@mail.ru	 0000-0002-6561-7285
Мария А. Лобачева	¹	lobatchyovam@mail.ru	
Александр Н. Мартеха	²	man6630@rambler.ru	 0000-0002-7380-0477






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

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия

Аннотация. В настоящее время на сахарных заводах актуально использование передовых технологий, базирующихся на использовании сочетания физического и энергетического воздействия на исходное сырье и обеспечивающих сокращение потерь сахарозы на этапе получения диффузионного сока. Предлагается способ прессово-диффузионного получения сока из сахарной свеклы, позволяющий обеспечить сокращение производственных затрат, повысить выход сахарозы из свекловичной стружки и снизить потери на этапе получения диффузионного сока. В работе исследован прессово-диффузионный способ добычи сока из сахарной свеклы с применением методов математического планирования и статистической обработки результатов опытов. На экспериментальных установках под воздействием технологических параметров, в качестве которых выступали давление, прикладываемое к свекловичной массе на стадии прессования, температура на стадии диффузии, температура предварительной обработки свекловичной стружки перед прессованием и частота ультразвуковых колебаний излучателя в диффузионной установке, получены уравнения регрессии и субоптимальные параметры, обеспечивающие максимальный выход свекловичного сока при минимальных затратах энергии на его реализацию. Такими режимными параметрами явились следующие: давление прессования 0,27–0,33 МПа, температура предварительной обработки свекловичной стружки 334,2–337,3 К, температура диффузии 342,5–345,0 К и частота ультразвукового излучения 21,25–23,36 кГц. Представленные инженерные номограммы, позволяют быстро и качественно определить величину удельных затрат энергии и величину выхода жидкой фазы от технологических параметров прессово-диффузионного способа получения свекловичного сока.

Ключевые слова: сахарная свекла, прессование, диффузия, оптимизация, свекловичный сок

Multi-criteria optimization of beet juice obtaining process by press-diffusion method

Vitaly Yu. Ovsyannikov	¹	ows2003@mail.ru	 0000-0001-9388-6303
Vasiliy V. Toroptsev	¹	vsworkmail@bk.ru	 0000-0001-6448-5586
Alexey A. Berestovoy	¹	berestovoy_1991@mail.ru	 0000-0003-2255-9414
Natalja N. Lobacheva	¹	naloni@mail.ru	 0000-0002-6561-7285
Mariia A. Lobacheva	¹	lobatchyovam@mail.ru	
Alexander N. Martekha	²	man6630@rambler.ru	 0000-0002-7380-0477

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russia

Abstract. Currently, the application of advanced technologies in sugar factories is relevant. These technologies are based on the use of a combination of physical and energy effects on the feedstock and provide a reduction in sucrose losses at the stage of diffusion juice obtaining. A method of press-diffusion production of juice from sugar beet which allows to increase the yield of sucrose from beet chips and to reduce losses at the stage of diffusion juice obtaining and production costs is suggested by us. The press-diffusion method of extracting juice from sugar beet with the methods of mathematical planning and statistical processing of the experimental results was studied in the work. Regression equations and suboptimal parameters providing the maximum yield of beet juice with minimum energy consumption for its implementation were received in experimental plants under the influence of technological parameters, which were the pressure applied to the beet mass at the pressing stage, the temperature at the diffusion stage, and the pretreatment temperature of beet chips before pressing and the frequency of ultrasonic vibrations of the emitter in the diffusion installation. These operating parameters were the following: pressing pressure 0.27–0.33 MPa, pretreatment temperature of beet chips 334.2–337.3 K, diffusion temperature 342.5–345.0 K and frequency of ultrasonic radiation 21.25–23.36 kHz. The engineering nomograms presented make it possible to determine the value of the specific energy consumption and the value of the liquid phase output from the technological parameters of the press-diffusion method for producing beet juice in a quick and qualitative way.

Keywords: sugar beet, pressing, diffusion, optimization, beet juice

Для цитирования

Овсянников В.Ю., Торопцев В.В., Берестовой А.А., Лобачева Н.Н., Лобачева М.А., Мартеха А.Н. Многокритериальная оптимизация процесса получения свекловичного сока прессово – диффузионным способом // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 30–37. doi:10.20914/2310-1202-2020-4-30-37

For citation

Ovsyannikov V.Yu., Toroptsev V.V., Berestovoy A.A., Lobacheva N.N., Lobacheva M.A., Martekha A.N. Multi-criteria optimization of beet juice obtaining process by press-diffusion method. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 30–37. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-4-30-37

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Важнейшей задачей производства сахара является наиболее полное извлечение сахарозы из исходного сырья – сахарной свеклы. При этом производство диффузионного сока сопровождается переходом порядка 2,07–3% несахаров и балластных веществ корнеплодов свеклы в жидкую фазу сока. Поэтому очень актуален вопрос получения максимально чистого свекловичного сока [1, 2].

