

Анаэробное брожение представляют собой разложение органики в отсутствие воздуха. При данном процессе разложение происходит под воздействием бактерий, а не высоких температур, как в случае пиролиза. Этот процесс происходит практически во всех биологических материалах и ускоряется в теплых и влажных условиях. Часто он имеет место при разложении растений на дне водоемов. Анаэробное сбраживание также происходит в условиях, создаваемых в процессе человеческой деятельности. Например, биогаз образуется в местах концентрации сточных вод, навозных стоков ферм, а также твердых бытовых отходов на свалках и полигонах. Результатом данного процесса является биогаз, содержащий до 80 % метана, который может служить в качестве источника энергии.

Другие способы переработки биомассы, такие как этерификация, газификация и сжижение также используются для получения энергии, однако на данном этапе развития их использование не является столь распространенным. Что касается физико-химических методов переработки биомассы, то данные методы хоть и используются в современном мире, однако постепенно теряют свою популярность, уступая место более современным и менее энергозатратным методам.

Таким образом, очевидно, что биомасса относится к наиболее перспективному виду возобновляемого топлива. Ее содержание на Земле равно 550 млрд. тонн, даже при использовании половины от данного значения, возможно значительно снизить использование традиционных источников топлива и уменьшить отрицательное влияние на окружающую среду. Однако, кроме положительных сторон, биомасса имеет свои недостатки, главным из которых является потребность отведения значительных земельных ресурсов, чем не могут пожертвовать многие государства. Доля энергии, производимой из биомассы в традиционной или современной форме, в мире составляет 14 %, в то время как потенциал оценивается в более чем 90 %. Особую популярность биомасса приобрела в странах Европы и США, где активно используется в качестве жидкого, твердого и газообразного сырья для энергетической, тепловой, биотопливной и иных отраслей. В Республике Беларусь биомасса пока что не является крупным источником энергии, однако данная отрасль постепенно начинает развиваться, что с учетом будущих сценариев может стать перспективным направлением развития.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Gurria, P., Ronzon, T.* Biomass flows in the European Union // Luxembourg: Publications Office of the European Union. – 2017. – 22 p.
2. *Yinon, M., Phillips, R., Milo, R.* The biomass distribution on Earth // Paul G. a Department of Plant and Environmental Sciences, Weizmann Institute of Science. – 2018. – Vol. 115. – 6507 p.
3. Интернет-энциклопедия по обустройству сетей инженерно-технического обеспечения [Электронный ресурс]. URL: <https://sovet-ingenera.com>. – (дата обращения 17.02.2020).
4. *Pachauri, R. K., Meyer, L. A.* AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 // IPCC. – 2014. – 98 p.
5. Энергия биомассы: использование местных видов топлива в Республике Беларусь и за рубежом // Общественное объединение «Экопроект». – 2005. – 4 с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СОЛОДА INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF MALT PRODUCTION

***В. А. Пашинский<sup>1</sup>, О. В. Бондарчук<sup>2</sup>***  
***V. Pashynski<sup>1</sup>, O. Bondarchuk<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*БГАТУ, г. Минск, Республика Беларусь,  
Pashynski@mail.ru*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*  
<sup>2</sup>*BGATU, Minsk, Republic of Belarus*

Представлены результаты оценки размера пор пивоваренного ячменя не обработанного и обработанного неоднородным электрическим полем высокой напряженности, которые существенным образом влияют на количество влаги впитываемой в процессе его замачивания и, в конечном счете, влияют на расход энергоресурсов при его сушке, при получении солода.

The results of estimating the pore size of malting barley not treated and treated with a non-uniform electric field of high tension are presented, which significantly affect the amount of moisture absorbed during its soaking and, ultimately, affect the energy consumption when drying it upon receipt of malt.

*Ключевые слова:* пивоваренный ячмень, напряженность электрического поля, солод, влагопоглощение, сушка, энергоемкость сушки, экстракт солода.

*Keywords:* malting barley, electric field strength, malt, moisture absorption, drying, drying energy intensity, malt extract.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-416-420>

Технологическая схема получения солода включает: первичную очистку, хранение зерна, вторичную очистку, сортирование семян, мойку и дезинфекцию зерна, замачивание, проращивание, сушку, отделение ростков и выдержку сухого солода [1].

