

### Влияние способов сушки на качество зерновой клетчатки спиртового производства

**Владимир Павлович Леденев<sup>1</sup>, Михаил Владимирович Туршатов<sup>1</sup>, Александр Олегович Соловьев<sup>1</sup>, Вера Александровна Кривченко<sup>1</sup>, Виктория Дмитриевна Никитенко<sup>1</sup>, Владимир Владимирович Бессонов<sup>2</sup>, Мария Сергеевна Масленникова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Россия.

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Россия.

e-mail: lab78@mail.ru

**Аннотация.** Процесс сушки при производстве зерновой клетчатки спиртового производства является одним из наиболее важных факторов, влияющих на качество готовой продукции. В работе рассматривается влияние способов сушки и типов сушильных установок на качественные характеристики получаемых продуктов. Получены экспериментальные данные по изменению содержания сырого протеина, белка по Барнштейну, углеводов, пищевых волокон и витаминов в процессе сушки зерновой клетчатки в аппаратах различных типов. Проведенные исследования показали, что пневматические вихревые сушилки спирального типа в наибольшей степени отвечают требованиям сушки зерновой клетчатки с максимальным сохранением ее качества. Падение содержания белка в данном типе сушилки составляет до 3,5 % в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.), пищевых волокон до 0,5 % на а.с.в., жи-ров до 4 % на а.с.в. При таком способе сушки отсутствует нагарообразование, что позволяет избежать образования меланоидинов и сохранить товарный внешний вид и запах готовой продукции.

**Ключевые слова:** сушка; зерновая клетчатка; спиртовое производство; сырой про-теин; белок по Барнштейну; пищевые волокна.

**Для цитирования:** Леденев В. П., Туршатов М. В., Соловьев А. О., Кривченко В. А., Никитенко В. Д., Бессонов В. В., Масленникова М. С. Влияние способов сушки на качество зерновой клетчатки спиртового производства // Аграрный научный журнал. 2022. № 3. С. 91–94. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp91-94>.

### AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

### Influence of drying methods on the quality of grain fiber of alcohol production

**Vladimir P. Ledenev<sup>1</sup>, Mikhail V. Turshatov<sup>1</sup>, Alexander O. Soloviev<sup>1</sup>, Vera A. Krivchenko<sup>1</sup>, Viktoria D. Nikitenko<sup>1</sup>, Vladimir V. Bessonov<sup>2</sup>, Maria S. Maslennikova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>VNIIPBT - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology”, Moscow, Russia.

<sup>2</sup>Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology”, Moscow, Russia, lab78@mail.ru

**Abstract.** The drying process in the production of grain fiber of alcohol production is one of the most important factors affecting the quality of the finished product. The paper considers the influence of drying methods and types of drying units on the quality characteristics of the products obtained. Experimental data were obtained on the change in the content of crude protein, Barnstein protein, carbohydrates, dietary fiber, and vitamins in the process of drying grain fiber in devices of various types. The studies have shown that pneumatic vortex dryers of the spiral type meet the requirements of drying grain fiber with maximum preservation of its quality. The drop in protein content in this type of dryer is up to 3.5% on dry matter, dietary fiber up to 0.5% on dry matter, fats up to 4% on dry matter. With this method of drying, there is no carbon formation, which avoids the formation of melanoidins and preserves the marketable appearance and smell of the finished product.

**Keywords:** drying; grain fiber; alcohol production; crude protein; Barnstein protein; dietary fiber.

**For citation:** Ledenev V. P., Turshatov M. V., Soloviev A. O., Krivchenko V. A., Nikitenko V. D., Bessonov V. V., Maslennikova M. S. Influence of drying methods on the quality of grain fiber of alcohol production. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(3): 91–94. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp91-94>.

