

ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2009. – 102 с. – Текст: непосредственный.

### References

1. Kryukovskaya, N.S. Sovremennye metody uprochneniya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh orudiy / N.S. Kryukovskaya // Trudy GOSNITI. – 2017. – Т. 128. – С. 118-122.

2. Hrabě, P., Muller, M., Hadač, V. (2015). Evaluation of techniques for ploughshare lifetime increase. *Research in Agricultural Engineering*. 61. 72-79. 10.17221/73/2013-RAE.

3. Kryukovskaya, N.S. Razrabotka programmnogo modulya, generiruyushchego fayl s G-kodom dlya naplavki uprochnyayushchikh valikov na strelchatye lapy kultivatora razlichnykh tiporazmerov na ustanovke tipa 4D / N.S. Kryukovskaya // Trudy GOSNITI. – 2018. – No. 132. – С. 207-215.

4. Svarochnye materialy dlya uprochnyayushchey naplavki, vosstanovleniya i remonta: katalog

ESAB. URL: <http://www.tkber.ru/sites/default/files/materials-for-the-repair-and-surfacing.pdf> (data obrashcheniya: 1.06.2020).

5. Kataev, R.F. Raschet osnovnykh parametrov rezhima mekhanizirovannoy dugovoy svarki plavyashchimsya elektrodom: metodicheskie ukazaniya k kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu / R.F. Kataev. – Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. – 37 s.

6. Rybachuk, A.M. Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh protsessov v duge i svarochnoy vanne: uchebnoe posobie / A.M. Rybachuk. – Moskva: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2007. – 74 s.: il.

7. Bukhmirov, V.V. Spravochnye materialy dlya resheniya zadach po kursu «Teplomassoobmen»: uchebnoe posobie / V.V. Bukhmirov, D.V. Rakutina, Yu.S. Solnyshkova. – Ivanovo: GOU VPO «Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet imeni V.I. Lenina», 2009. – 102 s.



УДК 631.3

**С.Ю. Булатов, А.И. Моисеев, А.П. Мансуров, Н.П. Шкилев, А.Г. Сергеев**  
S.Yu. Bulatov, A.I. Moiseyev, A.P. Mansurov, N.P. Shkilev, A.G. Sergeyev

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДЕЗИНТЕГРАТОРА ЗЕРНОВОЙ ПАТОКИ

### THE RESEARCH FINDINGS ON THE OPERATION OF GRAIN MOLASSES DISINTEGRATOR

**Ключевые слова:** время нагрева, зерновая патока, дезинтегратор, качество, критерий оптимизации, крыльчатка, лопатка, температура, эксперимент, удельные энергозатраты, фактор.

Результаты научных исследований отечественных и зарубежных ученых свидетельствуют о положительном влиянии качественных кормов на здоровье и продуктивность животных. Однако в настоящее время в связи с резким сокращением площадей под корнеклубнеплоды произошло снижение содержания углеводов в рационах сельскохозяйственных животных. Их восполнение возможно за счет введения в рацион зерновой патоки, приготовление которой возможно в условиях хозяйства из собственного зерна. Нами предложена конструкция дезинтегратора, позволяющего получить зерновую патоку с наименьшими удельными затратами электроэнергии. Целью исследований является изучение рабочего процесса разработанного дезинтегратора. Исследование рабочего процесса предлагаемого дезинтегратора проводилось в составе уста-

новки для приготовления зерновой патоки. Заводской рабочий орган был заменен крыльчаткой с прямыми лопатками. Исследовалось влияние времени работы и количества лопаток крыльчатки дезинтегратора на температуру патоки и удельные энергозатраты. Для изучения взаимного влияния факторов на критерии оптимизации применяли теорию планирования эксперимента. Был реализован многоуровневый план эксперимента. Получены уравнения для расчета температуры зерновой патоки и удельных энергозатрат на ее приготовление в зависимости от времени приготовления и количества лопаток крыльчатки дезинтегратора. Выявлено, что предлагаемый дезинтегратор с крыльчаткой, имеющей 12 лопаток, позволяет сократить удельные энергозатраты при приготовлении патоки на 11,1% по сравнению с заводским дезинтегратором. При определении качества патоки выявлено, что готовая зерновая патока, приготовленная предлагаемым дезинтегратором с крыльчаткой, имеющей 12 лопаток, не содержит целых зерен, что свидетельствует о ее высокой степени однородности и качестве.