Существует множество способов интенсификации процесса производства солода, с целью сокращения времени получения солода, улучшения его качества [2 – 4].

Нами предложен способ [5] интенсификации процесса производства солода с помощью воздействия неоднородного электрического поля на зерновку. При этом механизм интенсификации процесса производства солода из пивоваренного ячменя заключается в том, что при воздействии на пивоваренный ячмень переменного неоднородного электрического поля высокой напряженности в результате высоковольтной поляризации происходит разрушение связи адсорбционных молекул воды, образуя свободную воду. Оставаясь в объеме зерна, свободная вода влияет на образование в зерне фитогормонов – гиббереллиновых кислот. Эти фитогормоны вызывают рост растения, а так же индуцируют экспрессию генов  $\alpha$ -амилазы, последние расщепляют крахмал на моносахара, которые в дальнейшем сбраживаются.

В связи с этим возникла необходимость исследования процесса влагопоглощения обработанного в неоднородном электрическом поле зерна на стадии его замачивания и влияние этого процесса на энергоемкость процесса получения сухого солода. Сушку солода производят в течение 24 – 36 часов.

Исследования проводились в НИАЛ УО БГАТУ. Зерна ячменя сорта “Батка” обрабатывали в неоднородном электрическом поле на макете разрабатываемой установки. Повторность эксперимента пятикратная. Поры рассматривались в динамике.

Для проведения исследований по определению размеров пор использовалась интегрированная среда обработки и анализа растровых изображений AutoScan Studio 3.0, которая предназначена для решения научных задач, связанных с анализом и обработкой цифровых изображений (рис. 1). Для получения изображений пор применялся компьютерный микроскоп ЛОМО, изготовленный на базе микроскопа Микмед-6, предназначенный для исследования объектов в проходящем свете и дооснащенный цифровой видеокамерой digital Camera for Microscope DCM310 (USB2/0) 3M pixels, CMOS chip, работающей совместно с персональным компьютером и спектральным осветителем высокого контраста типа ОС-16 ЦОМ с устройством управления режимами осветителя.

Для эксперимента были отобраны пять проб ячменя сорта “Батка” по 100 г каждая. Пивоваренный ячмень подвергался предварительной обработке переменным неоднородным электрическим полем в трехкратной повторности. Образцы зерна №1 обработаны неоднородным электрическим полем напряженностью 1 МВ/м; №2 – 1,2 МВ/м; №3 – 1,3 МВ/м; №4 – 1,4 МВ/м; №5 – не обработанное зерно, контроль – не обработанное зерно.



*Рисунок 1 – Микроскоп ЛОМО с камерой digital Camera for Microscope DCM310 (USB2/0) 3M pixels, CMOS для оценки размеров пор пивоваренного ячменя*

Замачивание производилось при температуре 11 °С в хладотермостате. Определение влажности ячменя осуществлялось при помощи БИК-анализатора DA7200. Содержание влаги в зерне определяли после каждой замочки ячменя через 5, 29, 45 и 72 часа.

Результаты исследования среднего размера пор не обработанного и обработанного электрическим полем напряженностью 1,3 МВ/м пивоваренного зерна представлены на рис. 2 и в табл. 1 и 2.

Данные по влажности пивоваренного ячменя приведены в табл. 3 по средним показателям за четыре эксперимента.

Таблица 1 – Средние размеры пор на поверхности ячменя 3-го образца, мкм

Элемент	Центр	Длина	Угол	Начало	Конец
L1	(856,50, 460,50)	9,06	1,68	(857,00, 465,00)	(856,00, 456,00)
L2	(861,50, 545,00)	6,71	1,11	(860,00, 548,00)	(863,00, 542,00)
L3	(865,50, 697,00)	6,71	1,11	(864,00, 700,00)	(867,00, 694,00)
L4	(822,00, 862,50)	7,28	1,29	(821,00, 866,00)	(823,00, 859,00)
L5	(852,00, 740,00)	10,77	1,19	(850,00, 745,00)	(854,00, 735,00)
L6	(869,50, 765,00)	9,43	2,13	(872,00, 769,00)	(867,00, 761,00)
L7	(867,50, 434,00)	6,71	1,11	(866,00, 437,00)	(869,00, 431,00)
L8	(922,00, 406,00)	4,47	1,11	(921,00, 408,00)	(923,00, 404,00)
L9	(853,00, 405,00)	8,25	1,82	(854,00, 409,00)	(852,00, 401,00)
L10	(839,00, 488,00)	7,21	0,59	(842,00, 486,00)	(836,00, 490,00)
	среднее	7,66			

