

Разработка математической регрессионной модели процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима

Светлана Н. Зобова	¹	zobova-svetlana2017@ya.ru	 0000-0000-0000-0000
Лариса Н. Фролова	²	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Геннадий В. Алексеев	³	gva2003@rambler.ru	 0000-0002-6505-4136
Артем А. Бирченко	³	topgir97@mail.ru	 0000-0003-2678-2613
Игорь С. Богомолов	²	igor-bog@ya.ru	

1 ОАО «Боринский сахарный завод», с. Боринское, Липецкая обл., 398510, Россия

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

3 Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия

Аннотация. Статья посвящена разработке математической регрессионной модели процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима. В качестве исходных параметров были приняты следующие параметры прессования свекловичного жома: влажность начальная (перед прессом) и конечная (после прессы) влажность; содержание сахара в жоме перед и после прессования; содержание сахара в жоме; длина свекловичной стружки перед и после прессования; общая биологическая обсемененность свекловичного жома; кислотность жома перед и после прессования; кислотность гранулированного жома. Для реализации предлагаемой методики используется модуль Fuzzy Logic Toolbox, входящий в пакет MatLab, а для представления результатов моделирования в графическом виде, используют модуль Surface Viewer. Такие исследования предварительно проводились с помощью пакета прикладных программ CurveExpert 1.3. Полученные уравнения адекватно описывают изменение содержания сахара в жоме и его кормовой ценности в зависимости от кислотности и влажности жома, а также от длины свекловичной стружки. Выявлена значимость влияния каждого из основных технологических параметров (кислотность и влажность свекловичного жома, длина свекловичной стружки) на величину содержания сахара в жоме и его кормовую ценность. Полученные квадратичные зависимости, имеющие достаточно высокие коэффициенты R^2 адекватно описывают реализуемый процесс отжима свекловичного жома в прессе глубокого отжима с оценкой влияния изменяемых параметров на содержание остаточного сахара и кормовых единиц в свекловичном жоме. Полученные данные позволяют объективно оценивать работу прессы глубокого отжима и обосновать кинематический режим вращения шнеков, позволяющий минимизировать себестоимость готовой продукции.

Ключевые слова: математическая модель, свекловичный жом, прессование, параметры, изменение, качество

Development of a mathematical regression model of the beet pulp pressing process carried out on a deep press extruder

Svetlana N. Zobova	¹	zobova-svetlana2017@ya.ru	 0000-0000-0000-0000
Larisa N. Frolova	²	fln-84@mail.ru	 0000-0002-6505-4136
Gennady V. Alexeev	³	gva2003@rambler.ru	 0000-0002-6505-4136
Artem A. Birchenko	³	topgir97@mail.ru	 0000-0003-2678-2613
Igor S. Bogomolov	²	igor-bog@ya.ru	

1 JSC Borinsky sugar plant, v. Borinskoe, Lipetsk region, 398510, Russia

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

3 National Research University ITMO, Kronversky pr. 49, St. Petersburg, 197101, Russia

Abstract. The article is devoted to the development of a mathematical regression model of the beet pulp pressing process carried out on a deep press extruder. The following parameters of beet pulp pressing were taken as initial ones: initial moisture content (before the extruder) and final moisture content (after the extruder); sugar content in the pulp before and after pressing; sugar content in the pulp; beet chips length before and after pressing; total biological contamination of sugar beet pulp; pulp acidity before and after pressing; acidity of the granulated pulp. The Fuzzy Logic Toolbox module included in the MatLab package is used to implement the proposed technique. The Surface Viewer module is used to present the simulation results in a graphical form. Such studies were previously carried out with the CurveExpert 1.3 application package. The resulting equations adequately describe the change in the sugar content in the pulp and its nutritional value depending on the pulp acidity and moisture content, as well as the length of the sugar beet chips. The significance of the influence of each of the main technological parameters (acidity and moisture content of the beet pulp, the length of the beet chips) on the amount of sugar in the pulp and its nutritional value was determined in the work. The resulting quadratic dependences having sufficiently high coefficients R^2 , adequately describe the process of beet pulp pressing in a deep press extruder with an assessment of the influence of variable parameters on the content of residual sugar and feed units in beet pulp. The data obtained make it possible to objectively evaluate the work of a deep-pressing extruder and justify the kinematic mode of the screws rotation, which allows minimizing the cost of finished products.