**Keywords:** *heating time, grain molasses, disintegrator, quality, optimization criteria, impeller, blade, temperature, experiment, specific energy consumption, factor.*

The research findings of domestic and foreign scientists state a positive impact of high-quality feed on animal health and performance. However, currently there has been a decrease in the content of carbohydrates in the diets of farm animals because of a dramatic reduction of the areas under root crops. Their replenishment is possible by the introduction of grain molasses into the diet; it is possible to make it on the farm from farm own grain. We have proposed the disintegrator design that allows obtaining grain molasses with the lowest specific cost of electricity. The research goal was to study the operation process of the developed disintegrator. The study of the operation of the proposed disintegrator was carried out as part of the installation for grain molasses making. The factory working body was replaced with an impeller with straight blades. The

influence of the operating time and the number of blades of the disintegrator impeller on the molasses temperature and specific energy consumption was studied. We used the theory of experiment planning to study the mutual influence of factors on the optimization criteria. A multi-level experiment plan was implemented. The equations for calculating the temperature of grain molasses and specific energy consumption for its preparation depending on the process time and the number of blades of the disintegrator impeller were obtained. It was found that the proposed disintegrator with an impeller having 12 blades reduced the specific energy consumption in the preparation of molasses by 11.1% as compared to that of the factory disintegrator. When determining the molasses quality, it was found that the finished grain molasses made by the proposed disintegrator with an impeller having 12 blades did not contain whole grains which indicated its high degree of uniformity and quality.

**Булатов Сергей Юрьевич**, д.т.н., доцент, проф. каф. «Технический сервис», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: bulatov\_servey\_urevich@mail.ru.

**Моисеев Антон Игоревич**, преп. каф. «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: ameit@bk.ru.

**Мансуров Александр Петрович**, д.с.-х.н., проф., каф. математических и естественнонаучных дисциплин, институт пищевых технологий и дизайна – филиал, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. E-mail: a.p.mansurov@yandex.ru.

**Шкилев Николай Павлович**, д.с.-х.н., н.с., Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: ngiei-126@mail.ru.

**Сергеев Александр Георгиевич**, к.т.н., генеральный директор, ООО «Доза-Агро», г. Нижний Новгород. E-mail: office@dozaagro.ru.

**Bulatov Sergey Yuryevich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: bulatov\_servey\_urevich@mail.ru.

**Moiseyev Anton Igorevich**, Asst. Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: ameit@bk.ru.

**Mansurov Aleksandr Petrovich**, Dr. Agr. Sci., Prof., Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. E-mail: a.p.mansurov@yandex.ru.

**Shkilev Nikolay Pavlovich**, Dr. Agr. Sci., Staff Scientist, Nizhny Novgorod State Engineering-Economic University. E-mail: ngiei-126@mail.ru.

**Sergeyev Aleksandr Georgiyevich**, Cand. Tech. Sci., Director-General, ООО "Doza-Agro", Nizhny Novgorod. E-mail: office@dozaagro.ru.

## Введение

Результаты научных исследований отечественных ученых свидетельствуют о положительном влиянии качественных кормов на здоровье и продуктивность животных [1, 2]. Отмечено, что нарушение сбалансированности кормов является причиной снижения продуктивности дойных коров [3, 4]. К аналогичным выводам пришли и зарубежные исследователи [5-8].

Однако в настоящее время в связи с резким сокращением площадей под корнеклубнеплоды произошло снижение содержания углеводов в рационах сельскохозяйственных животных. Их восполнение возможно за счет введения в рацион зерновой патоки, приготовление которой

возможно в условиях хозяйства из собственного зерна [9, 10].