**Введение.** Одной из последних стадий получения товарных продуктов биотехнологических производств является процесс сушки. Это, в частности, относится к зерновой клетчатке спиртового производства, которая является источником пищевых волокон – одного из основных компонентов необходимых для сбалансированного и здорового питания [5, 7, 10]. Исследования ее биохимического состава [2] свидетельствует о наличии в ней помимо пищевых волокон широкого спектра аминокислот, витаминов, микро- и макроэлементов. Установлено, что количественный и качественный состав указанных компонентов зависит как от вида сырья, так и от режимов и технологических особенностей переработки зерна в этиловый спирт [4]. Сырьем для получения зерновой клетчатки спиртового производства является барда – жидкий остаток, образуемый в процессе отгонки (извлечения) спирта из зрелой бражки, содержащий нерастворимую часть зерна, обогащенную биомассой дрожжей *Sacharomyces cerevisie* [1, 3]. При последующем разделении барды на центрифуге образуется дисперсный осадок влажностью 68–70 %, основу которого составляет зерновая клетчатка. Для сохранения биохимического состава и питательности зерновая клетчатка подвергается сушке до влажности не более 10 %. При этом условии гарантируется срок хранения биотехнологических продуктов, в том числе зерновой клетчатки, не менее шести месяцев, а также значительно возрастает удобство хранения и транспортирования продукта.



Основными технологическими параметрами процесса сушки являются температура и продолжительность. Исследования влияния температуры показали, что для сохранения качества зерновой клетчатки сушка должна проходить в диапазоне температур 100...150 °С [8, 9].

Для сушки биотехнологических продуктов и в частности, образуемых в спиртовом производств (сухая барда, кормовые дрожжи, зерновая клетчатка) используются следующие типы сушильных установок:

барабанные, кондуктивного и конвективного типов с паровым или воздушным обогревом;

роторно-дисковая или роторно-трубчатые с паровым обогревом;

пневматические сушилки различных типов (распылительная, вибрационная, во взвешенном слое, ленточные камерного типа, вихревые спирального типа).

Приведенные типы сушилок имеют свои конструктивные и технологические особенности. Главное их различие заключается в способе взаимодействия высушиваемого продукта с теплоносителем:

кондуктивные, в которых передача тепла осуществляется через стенку, теплоносителем, обычно, является пар;

конвективные, в которых продукт взаимодействует напрямую с теплоносителем, как правило, с горячим воздухом.

В сушилках кондуктивного типа основным недостатком является нагарообразование на греющей поверхности со стороны продукта. Это снижает скорость теплопередачи, увеличивает расход топлива, а главное происходит частичное сгорание продукта и снижение его качества.

В кондуктивных сушилках температура теплоносителя – пара, находится на уровне 150...180 °С. Время пребывания продукта от одного до двух и более часов. При частичной рециркуляции сухого продукта время пребывания может увеличиваться до трех и более часов.

В конвективных сушилках температура горячего воздуха на входе может составлять от 100 до 500 °С. При этом время пребывания продукта в сушильной камере находится в диапазоне от 15–20 секунд до нескольких минут.

В спиртовой промышленности, как в России, так и за рубежом, преимущественно используются роторно-трубчатые и барабанные сушилки с кондуктивным паровым обогревом, со временем пребывания порядка 60–120 мин. Однако в последние годы, как показывает практика, для сушки дисперсной фазы барды все чаще применяются пневматические вихревые сушилки спирального или кольцевого типа. Время пребывания продукта в них составляет всего 12–15 с.

Помимо качественных показателей продукции большое значение имеют энергетические характеристики сушилок. В табл. 1 приведены удельные теплоэнергозатраты на сушку зерновой клетчатки в сушильных установках различных типов.

Приведенные данные показывают, что наиболее эффективной является вихревая пневматическая сушилка конвективного типа. Это достигается за счет конструктивных особенностей, обеспечивающих высокую скорость тепло-массообмена и минимальное время сушки.

Целью настоящих исследований является изучение влияния типа сушильного оборудования на качественные показатели зерновой клетчатки спиртового производства.

**Методика исследований.** Для оценки изменения качества зерновой клетчатки в процессе сушки с трех спиртовых заводов, применяющих различные типы сушилок, были получены образцы зерновой клетчатки спиртового производства до сушки (дисперсный осадок) и после сушки:

1) ООО «Престиж» (г. Владикавказ): роторно-трубчатая сушилка с кондуктивным паровым обогревом;

2) АО «Спиртзаводж Чугуновский» (Нижегородская обл.): барабанная сушилка с конвективным обогревом горячим воздухом;

3) ООО «Курск Продукт» (Курская обл.): вихревая сушилка спирального типа с конвективным обогревом горячим воздухом.