Keywords: mathematical model, beet pulp, pressing, parameters, change, quality

Для цитирования

Зобова С.Н., Фролова Л.Н., Алексеев Г.В., Бирченко А.А., Богомолов И.С. Разработка математической регрессионной модели процесса прессования свекловичного жома на прессе глубокого отжима // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 31–36. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-31-36

For citation

Zobova S.N., Frolova L.N., Alekseev G.V., Birchenko A.A., Bogomolov I.S. Development of a mathematical regression model of the beet pulp pressing process carried out on a deep press extruder. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 31–36. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-31-36

Введение

Производство сушеного жома связано со значительными энергозатратами, обусловленными высокой начальной влажностью и необходимостью испарения влаги при его тепловой сушке в барабанных сушилках [3, 14].

Большинство сахарных заводов России для отжима влажного жома используют прессы предварительного отжима жома ПСЖН-68, позволяющими получить жом с влажностью 90–89% (содержание сухих веществ (СВ) 10–11%), и жомоотжимные прессы ГХ-2, на которых отжимают жом до влажности 82–86% (содержание СВ 14–18%) [4, 5].

На зарубежных сахарных заводах применение прессов глубокого отжима позволяет получать жом с влажностью 65–70 % (содержание СВ 30–35 %). При этом на отечественных сахарных заводах для производства 1 т сушёного гранулированного жома при СВ отжатого жома 17,0–17,5 %, затраты на природный газ достигают 90 %. А с учетом того, что стоимость тепловой энергии примерно в 30 раз превышает стоимость механической энергии, поэтому производители стремятся к максимально возможному механическому обезвоживанию жома, и как следствие снижению потребления газа на сушку отжатого жома [6]. Если на сахарных заводах европейских стран расход топлива на сушку жома составляет около 30 %, то в России он достигает 50 % топлива к массе сухого жома [7, 8, 19]. Поэтому для снижения значительной энергоёмкости процесса сушки отжатого жома все чаще используется высокая эффективность механического обезвоживания жома при прессовании [9, 17, 18, 20].

С этой целью сахарные заводы оснащаются прессами глубокого отжима, что даёт возможность получить прессованный жом с содержанием СВ 25–30 %, что позволяет сократить расход топлива на сушку жома до 28,2–24,1 % к массе сушёного жома.

Высокое содержание СВ в отжатом жоме позволяет использовать высокопроизводительные современные сушильные установки и сушить весь вырабатываемый заводом жом [10–13].

Отжим свекловичного жома наиболее оптимальным способом позволяет повысить концентрацию сухих веществ в жоме. В среднем, выход сушёного жома составляет 4,5–5% к массе свёклы [15–16].

Таким образом, для повышения энергетической эффективности получения сухого гранулированного жома важно добиться на стадии прессования максимально возможного отжатия влаги.

Цель работы – выявление закономерностей изменения основных параметров свекловичного жома с начальной влажностью 88,3% на Боринском сахарном заводе (Липецкая область) в процессе его отжатия для вывода пресса глубокого отжима Babbini (Италия) на оптимальный режим работы с помощью частотного преобразователя электродвигателя привода.

Материалы и методы

Целевыми функциями при переработке свекловичного жома являются остаточное содержание сахара в жоме и кормовая ценность (содержание кормовых единиц), а параметрами – кислотность pH, влажность, размер частиц, длина свекловичной стружки. Содержание сахара в жоме необходимо минимизировать. Процесс отжима жома идет 35–45 мин. в зависимости от оборотов шнека пресса (среднее время 40 мин).

В качестве исходных параметров были приняты следующие параметры прессования свекловичного жома: начальная влажность (перед прессом) $W_n = 88,3\%$ и конечная влажность (после пресса) $W_k = 71,8\%$; содержание сахара в жоме перед прессованием $C_{хн} = 2,28\%$; содержание сахара в жоме после прессования $C_{хк} = 1,9\%$; длина свекловичной стружки перед прессованием, $l_{нэжв} = 10–40$ мм; длина свекловичной стружки после прессования, $l_{кэжв} = 1,2–25$ мм; общая биологическая обсемененность 0–1000 клеток в 1 г свекловичного жома; кислотность жома перед прессованием $pH_{нп} = 4,94$; кислотность жома после прессования $pH_{кп} = 5,10$; кислотность гранулированного жома $pH_{гр} = 5,37$.