Одним из требований к патоке является ее однородность. Для выполнения данного требования в технологические линии установок для производства патоки достаточно часто устанавливаются дезинтеграторы. Во многих дезинтеграторах применяется способ разрушения зерновок скалывающим способом за счет защемления зерновок между зубьями подвижного ротора и неподвижных противорезов. В таких устройствах происходит быстрое измельчение зерна и достижение патокой однородного состояния. Однако применение данного способа измельчения требует высоких энергозатрат. Нами предложена конструкция дезинтегратора, позволяю-

щего получить зерновую патоку с наименьшими удельными затратами электроэнергии. Положительный эффект достигается за счет использования ударного способа измельчения зерновок лопатками крыльчатки дезинтегратора, которые окружены противорезами. Данное решение позволит уменьшить затраты энергии. Однако остается вопрос сохранения качества патоки. Поэтому **целью** исследований является изучение рабочего процесса разработанного дезинтегратора при приготовлении зерновой патоки и его оценка по критериям энергоэффективности и качеству готового продукта.

### Объекты и методы исследований

Исследование рабочего процесса предлагаемого дезинтегратора проводилось в составе установки для приготовления зерновой патоки [9]. Заводской рабочий орган был заменен крыльчаткой с прямыми лопатками (рис. 1).



а



б

**Рис. 1. Общий вид дезинтегратора:**  
а – с заводским рабочим органом;  
б – крыльчатка с 12 лопатками

Исследовалось влияние времени работы  $t$  (фактор  $x_1$ ) и количества лопаток крыльчатки  $m$  (фактор  $x_2$ ) дезинтегратора на температуру патоки  $T$  (критерий  $y_1$ ) и удельные энергозатраты  $w$  (критерий  $y_2$ ). Во время приготовления патоки в соответствии с технологией [9, 10] проводились замеры ее температуры, потребляемой электродвигателем мощности, а также осуществлялся отбор проб патоки для оценки ее качества. Для оценки качества патоки отбирали ее пробы массой 200 г через 15 мин. с начала проведения опыта и в конце опыта. Показателем, характеризующим качество патоки, выступало количество целых зерен в пробах.

Для изучения взаимного влияния факторов на критерии оптимизации применяли теорию планирования эксперимента. Был реализован многоуровневый план эксперимента. Значения фактора  $x_1$  изменяли от 5 до 35 мин. с шагом 10 мин., фактор  $x_2$  – от 6 до 9 лопаток с интервалом 3 лопатки. Критерий  $y_2$  характеризовал количество электрической энергии, затрачиваемой на приготовления 1 л патоки, и имел размерность Вт·ч/л. Определение коэффициентов уравнений регрессий, оценка адекватности построенных моделей осуществлялись в программе Portable\_Statgraphics\_Centurion\_15.2.11.0

### Результаты исследований

Матрица плана реализованного эксперимента с результатами опытов представлена в таблице 1.

Таблица 1

**Матрица плана эксперимента и результаты опытов**

Факторы		Критерии оптимизации	
$x_1$	$x_2$	$y_1, ^\circ\text{C}$	$y_2, \text{Вт}\cdot\text{ч/л}$
-1	-1	23,5	90
-0,(3)	-1	27,5	310
+0,(3)	-1	33,5	580
+1	-1	40	850
-1	0	23,5	90
-0,(3)	0	30	350
+0,(3)	0	39	640
+1	0	46,5	905
-1	+1	30	120
-0,(3)	+1	36	410
+0,(3)	+1	55	700
+1	+1	60	970

После обработки результатов эксперимента получены уравнения регрессии в закодированном виде (доверительная вероятность составляет 95%):

$$y_1 = 34,49 + 12,13x_1 + 7,06x_2 + 0,47x_1^2 + 4,01x_1x_2 + 3,44x_2^2; \quad (1)$$

$$y_2 = 492,6 + 406,25x_1 + 46,25x_2 + 6,56x_1^2 + 21,75x_1x_2 + 7,5x_2^2. \quad (2)$$

При проверке моделей (1) и (2) на адекватность выявлено, что обе модели адекватны. Эффекты  $x_1^2$ ,  $x_2^2$  в обеих моделях оказались незначимы ( $p > 0,05$ ). Наибольшим влиянием как на критерий  $y_1$ , так и на  $y_2$  обладает фактор  $x_1$ .