Метод прессово-диффузионного извлечения сока из клеточной структуры растительного сырья известен давно, но, несмотря на возможность получения сока с чистотой, превышающей

чистоту клеточного сока, содержащегося в корнях сахарной свеклы, указанный способ еще не нашел широкого применения на отечественных сахарных заводах.

Кроме того, существенным недостатком традиционного диффузионного метода обессахаривания свекловичной стружки, применяемого на отечественных сахарных заводах, является то, что для достижения полноты извлечения сахарозы при соблюдении стандартных потерь в жоме требуется увеличение расхода экстрагента. Однако, чем больше отбор сока, тем больше несахаров из клеток свеклы переходит в диффузионный сок.

Повышение содержания несахаров в диффузионном соке отрицательно сказывается на условиях дальнейшей очистки и осветления как с точки зрения качества конечного сока, так и с точки зрения технологических затрат на его реализацию [3, 4].

Потери сахарозы на стадии диффузии определяются ее содержанием в отпрессованном жоме, из которого уже не представляется возможным извлечь сахара. Поэтому наиболее полное извлечения сахарозы из стружки сахарной свеклы зависит от доли сахарозы, добытой путем прессования стружки сахарной свеклы и последующего извлечения сахарозы экстрагированием отпрессованного жмыха [5–7].

Материалы и методы

Исследование процесса прессования стружки сахарной свеклы проводилось на экспериментальной установке, представленной на рисунке 1.

Стружка загружалась в цилиндр и сжималась сверху поршнем. На дно была уложена проволочная сетка, чтобы отделить свекловичный сок от спрессованных измельченных частиц свеклы.

Нижняя подвижная опора, поддерживаемая осями, для которой предусмотрены три фиксированных положения на разной высоте, позволяла

регулировать слой прессуемой массы и при необходимости устанавливать цилиндры большей или меньшей высоты.



Рисунок 1. Установка для изучения процесса прессования свекловичной стружки: 1 – цилиндр; 2 – днище; 3 – шток; 4 – гидроцилиндр; 5 – гидронасос; 6 – манометр; 7 – рама

Figure 1. Equipment for studying the process of beet chips pressing: 1 – cylinder; 2 – bottom; 3 – stock; 4 – hydraulic cylinder; 5 – hydraulic pump; 6 – manometer; 7 – frame

Нагрузка на движущийся поршень внутри цилиндра осуществлялась штоком гидроцилиндра, управляемым ручным гидронасосом. Давление на поршень регистрировалось манометром, входящим в комплект экспериментальной установки.

Количество выжатого свекольного сока определяли с помощью мерного стакана. Влажность жмыха, полученного после каждого эксперимента, определялась сушкой до постоянного веса.

Серия предварительных экспериментов позволила найти оптимальный диапазон изменения давления прессования, который составляет 0,1–1,0 МПа. В этом диапазоне давлений обеспечивался повышенный выход сока за достаточно короткий промежуток времени.

Для проведения экспериментальных исследований процесса диффузии сока из свекловичного жмыха использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 2.

Цилиндрический фильтрующий элемент с коническим днищем и коаксиально расположенный ультразвуковой преобразователь установлены соосно внутри корпуса из нержавеющей стали в виде цилиндра со съемной крышкой. Боковая поверхность фильтрующего элемента перфорирована и установлена с возможностью ее замены. Это позволило качественно отделить жидкую фазу от измельченного продукта в активном гидродинамическом режиме и последующее фильтрационное отделение диффузионного сока, обогащенного сахарозой, от твердых частиц жмыха.