Установлено, что после 10 мин прессования влажность составляет 82,3%, после 20 мин – 71,6%, после 30 мин – 72,3%.

Возможно использование математического моделирования на основе аппарата нечеткой логики. Для реализации предлагаемой методики используется модуль Fuzzy Logic Toolbox, входящий в пакет MatLab, а для представления результатов моделирования в графическом виде, используют модуль Surfase Viewer [1]. Такие исследования предварительно проводились с помощью пакета прикладных программ CurveExpert 1.3 [2].

Полученные уравнения регрессии достаточно хорошо отражают закономерности изменения важнейших параметров: кормовой ценности прессованного жома и содержания в нем сахаров.

Вместе с тем, поскольку взаимные коэффициенты коэффициентов корреляции отдельных параметров эксперимента достаточно близки к 1, представляется целесообразным дополнительно исследовать влияние каждого из этих параметров на целевые параметры процесса: комовую ценность и остаточные сахара.

Изменения содержания сахара в жоме (таблица 1) описывались следующими уравнениями:

– в зависимости от кислотности жома в течение процесса прессования

$$y_c = 6,6925 - 1,7 x_{pH} + 0,15 x_{pH}^2$$

– в зависимости от влажности жома в течение процесса прессования

$$y_c = 10,83 - 0,24 x_w + 0,0016 x_w^2$$

– в зависимости от длины свекловичной стружки в течение процесса прессования

$$y_c = 1,897 + 0,00069 x_L + 0,0005 x_L^2$$

Изменение кормовой ценности (таблица 2) описывались следующими уравнениями;

– в зависимости от длины свекловичной стружки в течение процесса прессования

$$y_{кц} = 114 - 7,4365 x_L + 0,14075 x_L^2$$

– в зависимости от влажности жома в течение процесса прессования

$$y_{кц} = 916,3 - 17,6 x_w + 0,084 x_w^2$$

– в зависимости от кислотности жома в течение процесса прессования

$$y_{кц} = 686,14 - 330,73 x_{pH} + 40,787 x_{pH}^2$$

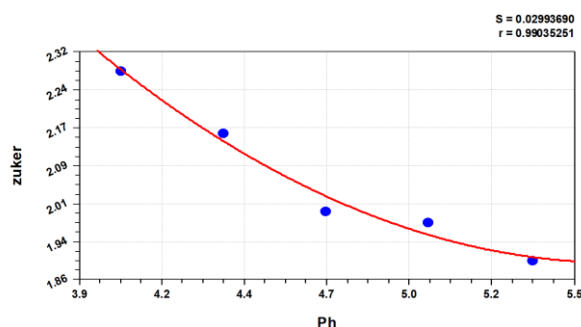


Рисунок 1. Изменение содержания сахара в жоме в зависимости от его кислотности в течение процесса прессования

Figure 1. Change of sugar content in pulp depending on its acidity during the pressing process

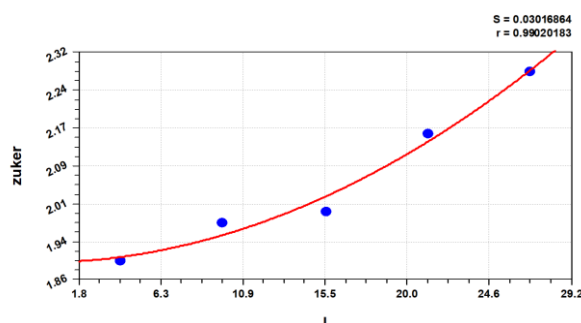


Рисунок 3. Изменение содержания сахара в жоме в зависимости от длины стружки в течение процесса прессования

Figure 3. Variation of sugar content in pulp depending on chip length during the pressing process

В конечном результате было получено регрессионное уравнение, описывающее изменение содержания остаточного сахара в свекловичном жоме в процессе прессования:

$$y_c = 4,248 - 0,180 x_{pH} - 0,020 x_w + 0,022 x_L$$

Регрессионная статистика: множеств. R = 0,9960; R-квадрат = 0,9920; нормированный R-квадрат = 0,9681; стандартная ошибка $\sigma = 0,02708$.