Основные параметры сушки в указанных сушилках приведены в табл. 2.

Анализ продуктов до и после сушки проводили в соответствии с руководством по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище [6]: массовую долю влаги методом высушивания, массовую долю сырого протеина и белка по Барнштейну по методу Кьельдаля, массовую долю золы определяли методом озо-

Таблица 1

Удельные теплоэнергозатраты на 1 т сухого продукта

| Вид затрат               | Тип сушилок |                   |                |
|--------------------------|-------------|-------------------|----------------|
|                          | барабанная  | роторно-трубчатая | пневматическая |
| Тепловая энергия, Гкал/т | 1,84        | 2,14              | 1,58           |
| Электроэнергия, кВт ч/т  | 210         | 220               | 190            |

Таблица 2

Параметры режимов сушки в сушилках различных типов

| Показатель  | Тип сушилок |     |     |
|---|-------------|-----|-----|
|   | 1           | 2   | 3   |
| Температура теплоносителя, поступающего в сушилку, °С         | 160         | 400 | 250 |
| Температура продукта на входе в сушилку, °С                   | 150         | 230 | 180 |
| Температура продукта на выходе из сушилки, °С                 | 120         | 95  | 85  |
| Средняя продолжительность пребывания продукта в сушилке*, мин | 120         | 60  | 0,3 |

\*Приведена продолжительность с учетом частичной рециркуляции сухого продукта.

© Леденев В. П., Туршатов М. В., Соловьев А.О., Кривченко В. А., Никитенко В. Д., Бессонов В. В., Масленникова М. С., 2022



ления, содержание пищевых волокон ферментативным методом, содержание углеводов (сумма моно- и дисахаридов) и витаминов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, массовую долю жира гравиметрическим методом.

При статистической обработке экспериментальных данных рассчитывали среднее значение определяемой величины не менее чем из двух повторностей и их среднеквадратичное отклонение.

**Результаты исследований.** Результаты анализа качественного состава образцов зерновой клетчатки спиртового производства после сушки в сушильных установках различного типа приведены в табл. 3.

На рис. 1 показан внешний вид образцов сухой зерновой клетчатки при сушке в сушилках различного типа.

Также было проведено исследование по влиянию типов сушки на сохранность витаминов группы В. Содержание витаминов в исследуемых образцах до сушки составило: Витамин В<sub>1</sub> (в пересчёте на тиамин хлорид) – 0,54–0,71 мг/100 г, витамина В<sub>2</sub> (рибофлавин) – 1,29–1,41 мг/100 г, витамина В<sub>6</sub> (в пересчёте на пиридоксин гидрохлорид) – 1,17–1,33 мг/100 г. На графике (рис. 2) показана степень снижения каждого из перечисленных витаминов в процессе сушки в различных сушильных установках.

Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии режимов и способов сушки на снижение содержания питательных компонентов зерновой клетчатки. В разной степени это относится ко всем из них. Это происходит в результате денатурации белковых веществ, карамелизации углеводов с одновременным изменением цветности продукта за счет образования меланоидинов, окисления жиров и т.д. Так при сушке зерновой клетчатки в роторно-трубчатой сушилке, где теплопередача осуществляется через греющую поверхность, происходит снижение содержания белка на 12–13 %, жира более чем на 14 %, простых сахаров на 25 %, пищевых волокон на 4 %.

Цвет получаемого продукта от коричневого до темно-коричневого свидетельствует о прохождении процессов карамелизации и меланоидинообразования. Снижение концентрации витаминов составило 21–42 % в зависимости от наименования. Причиной такого снижения качества продукта является продолжительное нахождение (более 2 ч) продукта в сушильной камере при довольно высокой температуре (150...160 °С). Наименее отрицательное воздействие на качество продукта показала вихревая пневматическая сушилка спирального типа, в которой продукт находится не более 20 с. Снижение содержания белка составило всего 2,7–3,5 %, жиров около 4 %, содержание углеводов и волокон практически не изменилось. Содержание витаминов группы В снизилось на 11–16 %. Цвет получаемого продукта от соломенного до светло-коричневого, что говорит о «мягких» режимах сушки.