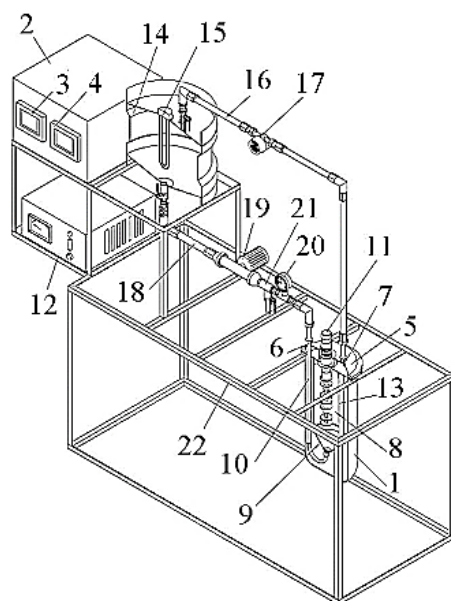


Рисунок 2. Установка для исследования процесса диффузии свеколовичного жмыха: 1 – корпус; 2 – блок управления; 3 – таймер; 4 – секундомер; 5 – крышка; 6, 7 – штуцера для ввода и вывода диффузионного сока; 8 – цилиндрический фильтрующий элемент; 9 – коническое днище; 10 – трубопровод; 11 – ультразвуковой излучатель; 12 – генератор ультразвуковых колебаний; 13 – перфорированная боковая поверхность; 14 – накопительная емкость для диффузионного сока; 15 – нагревательный элемент; 16, 18 – трубопроводы; 17 – расходомер; 19 – насос; 20 – манометр; 21 – кран для отбора проб; 22 – рама

Figure 2. Equipment for studying the beet cakediffusion process: 1 – case; 2 – control unit; 3 – timer; 4 – stopwatch; 5 – cover; 6, 7 – fittings for diffusion juice input and output; 8 – cylindrical filtering element; 9 – conical bottom; 10 – pipeline; 11 – ultrasonic emitter; 12 – ultrasonic vibrations generator; 13 – perforated side surface; 14 – storage tank for diffusion juice; 15 – heating element; 16, 18 – pipelines; 17 – flow meter; 19 – pump; 20 – manometer; 21 – sampling valve; 22 – frame

Наличие в конструкции таймера, секундомера, расходомера, манометра и отборного крана позволило изучить процесс отделения сахарозы от измельченного свеколовичного жмыха.

Выбор температурного режима предварительной обработки и диффузии обусловлен спецификой воздействия на обрабатываемую технологическую среду. Для изучения влияния параметров прессово-диффузионного способа извлечения свеколовичного сока на качество получаемого продукта и обоснования параметров процесса был запланирован эксперимент, который позволил бы одновременно варьировать все факторы и получать количественные значения эффектов их взаимодействия.

Среди множества параметров, включенных в исследование, были выбраны следующие независимые переменные: давление, прикладываемое к свеколовичной массе на стадии прессования X_1 , температура на стадии диффузии X_2 , температура предварительной обработки свеколовичной стружки перед прессованием X_3 , частота ультразвуковых колебаний излучателя в диффузионной установке X_4 .

Диапазоны изменения значений указанных параметров представлены в таблице 1.

Интервалы изменения параметров выбирались исходя из технологических условий прессово-диффузионного способа получения свеколовичного сока и конструктивных особенностей используемых установок. Выбор критериев оценки обоснован их максимальной значимостью в технологическом регламенте производства свеколовичного сока [8–11].

В качестве критериев оценки эффективности получения сока из сахарной свеклы выбраны удельные затраты энергии на получение одного

килограмма сока Y_1 , кВт×ч/кг и выход свеколовичного сока по отношению к исходной массе свеклы Y_2 , кг/кг в пересчете на 100 кг.

Таблица 1.
Пределы изменения параметров

Table 1.
Range of input parameters variation

Условия планирования Conditions	Пределы изменения параметров Limits of parameters			
	X_1 , Pa	X_2 , K	X_3 , K	X_4 , kHz
Основной уровень Basic level	0,30	338	343	22
Верхний уровень Upper level	0,40	343	348	23
Нижний уровень Lower level	0,20	333	338	21
Верхняя звёздная точка Upper stellar point	0,47	346	351	20
Нижняя «звёздная точка» Lower stellar point	0,13	330	335	24

Независимые переменные варьировали в соответствии с планом Бокса–Хантера четвертого порядка; все операции повторяли дважды с рандомизацией [12, 13].

Интервалы изменения параметров выбирались исходя из технологических условий прессово-диффузионного способа получения свеколовичного сока и конструкций установок. Выбор критериев оценки обоснован их максимальной значимостью в технологическом регламенте производства свеколовичного сока.

Критериями оценки эффективности получения сока из сахарной свеклы выбраны удельные затраты энергии на получение одного килограмма сока Y_1 , кВт×ч/кг и выход свеколовичного сока по отношению к исходной массе

свеклы Y_2 , кг/кг в пересчете на 100 кг. Указанные критерии напрямую влияют на технико – экономические показатели процесса.

Результаты исследований

При обработке экспериментальных данных для уровня значимости 0,05 проводили проверку однородности дисперсий, значимости коэффициентов уравнений и адекватности.