Было получено регрессионное уравнение, описывающее изменение содержания кормовых единиц в свекловичном жоме в процессе прессования:

$$y_c = 1328,178 - 142,566 x_{pH} - 6,299 x_w - 6,499 x_L$$

Регрессионная статистика: множеств. R = 0,99554; R-квадрат = 0,99111; нормированный R-квадрат = 0,96445; стандартная ошибка $\sigma = 5,562$.

Полученные уравнения адекватно описывают изменение содержания сахара в жоме и его кормовой ценности в зависимости от кислотности и влажности жома, а также от длины свекловичной стружки. Графические результаты таких исследований приведены на рисунках 1–6.

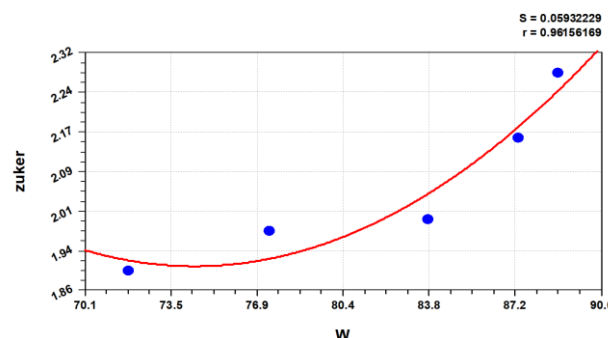


Рисунок 2. Изменение содержания сахара в жоме в зависимости от влажности в течение процесса прессования

Figure 2. Change of sugar content in pulp depending on moisture during the pressing process

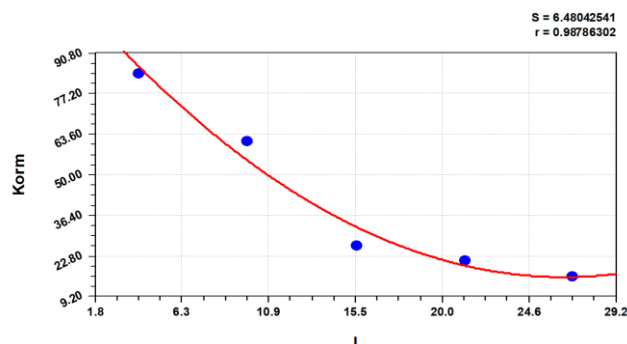


Рисунок 4. Изменение кормовой ценности жома в зависимости от длины стружки в течение процесса прессования

Figure 4. Changes in feed value of pulp depending on chip length during the pressing process

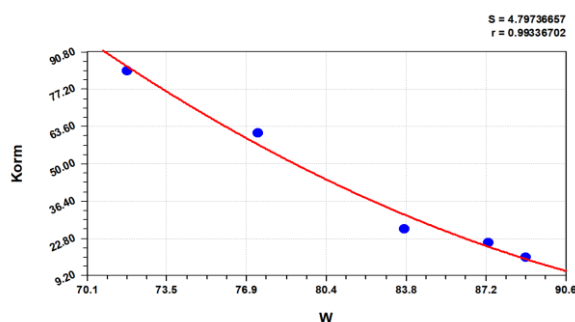


Рисунок 5. Изменение кормовой ценности жома в зависимости от влажности стружки в течение процесса прессования

Figure 5. Changes in the feed value of pulp depending on the moisture content of the chips during the pressing process

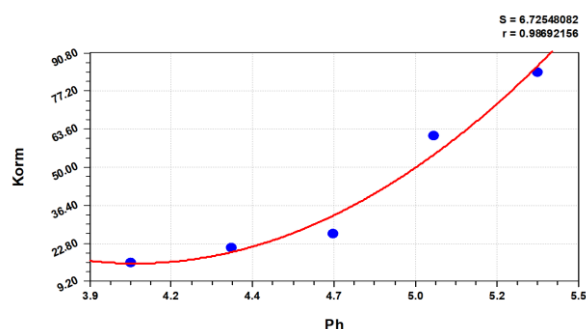


Рисунок 6. Изменение кормовой ценности жома в зависимости от кислотности стружки в течение процесса прессования

Figure 6. Changes in the feed value of pulp depending on the acidity of the chips during the pressing process

Таблица 1.