**Заключение.** Результаты исследований объективно доказывают актуальность выбора способа сушки и ее режимов для получения товарной зерновой клетчатки спиртового производства с целью последующего применения в качестве функциональной пищевой добавки. Данным требованиям в наибольшей степени соответствуют пневматические сушилки конвективного типа с использованием в качестве теплоносителя горячего воздуха. В частности, проведенные исследования показали, что вихревые сушилки спирального типа в наибольшей степени отвечают требованиям сушки зерновой клетчатки с максимальным сохранением ее качества.

Таблица 3

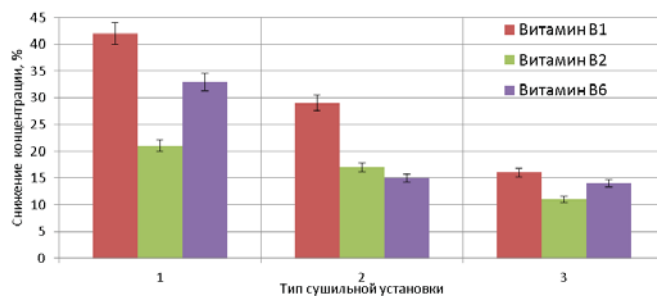
Показатели зерновой клетчатки при сушке в сушилках различного типа

| Показатели   | Тип сушилок                           |                                 |  |
|--|---------------------------------------|---------------------------------|--|
|  | 1                                     | 2                               | 3                                      |
| Массовая доля влаги:<br>на входе, %<br>на выходе, %  | 70,8±1,1<br>9,5±0,9                   | 69,3±0,9<br>10,2±0,7            | 71,1±1,2<br>9,8±0,7                    |
| Массовая доля сырого протеина:<br>на входе, % а.с.в.<br>на выходе, % а.с.в.<br>разность (относительная), %             | 32,7±0,4<br>28,8±0,7<br>11,9±0,3      | 34,1±0,4<br>31,4±0,4<br>7,9±0,1 | 33,5±0,3<br>32,6±0,5<br>2,7±0,2        |
| Массовая доля белка по Барнштейну:<br>на входе, % а.с.в.<br>на выходе, % а.с.в.<br>разность (относительная), %         | 28,3±0,9<br>24,6±0,5<br>13,1±0,4      | 29,5±0,3<br>26,9±0,7<br>8,8±0,4 | 29,2±0,2<br>28,2±0,3<br>3,5±0,1        |
| Содержание углеводов (моно- и дисахариды):<br>на входе, % а.с.в.<br>на выходе, % а.с.в.<br>разность (относительная), % | 0,8±0,1<br>0,6±0,1<br>25,0±0,2        | 0,7±0,1<br>0,6±0,1<br>14,3±0,2  | 0,7±0,1<br>0,7±0,1<br>0                |
| Содержание пищевых волокон:<br>на входе, % а.с.в.<br>на выходе, % а.с.в.<br>разность (относительная), %                | 53,8±1,1<br>51,5±0,2<br>4,3±0,9       | 52,6±0,4<br>51,4±0,8<br>2,2±0,4 | 53,4±0,2<br>53,1±0,3<br>0,5±0,1        |
| Содержание жира:<br>на входе, % а.с.в.<br>на выходе, % а.с.в.<br>разность (относительная), %                           | 4,9±0,2<br>4,2±0,4<br>14,2±0,2        | 5,3±0,3<br>4,8±0,2<br>9,4±0,1   | 5,2±0,7<br>5,0±0,5<br>3,8±0,2          |
| Цветность продукта:<br>на входе<br>на выходе   | Светло-коричневый<br>Темно-коричневый | Светло-коричневый<br>Коричневый | Светло-коричневый<br>Светло-коричневый |





**Рис. 1. Цветность образцов зерновой клетчатки, полученных в сушилках: 1 – роторно-трубчатая сушилка с кондуктивным паровым обогревом; 2 – барабанная сушилка с конвективным обогревом горячим воздухом; 3 – вихревая сушилка спирального типа с конвективным обогревом горячим воздухом.**