Статистическая обработка позволила получить соответствующие уравнения регрессии, в кодированных переменных, описывающие прессово-диффузионный способ получения свекловичного сока из стружки и жома.

$$Y_1 = 1,395 + 0,055X_1 + 0,113X_2 + 0,026X_3 + 0,048X_4 + 0,019X_2^2 + 0,022X_3^2 + 0,02X_4^2 - 0,04X_1X_2 - 0,019X_1X_3 + 0,052X_1X_4 + 0,079X_2X_3 - 0,039X_2X_4 - 0,018X_3X_4; \quad (1)$$

$$Y_2 = 57,276 + 2,291X_1 + 1,29X_2 + 1,04X_3 + 0,458X_4 + 1,024X_1^2 + 0,149X_2^2 + 1,399X_3^2 + 1,025X_4^2 - 0,438X_1X_2 - 0,312X_1X_3 - 0,438X_1X_4 + 0,063X_2X_3 - 0,562X_2X_4 - 0,435X_3X_4 \quad (2)$$

Обсуждение результатов

Анализ уравнений (1) и (2) позволил выявить параметры, оказывающие наибольшее влияние на прессово-диффузионный способ получения свекловичного сока.

На удельный расход энергии максимально влияет давление прессования, минимально – температура экстрагента на стадии диффузии. Степень влияния параметров друг на друга – 6,6, а знак плюс перед коэффициентом в линейном выражении указывает на то, что с увеличением

входного параметра значение выходного параметра увеличивается.

На выход сока больше влияет давление прессования и, меньше, температура экстрагента на стадии диффузии. Отношение коэффициентов перед линейными членами – 37,1.

Уравнения (1) и (2) являются степенными. Повышение интенсивности процесса выделения сахарозы из свекольной стружки и жмыха связано с накладываемым давлением и усилением влияния температурного воздействия на обрабатываемую массу. Это увеличивает коэффициент теплопередачи и ускоряет процесс, но повышает расход энергии. В каждом конкретном случае процесс должен быть оптимизирован для минимизации условной стоимости при наложении ограничений, определяемых характеристиками процессов. Изучали поверхности отклика согласно уравнениям (1) и (2) для оценки влияния отдельных параметров и нахождения рациональных режимов сокодобычи.

Оптимизируя, отыскивали режимы прессово-диффузионного получения сока из сахарной свеклы, обеспечивающие минимальный удельный расход энергии и максимальный выход сока внутри установленных интервалов.

Предполагалось, что уравнения регрессии (1) и (2) описывают геометрический набор точек в виде поверхности, а коэффициенты канонических уравнений определяют форму данной поверхности в многомерном пространстве.

С помощью пакета *STATISTICA 10* получены кривые равных значений и поверхности отклика для параметров Y_1 и Y_2 (рисунки 3 и 4).

Согласно уравнениям (1) и (2) определены соответствующие значения параметров оптимизации Y_{is} . Результаты расчета представлены в таблице 2.

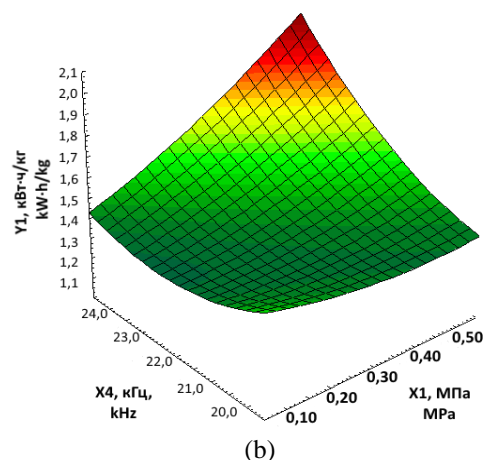
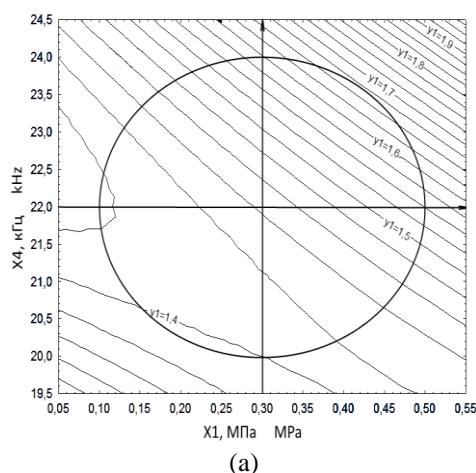
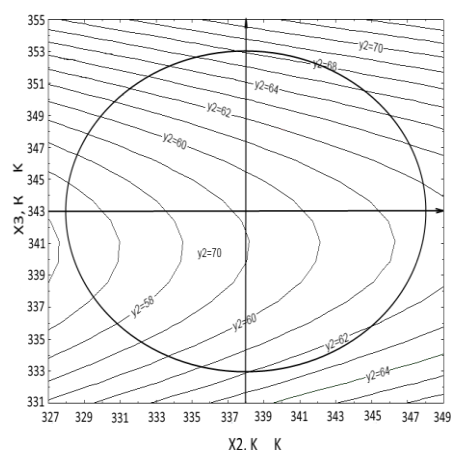
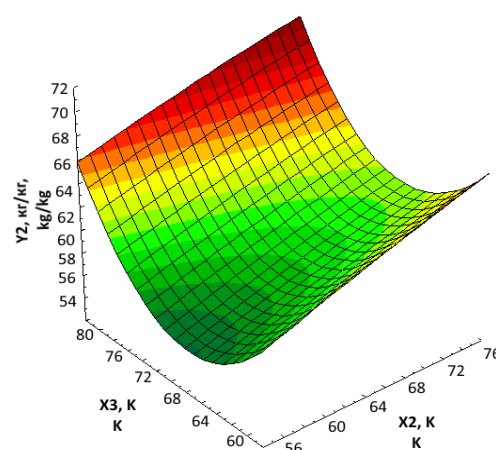