Обработка данных предварительных экспериментов по выявлению остаточного сахара

Table 1.

Processing of data from preliminary experiments to detect residual sugar

Кислотность жома, x_{pH} The acidity of the pulp, x_{pH}	Влажность жома, x_w , % Pulp moisture, x_w , %	Длина свекловичной стружки x_L , мм Length of beet chips x_L , mm	Содержание сахара в жоме u_c , % Sugar content in pulp, u_c , %
4,04	88,9	26,9	2,28
4,37	87,3	21,23	2,156
4,7	83,7	15,52	2,01
5,03	77,4	9,76	1,977
5,37	71,8	4,05	1,901

Таблица 2.

Обработка данных предварительных экспериментов по выявлению кормовой ценности

Table 2.

Processing of data from preliminary experiments to identify the feed value

Кислотность жома, x_{pH} The acidity of the pulp, x_{pH}	Влажность жома, x_w , % Pulp moisture, x_w , %	Длина свекловичной стружки x_L , мм Length of beet chips x_L , mm	Содержание кормовых единиц $u_{кд}$ Content of fodder units u_{cs}
4,04	88,9	26,9	16
4,37	87,3	21,23	21,2
4,7	83,7	15,52	26,5
5,03	77,4	9,76	61,2
5,37	71,8	4,05	84

Выявлена значимость влияния каждого из основных технологических параметров (кислотность и влажность свекловичного жома, длина свекловичной стружки) на величину содержания сахара в жоме и его кормовую ценность. Полученные данные позволяют объективно оценивать работу пресса глубокого отжима и обосновать кинематический режим вращения шнеков, позволяющий минимизировать себестоимость готовой продукции.

Анализ полученных результатов моделирования говорит о том, что изображенные квадратичные зависимости имеют высокие коэффициенты R^2 , и, следовательно, они в достаточно мере адекватны

реализуемому в процессе отжима влиянию изменяемых величин на итоговый результат.

Заключение

Были получены регрессионные уравнения, адекватно описывающие изменение содержания остаточного сахара и изменение содержания кормовых единиц в свекловичном жоме в процессе прессования.

Полученные квадратичные зависимости, имеющие достаточно высокие коэффициенты R^2 адекватно описывают реализуемый процесс отжима свекловичного жома в прессе глубокого отжима с оценкой влияния изменяемых параметров на содержание остаточного сахара и кормовых единиц в свекловичном жоме.