**Рис. 2. Влияние типа сушки на снижение концентрации витаминов в сухом продукте**

Научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания в рамках Программы Фундаментальных научных исследований государственных академий наук №0529-2019-0066.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ процессов производства спирта в условиях ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих сокращение эксплуатационных затрат и выхода барды / В.В. Кононенко [и др.] // Современные биотехнологические процессы, оборудование и методы контроля в производстве спирта и спиртных напитков. 2017. С. 66–74.
2. Исследование биохимического состава зерновой клетчатки спиртового производства / В.В. Бессонов [и др.] // Пищевая промышленность. 2020. № 2. С. 12-15.
3. Комплексная переработка сырья - реальная перспектива повышения рентабельности спиртового производства / В.В. Кононенко [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 10. С. 10–14.
4. Пути повышения пищевой ценности зерновой клетчатки спиртового производства / И.М. Абрамова [и др.] // Вопросы питания. 2020. Т. 89. № 5. С. 110-118.
5. Пыр'ева Е.А., Сафронова А.И. Роль и место пищевых волокон в структуре питания населения // Вопросы питания. 2019. Т. 88. № 6. С. 5-11.
6. Р 4.1.1672-03 Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М., 2004. 240 с.
7. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б., Буряк Д.А., Акользина С.Е., Батурич А.К., Погожева А.В. Атлас: Качество жизни. Здоровье и питание. М., 2018. 696 с.
8. Abramova I. M., Soloviev A. O., Turshatov M. V., et al. Study of drying conditions effect on the quality of products based on grain stillage. *IOP conference series: earth and environmental science*. 2021. P. 1079.
9. Ivanova E.S., Rodionovich Y.V., Ivanova E.P. et al. Research of methods of processing post-spirit drinking enterprises of the central-black-earth district. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 422. Iss. 110.
10. Naibaho J., Korzeniowska M., Wojdylo A. et al. Fiber modification of brewers' spent grain by autoclave treatment to improve its properties as a functional food ingredient. *LWT - Food Science and Technology*. 2021. vol. 149.

## REFERENCES

1. Analysis of alcohol production processes under resource-saving technologies that reduce operating costs and vinasse output / V.V. Kononenko et al. *Modern biotechnological processes, equipment and methods of control in the production of alcohol and alcoholic beverages*. 2017: 66–74.
2. Study of the biochemical composition of grain fiber of alcohol production / V.V. Bessonov et al. *Food industry*. 2020; 2: . 12-15.
3. Complex processing of raw materials - a real prospect for increasing the profitability of alcohol production / V.V. Kononenko et al. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2017; 10: 10-14.
4. Ways to increase the nutritional value of grain fiber of alcohol production / I.M. Abramova et al. *Food Issues*. 2020; 89; 5: 110-118.
5. Pyr'eva E.A., Safronova A.I. The role and place of dietary fibers in the structure of nutrition of the population. *Problems of nutrition*. 2019; 88; 6: 5-11.
6. R 4.1.1672-03 Guidelines for methods of quality control and safety of biologically active food supplements. Moscow, 2004. 240 p.
7. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B., Buryak D.A., Akolzina S.E., Baturin A.K., Pogozheva A.V. Atlas: Quality of life. Health and Nutrition. Moscow, 2018. 696 p.
8. Abramova I. M., Soloviev A. O., Turshatov M. V., et al. Study of drying conditions effect on the quality of products based on grain stillage. *IOP conference series: earth and environmental science*. 2021: 1079.
9. Ivanova E.S., Rodionovich Y.V., Ivanova E.P. et al. Research of methods of processing post-spirit drinking enterprises of the central-black-earth district. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 422: 110.
10. Naibaho J., Korzeniowska M., Wojdylo A. et al. Fiber modification of brewers' spent grain by autoclave treatment to improve its properties as a functional food ingredient. *LWT - Food Science and Technology*. 2021; 149.

Статья поступила в редакцию 14.09.2021; одобрена после рецензирования 14.10.2021; принята к публикации 30.10.2021.

The article was submitted 14.09.2021; approved after reviewing 14.10.2021; accepted for publication 30.10.2021.