С целью графического анализа регрессионных уравнений (1) и (2) построены поверхности откликов (рис. 2). Из рисунков видно, что с увеличением исследуемых факторов происходит рост критериев оптимизации.

После раскодирования моделей (1) и (2) получим уравнения для описания изменения температуры патоки и удельных энергозатрат в натуральных величинах:

$$T = 96,5312 - 0,61t - 21,78m + 0,002t^2 + 0,18tm + 1,53m^2; \quad (3)$$

$$w = 63,8542 + 18,67t - 38,5m + 0,03t^2 + 0,97tm + 3,33m^2. \quad (4)$$

Задавая время нагрева и количество лопаток крыльчатки дезинтегратора, по уравнениям (3) и (4) можно рассчитать температуру патоки и удельные энергозатраты.

Были проведены сравнительные расчеты затрат электроэнергии, приходящиеся на приготовление 1 л зерновой патоки заводским дезинтегратором и предлагаемым. Выявлено, что дезинтегратор с заводским рабочим органом потребляет 1,1 кВт·ч/л. С увеличением лопаток в предлагаемом дезинтеграторе удельные энергозатраты снижаются. В случае  $m = 6$  и 9 шт. энергозатраты в 1,29-1,43 раза выше, чем при использовании заводского дезинтегратора. Однако при  $m = 12$  шт.  $w = 0,99$  кВт·ч/л, что на 11,1% ниже относительно заводского дезинтегратора (рис. 3).