Литература

1. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Лукин Н.И. Математические методы в пищевой инженерии. Санкт-Петербург, ЛАНБ, 2012, 176 с.
2. Алексеев Г.В., Вороненко Б.А., Гончаров М.В., Холявин И.И. Численные методы при моделировании технологических машин и оборудования. Санкт-Петербург, ГИОРД, 2014, 200 с.
3. Мхитарян Г.А., Леснов А.П., Ткаченко В.М. Современные технологии переработки свекловичного жома // Сахарная свекла. 2009. № 2. С. 33–35.
4. Круглик С.В. Об опыте контроля отдельных показателей при отжиме и сушке жома // Сахар. 2019. № 12. С. 21–23.
5. Булавин С.А., Колесников А.С. Безотходная энергосберегающая технология сушки и переработки свекловичного жома // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2014. № 4. С. 3.
6. Спичак В.В., Вратский А.М. Современные направления использования и утилизации свекловичного жома // Сахар. 2011. № 9. С. 60–64.
7. Яковчик Н.С., Карабань О.А. Свекловичный жом: вкусно и питательно. 2019.
8. Habeeb A.A.M., Gad A.E., El-Tarabany A.A., Mustafa M.M. et al. Using of sugar beet pulp by-product in farm animals feeding // Int. J. Sci. Res. Sci. Technol. 2017. V. 3. P. 107–120.
9. Гурин А.Г., Басов Ю.В., Гнеушева В.В. Жом как ценнейший продукт сахарного производства // Russian agricultural science review. 2015. Т. 5. № 5–1. С. 251–255.
10. Li M., Wang L.J., Li D., Cheng Y.L. et al. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp // Carbohydrate Polymers. 2014. V. 102. P. 136–143. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.11.021
11. Харина М.В., Васильева Л.М., Емельянов В.М. Особенности структуры и состава свекловичного жома и перспективы его переработки // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 24.
12. Mudoga H.L., Yucel H., Kincal N.S. Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons // Bioresource technology. 2008. V. 99. № 9. P. 3528–3533. doi: 10.1016/j.biortech.2007.07.058
13. Malekbala M.R., Hosseini S., Yazdi S.K., Soltani S.M. et al. The study of the potential capability of sugar beet pulp on the removal efficiency of two cationic dyes // Chemical Engineering Research and Design. 2012. V. 90. № 5. P. 704–712. doi: 10.1016/j.cherd.2011.09.010
14. AgroXXI. Агропромышленный комплекс. URL: <https://www.agroxxi.ru/stati/rynok-saharnoi-svekly-v-rosi.html>
15. TehTab. URL: <http://tehtab.ru/guide/guidephysics/guidephysicsheatandtemperature/comnustionenergy/fuelshighercaloricvalues/>
16. Akram M., Tan C.K., Garwood D.R., Fisher M. et al. Co-firing of pressed sugar beet pulp with coal in a laboratory-scale fluidized bed combustor // Applied energy. 2015. P. 1–8. doi: 10.1016/j.apenergy.2014.11.008
17. Редченко М.А., Авроров В. А. О прессовании свежего свекловичного жома // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Т 8. № 2 (46). 2019. С. 170–173.
18. Филипова, Л.В. Использование отходов свеклосахарного производства в кормлении сельскохозяйственных животных // Агро-Информ. 2016. №12 (218). С.29–30.
19. Риянова Э.Э., Кострюкова Н.В. Физико-химический анализ свекловичного жома // SCI-ARTICLE.RU. 2017. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1488193767>
20. Польшаева М.А. Об использовании вторичных ресурсов свеклосахарного производства // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: ПензГТУ, 2016. № 1(29). С. 92–94.

References

1. Alekseev G.V., Voronenko B.A., Lukin N.I. Mathematical methods in food engineering. St. Petersburg, LAN, 2012, 176 p. (in Russian).
2. Alexeev G.V., Voronenko B.A., Goncharov M.V., Kholyavin I.I. Numerical methods in modeling technological machines and equipment. St. Petersburg, GIOR, 2014. 200 p. (in Russian).
3. Mkhitaryan G.A., Lesnov A.P., Tkachenko V.M. Modern technologies of beet pulp processing. Sugar Beet. 2009. no. 2. pp. 33–35. (in Russian).
4. Kruglik S.V. On the experience of controlling individual indicators during squeezing and drying of pulp. Sugar. 2019. no. 12. pp. 21–23. (in Russian).
5. Bulavin S.A., Kolesnikov A.S. Wasteless energy-saving technology of drying and processing of beet pulp. Innovations in the agroindustrial complex: problems and prospects. 2014. no. 4. pp. 3. (in Russian).
6. Spichak V.V., Vratsky A.M. Modern directions of use and utilization of beet pulp. Sugar. 2011. no. 9. pp. 60–64. (in Russian).
7. Yakovchik N.S., Karaban O.A. Beet pulp: tasty and nutritious. 2019. (in Russian).
8. Habeeb A.A.M. et al. Using of sugar beet pulp by-product in farm animal feeding. Int. J. Sci. Res. Sci. Technol. 2017. vol. 3. pp. 107–120.
9. Gurin A.G., Basov Yu.V., Gneusheva V.V. Zhom as the most valuable product of sugar production. Russian agricultural science review. 2015. vol. 5. no. 5–1. pp. 251–255. (in Russian).
10. Li M., Wang L.J., Li D., Cheng Y.L. et al. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp. Carbohydrate Polymers. 2014. vol. 102. pp. 136–143. doi: 10.1016/j.carbpol.2013.11.021
11. Kharina MV, Vasilyeva LM, Emelyanov VM Features of the structure and composition of beet pulp and prospects for its processing. Bulletin of Kazan Technological University. 2014. vol. 17. no. 24. (in Russian).