Рисунок 3. Кривые равных значений (а) и поверхность отклика (б) удельных затрат энергии Y_1 , кВт·ч/кг в зависимости от: давления прессования X_1 , МПа, и частоты ультразвуковых колебаний X_4 , кГц

Figure 3. Equal value curves (a) and the surface of response (b) of the specific energy consumption Y_1 , kW·h, depending on the squeezing pressure X_1 , MPa, and the frequency of ultrasonic oscillations X_4 , kHz



(a)



(b)

Рисунок 4. График кривых равных значений (a) и поверхности отклика (b) выхода сока Y_2 , кг/кг в зависимости от температуры предварительной обработки X_2 , К, и температуры экстракции X_3 , К

Figure 4. Graph of curves of equal values (a) and the surface of the response (b) of the juice output, depending on the pre-treatment temperature X_2 , К, and extraction temperature X_3 , К

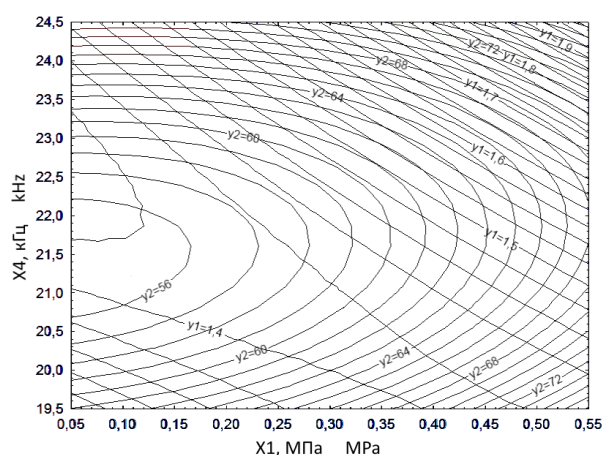


Рисунок 5. Номограмма для определения удельных затрат энергии Y_1 , кВт×ч/кг, в зависимости от давления прессования (X_1), МПа, и частоты ультразвуковых колебаний (X_4), кГц

Figure 5. Nomogram for the specific energy consumption determining Y_1 , kW×h/kg, depending on the squeezing pressure (X_1), MPa, and the frequency of ultrasonic oscillations (X_4), kHz

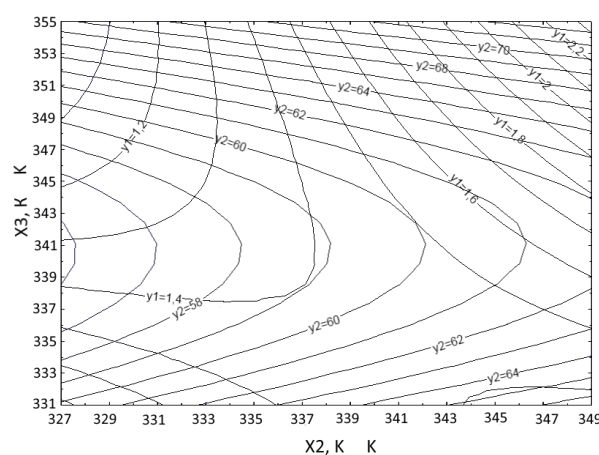


Рисунок 6. Номограмма для определения выхода сока Y_2 , кг/кг, в зависимости от температуры предварительной обработки (X_2), К, и температуры диффузии (X_3), К