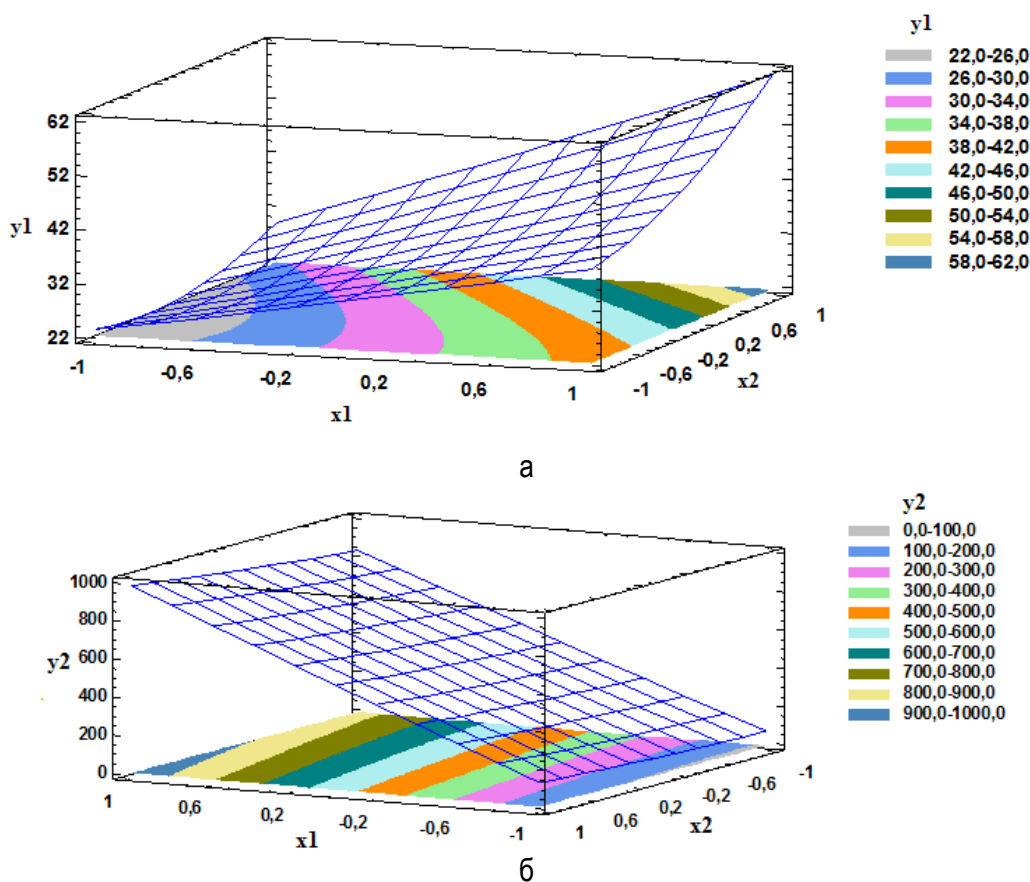


Рис. 2. Влияние времени нагрева и количества лопаток на: а – температуру патоки (критерий  $y_1$ ); б – удельные энергозатраты (критерий  $y_2$ )

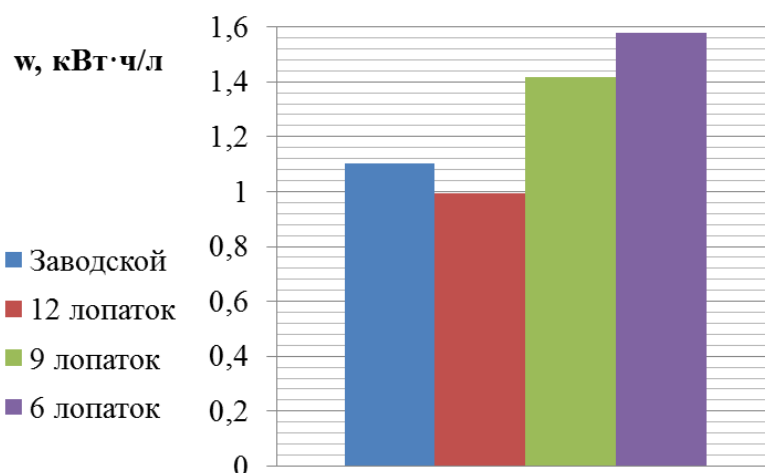


Рис. 3. Изменение удельных энергозатрат

Таблица 2

Количество целых зерен в пробах зерновой патоки

Рабочий орган	Количество целых зерен, шт.
15-я минута с начала опыта	
Заводской	8
12 лопаток	10
9 лопаток	16
6 лопаток	19
Конец опыта	
Заводской	0
12 лопаток	0
9 лопаток	1
6 лопаток	2

При определении качества патоки выявлено, что через 15 мин. с начала эксперимента минимальное количество целых зерен приходилось на пробы патоки, приготовленной с применением заводского дезинтегратора (табл. 2). По окончании процесса приготовления в пробах патоки, приготовленной заводским дезинтегратором и предлагаемым с 12 лопатками, целых зерен не обнаружено.

### Выводы

1. Получены уравнения для расчета температуры зерновой патоки и удельных энергозатрат на ее приготовление в зависимости от времени приготовления и количества лопаток крыльчатки дезинтегратора.

2. Предлагаемый дезинтегратор с крыльчаткой, имеющей 12 лопаток, позволяет сократить удельные энергозатраты при приготовлении патоки на 11,1% по сравнению с заводским дезинтегратором.

3. Готовая зерновая патока, приготовленная предлагаемым дезинтегратором с крыльчаткой, имеющей 12 лопаток, не содержит целых зерен, что свидетельствует о ее высокой степени однородности и качестве.

### Библиографический список

1. Карликова, Г. Г. Мониторинг кормления новотельных коров для реализации продуктивного потенциала животных / Г. Г. Карликова. – Текст: непосредственный // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2017. – № 2 (34). – С. 8-12.
2. Углов, В. А. Комбинированные корма для продуктивных и непродуктивных животных / В. А. Углов, Т. Т. Вольф, В. П. Долгушина [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1 (26). – С. 61-65.