- 12 Mudoga H.L., Yucel H., Kincal N.S. Decolorization of sugar syrups using commercial and sugar beet pulp based activated carbons. *Bioresource technology*. 2008. vol. 99. no. 9. pp. 3528–3533. doi: 10.1016/j.biortech.2007.07.058
- 13 Malekbala M.R., Hosseini S., Yazdi S.K., Soltani S.M. et al. The study of the potential capability of sugar beet pulp on the removal efficiency of two cationic dyes. *Chemical Engineering Research and Design*. 2012. vol. 90. no. 5. pp. 704–712. doi: 10.1016/j.cherd.2011.09.010
- 14 AgroXXI. Available at: <https://www.agroxxi.ru/stati/rynok-saharnoi-svekly-v-rosi.html>
- 15 TehTab. Available at: <http://tehtab.ru/guide/guidephysics/guidephysicsheatandtemperature/comnustionenergy/fuelhighercaloricvalues/>
- 16 Akram M., Tan C.K., Garwood D.R., Fisher M. et al. Co-firing of pressed sugar beet pulp with coal in a laboratory-scale fluidized bed combustor. *Applied energy*. 2015. pp. 1–8. doi: 10.1016/j.apenergy.2014.11.008
- 17 Redchenko M.A., Avrorov V.A. On the pressing of fresh sugar beet pulp. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2019. vol. 8. no. 2 (46). pp. 170-173. (in Russian).
- 18 Filipova L.V. The use of sugar beet waste in the feeding of farm animals. *Agro-Inform*. 2016. no. 12 (218). pp. 29-30. (in Russian).
- 19 Riyanova E.E., Kostryukova N.V. Physico-chemical analysis of beet pulp. *SCI-ARTICLE.RU*. 2017. Available at: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1488193767> (in Russian).
- 20 Poldyaeva, M.A. On the use of secondary resources of sugar beet production. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. Penza, Penza State Technical University, 2016. no. 1(29). pp. 92-94. (in Russian).

Сведения об авторах

Светлана Н. Зобова директор, ОАО «Боринский сахарный завод», с. Боринское, Липецкая обл., 398510, Россия, zobova-svetlana2017@ya.ru
[ID https://orcid.org/0000-0000-0000-0000](https://orcid.org/0000-0000-0000-0000)

Лариса Н. Фролова д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, fln-84@mail.ru
[ID https://orcid.org/0000-0002-6505-4136](https://orcid.org/0000-0002-6505-4136)

Геннадий В. Алексеев д.т.н., профессор, кафедра технологии процессов и аппаратов пищевых производств, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия, gva2003@rambler.ru
[ID https://orcid.org/0000-0002-6505-4136](https://orcid.org/0000-0002-6505-4136)

Артем А. Бирченко аспирант, факультет биотехнологии, Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверский пр., 49, Санкт-Петербург, 197101, Россия, topgir97@mail.ru
[ID https://orcid.org/0000-0003-2678-2613](https://orcid.org/0000-0003-2678-2613)

Игорь С. Богомолов к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, igor-bog@ya.ru

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

Svetlana N. Zobova director, JSC Borinsky sugar plant, v. Borinskoe, Lipetsk region, 398510, Russia, zobova-svetlana2017@ya.ru
[ID https://orcid.org/0000-0000-0000-0000](https://orcid.org/0000-0000-0000-0000)

Larisa N. Frolova Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, fln-84@mail.ru
[ID https://orcid.org/0000-0002-6505-4136](https://orcid.org/0000-0002-6505-4136)

Gennady V. Alexeev Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of processes and apparatus for food production department, National Research University ITMO, Kronversky pr. 49, St. Petersburg, 197101, Russia, gva2003@rambler.ru
[ID https://orcid.org/0000-0002-6505-4136](https://orcid.org/0000-0002-6505-4136)

Artem A. Birchenko graduate student, faculty of biotechnology, National Research University ITMO, Kronversky pr. 49, St. Petersburg, 197101, Russia, topgir97@mail.ru
[ID https://orcid.org/0000-0003-2678-2613](https://orcid.org/0000-0003-2678-2613)

Igor S. Bogomolov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fat technology, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, igor-bog@ya.ru

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 25/10/2021	После редакции 11/11/2021	Принята в печать 28/11/2021
Received 25/10/2021	Accepted in revised 11/11/2021	Accepted 28/11/2021