Figure 6. Nomogram for the juice yield determining Y_2 , kg/kg, depending on the temperature pretreatment (X_2), К, and diffusion temperature (X_3), К

Таблица 2.
Оптимальные значения входных переменных

Table 2.
The range of input parameters variation

Y_i	X_{1s}	X_{2s}	X_{3s}	X_{4s}	Y_s
Y_1	0,27	61,2	69,5	21,25	1,45
Y_2	0,33	64,3	72,0	23,36	63,5

Уравнения (1) и (2) приводили к каноническому виду и осуществляли их анализ, показавший, что исследуемые фигуры в четырехмерном

пространстве относятся к «минимаксному» типу: при движении в направлении осей, для которых X_i являются положительным, значения выходных параметров увеличиваются от центра оптимизации, а значения выходных параметров уменьшаются в направлении осей, для которых X_i отрицательно. При противоположных знаках коэффициентов канонических уравнений поверхности отклика представляют собой униполярный или биполярный гиперboloид, а если знаки коэффициентов канонических уравнений совпадают, поверхности отклика представляют собой эллипсоид.

На рисунках 3–6 показаны некоторые кривые равных значений выходных параметров, поверхностей отклика и номограммы, полученные наложением соответствующих кривых равных значений друг на друга.

С помощью уравнений (1) и (2) были рассчитаны оптимальные режимы прессово-диффузионного способа получения свекольного сока по величине удельных затрат энергии и выхода сока.

Выбор оптимальных значений удельных затрат энергии назначался исходя из их минимально допустимых значений с ограничениями на выбранные параметры. Для этого режима имеем давление прессования $X_1 = 0,27$ МПа, температура предварительной обработки стружки $X_2 = 334,2$ К; температура диффузии $X_3 = 342,5$ К, частота ультразвукового излучения $X_4 = 21,25$ кГц. При этом удельный расход энергии равен $Y_1 = 1,45$ кВт·ч/кг.

Изменения значения параметров X_i находились в диапазонах: $X_1 = 0,27–0,33$ МПа; $X_2 = 334,2–337,3$ К; $X_3 = 342,5–345,0$ К; $X_4 = 21,25–23,36$ кГц. При таких значениях входных

параметров удельный расход энергии составит $Y_1 = 1,32…1,45$ кВт·ч/кг. Полученные диапазоны независимых переменных для параметра оптимизации Y_1 считаем оптимальными.

Выбор оптимальных параметров выхода сока ведется из их максимальных значений. Это давление прессования $X_1 = 0,36$ МПа, температура предварительной обработки стружки $X_2 = 337,3$ К; температура диффузии $X_3 = 345,0$ К, частота ультразвукового излучения $X_4 = 21,25$ кГц. Здесь выход сока составит $Y_2 = 63,5$ кг/кг.

В диапазоне изменения значения независимых переменных X_i находились в следующих диапазонах: $X_1 = 0,25–0,36$ МПа; $X_2 = 331,2–340,5$ К; $X_3 = 339,8–348,1$ К; $X_4 = 21,12–23,84$ кГц. При таких значениях параметров удельный расход энергии составил $Y_2 = 59,1–63,5$ кг/кг. Указанные диапазоны изменения независимых переменных параметра оптимизации Y_2 следует считать оптимальными. В таблице 3 представлены выбранные оптимальные диапазоны параметров X_i для всех исследованных выходных факторов.

Результаты вычислений представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Оптимальные интервалы параметров

Table 3.

The range of input factors variation

Y	X ₁ , MPa		X ₂ , K K		X ₃ , K		X ₄ , kHz	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Y ₁	0,27	0,33	334,2	337,3	342,5	345,0	21,25	23,36
Y ₂	0,25	0,36	331,2	340,5	339,8	348,1	21,12	23,84

Для проверки правильности полученных результатов были проведены параллельные эксперименты, полученные результаты укладывались в доверительные интервалы, рассчитанные для всех критериев качества. При этом среднеквадратичная ошибка не превышала 10% [12, 13].

Заключение

В результате исследования получения диффузионного сока из сахарной свеклы при использовании последовательно реализуемых процессов прессования свекольной стружки и диффузионной обработки отпрессованного жмыха получены зависимости, отражающие изменение величины удельных затрат энергии и выхода диффузионного сока от рабочих параметров технологических процессов.