3. Кислякова, Е. М. Кормовая база – залог эффективного ведения молочного скотоводства Удмуртской Республики / Е. М. Кислякова, Ю. В. Исупова, С. Л. Воробьева, С. И. Коконев. – Текст: непосредственный // Учёные записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2014. – Т. 218, № 2. – С. 135-140.

4. Франк, Р. И. Полноценная углеводная добавка для жвачных животных / Р. И. Франк. – Текст: непосредственный // Нивы Зауралья. – 2011. – № 4. – С. 1-18.

5. Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 3. 22. 10.1186/2049-1891-3-22.

6. Nikkhah A. (2011). Optimizing barley grain use by dairy cows: a betterment of current perceptions. In *Progress in Food Science and Technology*. Nova Science Publishers, Inc, NY, USA, (2011): 165-178.

7. Restle, J., Cristian, F., Pascoal, L., et al. (2009). Processing oats grain for cull cows finished in feedlot (Processamento do grão de aveia para alimentação de vacas de descarte terminadas em confinamento). *Ciência Animal Brasileira*. 10 (2): 497-503.

8. Black, J.L., et al. (2005). Feed uses for barley. In: *Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium, 2005*.

9. Marczuk, A., Misztal, W., Bulatov, S., Nechaev, V., Savinykh, P. (2020). Research on the Work Process of a Station for Preparing Forage. *Sustainability*. 12. 1050. 10.3390/su12031050.

10. Alatyrev, S., Alatyrev, A., Zaitsev, P., Bulatov, S., Nechaev, V., Sizova, Yu., Moiseev, A. (2020). Results of comparative studies of grain syrup quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 433. 012031. 10.1088/1755-1315/433/1/012031.

### References

1. Karlikova, G.G. Monitoring kormleniya novotelnykh korov dlya realizatsii produktivnogo potentsiala zhivotnykh / G.G. Karlikova // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnolog-

icheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – 2017. – No. 2 (34). – S. 8-12.

2. Uglov, V.A. Kombinirovannye korma dlya produktivnykh i neproduktivnykh zhivotnykh / V.A. Uglov, T.T. Volf, V.P. Dolgushina, E.V. Boroday, S.N. Perfileva // Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – No. 1 (26). – S. 61-65.

3. Kislyakova, E.M. Kormovaya baza – залог эффективного ведения молочного скотоводства Удмуртской Республики / Е.М. Кислякова, Ю.В. Исупова, С.Л. Воробьева, С.И. Коконев // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2014. – Т. 218. – No. 2. – С. 135-140.

4. Frank, R.I. Polnotsennaya uglevodnaya dobavka dlya zhvachnykh zhivotnykh / R.I. Frank // Nivy Zauralya. – 2011. – No. 4. – С. 1-18.

5. Nikkhah, A. (2012). Barley grain for ruminants: A global treasure or tragedy. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 3. 22. 10.1186/2049-1891-3-22.

6. Nikkhah A. (2011). Optimizing barley grain use by dairy cows: a betterment of current perceptions. In *Progress in Food Science and Technology*. Nova Science Publishers, Inc, NY, USA, (2011): 165-178.

7. Restle, J., Cristian, F., Pascoal, L., et al. (2009). Processing oats grain for cull cows finished in feedlot (Processamento do grão de aveia para alimentação de vacas de descarte terminadas em confinamento). *Ciência Animal Brasileira*. 10 (2): 497-503.

8. Black, J.L., et al. (2005). Feed uses for barley. In: *Proceedings of the 12th Australian Barley Technical Symposium, 2005*.

9. Marczuk, A., Misztal, W., Bulatov, S., Nechaev, V., Savinykh, P. (2020). Research on the Work Process of a Station for Preparing Forage. *Sustainability*. 12. 1050. 10.3390/su12031050.

10. Alatyrev, S., Alatyrev, A., Zaitsev, P., Bulatov, S., Nechaev, V., Sizova, Yu., Moiseev, A. (2020). Results of comparative studies of grain syrup quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 433. 012031. 10.1088/1755-1315/433/1/012031.