Используя математические приемы, базирующиеся на методе неопределенных множителей Лагранжа получена информация

о рациональных диапазонах изменения входных параметров прессово-диффузионного способа получения сока из сахарной свеклы. Рациональные интервалы для входных параметров исследуемого способа выглядят следующим образом: давление прессования 0,27–0,33, температура предварительной обработки стружки 334,2–337,3 К, температура диффузии 342,5–345,0 К, частота ультразвукового излучения 21,25–23,36 кГц. В этом случае обеспечиваются минимальные затраты энергии на получение сока и максимальный его выход.

Полученные уравнения позволяют осуществить эффективный контроль и управление процессом прессово-диффузионного получения сока из сахарной свеклы, обеспечить повышенный выход сахарозы при одновременном сокращении затрат на последующих этапах очистки и осветления сока [14, 15].

Литература


- 1 Сапронов А.Р., Сапронова Л.А., Ермолаев С.В. Технология сахара. СПб.: Профессия, 2015. 296 с.
- 2 Иванова В.Н., Серегин С.Н. Агропродовольственная политика ЕАЭС: обеспечение продовольственной безопасности // Сахар. 2015. № 2. С. 22–25.
- 3 Rodrigues R, Sperandio L.C.C., Andrade C.M.G. Investigation of color and turbidity in the clarification of sugarcane juice by ozone // J Food Process Eng. 2017. V. 12. P. 661.
- 4 Sartori J.A.S., Ribeiro K., Teixeira A.C.S.C., Magri N.T.C. et al. Sugarcane juice clarification by hydrogen peroxide: predictions with artificial neural networks // Int. J. of Food Eng. 2017. V. 13. P. 199.
- 5 Городецкий В.О., Семенихин С.О., Даишева Н.М., Котляревская Н.И. Диффузионно-прессовое извлечение сахарозы как начальная стадия очистки диффузионного сока // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2017. № 1. С. 62–66.
- 6 Слива Ю.В., Попова И.В., Мазур Л.М. Влияние электрогидравлической обработки стружки сахарной свеклы в экстрагенте и температуры экстрагирования на качество диффузионного сока // Сахар. 2015. № 1. С. 42–43.
- 7 Mhemdi H., Bals O., Vorobiev E. Combined pressing-diffusion technology for sugar beets pretreated by pulsed electric field // Journal of Food Engineering. 2016. V. 168. P. 166–172.
- 8 Mhemdi H., Almohammed F., Bals O., Grimi N. et al. Impact of pulsed electric field and preheating on the lime purification of raw sugar beet expressed juices // Food and Bioproducts Processing. 2015. V. 95. P. 323–331.
- 9 Rabhi Z., El-Belghiti K. Kinetic model of sugar diffusion from sugar beet tissue treated by pulsed electric field // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2015. V. 8. P. 1213–1218.
- 10 Eggleston G. Positive aspects of cane sugar and sugar cane derived products in food and nutrition // J Agric Food Chem. 2018. V. 66. P. 4007–4012.
- 11 Moreno C., Suárez C.E., David W., Torres Q. et al. Cane honey: process, quality and harmlessness // Int J Eng Res. 2016. V. 5. P. 589–593.
- 12 Sawicki T. et al. Profile and content of betalains in plasma and urine of volunteers after long-term exposure to fermented red beet juice // Journal of agricultural and food chemistry. 2018. V. 66. № 16. P. 4155–4163.
- 13 Porto M.R.A. et al. Physicochemical stability, antioxidant activity, and acceptance of beet and orange mixed juice during refrigerated storage // Beverages. 2017. V. 3. № 3. P. 36.
- 14 Sokolowska B., Woźniak Ł., Skapska S., Porębska I. et al. Evaluation of Quality Changes of Beetroot Juice after High Hydrostatic Pressure Processing // High Pressure Research. 2017. V. 37. P. 1–9.
- 15 Costa D.A., Stahl Hermes V., de Oliveira Rios A., Hickmann Flores S. Minimally Processed Beetroot Waste as an Alternative Source to Obtain Functional Ingredients // Journal of Food Science and Technology. 2017. V. 54. P. 2050–2058.

References


- 1 Saprionov, A.R. Saprionova L.A., Ermolaev S.V. Sugar technology. SPb., Professiya, 2015. 296 p. (in Russian).
- 2 Ivanova V.N., Seregin S.N. Agri-food policy of the EAEU: ensuring food security. Sugar. 2015. no. 2. pp. 22–25. (in Russian).
- 3 Rodrigues R., Sperandio L.C.C., Andrade C.M.G. Investigation of color and turbidity in the clarification of sugarcane juice by ozone. J Food Process Eng. 2017. vol. 12. pp. 661.
- 4 Sartori J.A.S., Ribeiro K., Teixeira A.C.S.C., Magri N.T.C. et al. Sugarcane juice clarification by hydrogen peroxide: predictions with artificial neural networks. Int. J. of Food Eng. 2017. vol. 13. pp. 199.
- 5 Gorodetsky V.O., Semenikhin S.O., Daisheva N.M., Kotlyarevskaya N.I. Diffusion-press extraction of sucrose as an initial stage of purification of diffusion juice. Technologies of food and processing industry Agro Industrial Complex - healthy food products. 2017. no. 1. pp. 62–66. (in Russian).
- 6 Plum Yu.V., Popova I.V., Mazur L.M. Influence of electrohydraulic processing of sugar beet chips in the extractant and the extraction temperature on the quality of diffusion juice. Sugar. 2015. no. 1. pp. 42–43. (in Russian).
- 7 Mhemdi H., Bals O., Vorobiev E. Combined pressing-diffusion technology for sugar beets pretreated by pulsed electric field. Journal of Food Engineering. 2016. vol. 168. pp. 166–172.
- 8 Mhemdi H., Almohammed F., Bals O., Grimi N. et al. Impact of pulsed electric field and preheating on the lime purification of raw sugar beet expressed juices. Food and Bioproducts Processing. 2015. vol. 95. pp. 323–331.
- 9 Rabhi, Z., El-Belghiti K. Kinetic model of sugar diffusion from sugar beet tissue treated by pulsed electric field. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2015. vol. 8. pp. 1213–1218.
- 10 Eggleston G. Positive aspects of cane sugar and sugar cane derived products in food and nutrition. J Agric Food Chem. 2018. vol. 66. pp. 4007–4012.
- 11 Moreno C., Suárez C.E., David W., Torres Q. et al. Cane honey: process, quality and harmlessness. Int J Eng Res. 2016. vol. 5. pp. 589–593.
- 12 Sawicki T. et al. Profile and content of betalains in plasma and urine of volunteers after long-term exposure to fermented red beet juice. Journal of agricultural and food chemistry. 2018. vol. 66. no. 16. pp. 4155–4163.
- 13 Porto M.R.A. et al. Physicochemical stability, antioxidant activity, and acceptance of beet and orange mixed juice during refrigerated storage. Beverages. 2017. vol. 3. no. 3. pp. 36.
- 14 Sokolowska B., Woźniak Ł., Skapska S., Porębska I. et al. Evaluation of Quality Changes of Beetroot Juice after High Hydrostatic Pressure Processing. High Pressure Research. 2017. vol. 37. pp. 1–9.
- Costa D.A., Stahl Hermes V., de Oliveira Rios A., Hickmann Flores S. Minimally Processed Beetroot Waste as an Alternative Source to Obtain Functional Ingredients. Journal of Food Science and Technology. 2017. vol. 54. pp. 2050–2058.

Сведения об авторах


Виталий Ю. Овсянников д.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ows2003@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>


Василий В. Торопцев к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vsworkmail@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

Алексей А. Берестовой к.т.н., старший преподаватель, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, berestovoy_1991@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Наталья Н. Лобачева к.т.н., доцент, кафедра иностранных языков, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nalon@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6561-7285>

Мария А. Лобачева студент, факультет пищевых машин и автоматов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobatchyovam@mail.ru

Александр Н. Мартеха к.т.н., доцент, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия, man6630@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов


Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors


Vitaly Yu. Ovsyannikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, head of the department of machines and apparatus for food production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ows2003@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>


Vasiliy V. Toroptsev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, head of the department of machines and apparatus for food production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vsworkmail@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

Alexey A. Berestovoy Cand. Sci. (Engin.), lecturer, head of the department of machines and apparatus for food production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, berestovoy_1991@mail.ru


 <https://orcid.org/0000-0003-2255-9414>

Natalja N. Lobacheva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of foreign languages, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nalon@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6561-7285>

Mariia A. Lobacheva student, faculty of food machines and equipment, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lobatchyovam@mail.ru

Alexander N. Martekha Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department of processes and apparatus of processing industries, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russia, man6630@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/11/2020	После редакции 14/11/2020	Принята в печать 01/12/2020
Received 05/11/2020	Accepted in revised 14/11/2020	Accepted 01/12/2020