Таблица 2 – Средние размеры пор на поверхности ячменя 5-го образца, мкм

Элемент	Центр	Длина	Угол	Начало	Конец
L1	(1473,50, 741,00)	8,54	1,21	(1472,00, 745,00)	(1475,00, 737,00)
L2	(1475,00, 788,00)	6,32	1,89	(1476,00, 791,00)	(1474,00, 785,00)
L3	(1418,00, 864,50)	9,00	1,57	(1418,00, 869,00)	(1418,00, 860,00)
L4	(1537,00, 792,50)	9,85	1,15	(1535,00, 797,00)	(1539,00, 788,00)
L5	(1521,00, 829,00)	10,77	1,19	(1519,00, 834,00)	(1523,00, 824,00)
L6	(1548,50, 1052,50)	9,06	1,46	(1548,00, 1057,00)	(1549,00, 1048,00)
L7	(1496,50, 1115,00)	6,08	1,74	(1497,00, 1118,00)	(1496,00, 1112,00)
L8	(1527,50, 1108,50)	9,49	1,89	(1529,00, 1113,00)	(1526,00, 1104,00)
L9	(1464,50, 993,00)	4,12	1,82	(1465,00, 995,00)	(1464,00, 991,00)
L10	(1505,50, 975,00)	10,05	1,67	(1506,00, 980,00)	(1505,00, 970,00)
	среднее	8,328			

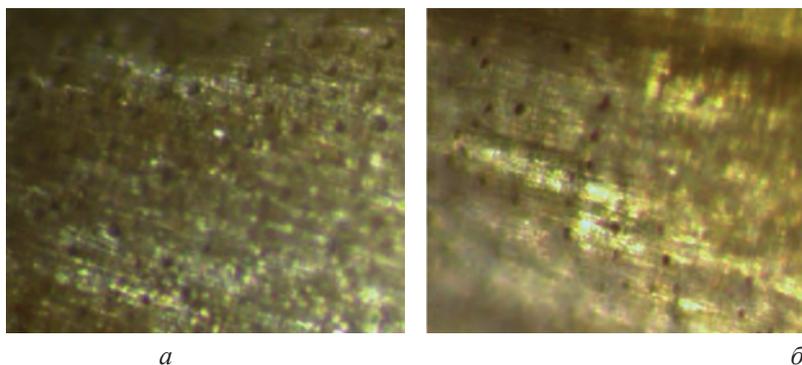


Рисунок 2 – Поры на поверхности ячменя: а) контрольный образец; б) обработанный образец

Таблица 3 – Влажность пивоваренного ячменя в зависимости от напряженности электрического поля

№ образца	Содержание влаги в зерне с момента начала замачивания, %.			
	5 часов	29 часов	45 часов	72 часа
1	34,1	37,5	41,8	43,7
2	32,8	36,9	41,6	43,9
3	32,4	37,0	41,5	43,3
4	31,2	35,4	40,2	41,1
5	34,3	37,5	42,0	46,2

По результатам экспериментов видно, что зерно достигает требуемой влажности через 72 часа замачивания. Предварительная электрообработка пивоваренного ячменя переменным неоднородным электрическим полем напряженностью 1,3 МВ/м снижает влагосодержание пивоваренного ячменя в процессе замачивания 72 часов в среднем на 6,4%.

При воздействии на зерно переменным неоднородным электрическим полем напряженностью 1,2 – 1,3 МВ/м влажность пивоваренного ячменя при замачивании меньше на 6,2%, зерно насыщается влагой медленнее, что

указывает на равномерное увлажнение мучнистого тела и лучшее растворение эндосперма. Это в дальнейшем дает более высокое содержание массовой доли экстракта в сухом веществе солода [5].

Сушку солода проводят подогретым воздухом с соблюдением определенного температурного режима (при сушке светлого солода температуру постепенно повышают с 25 до 75–80 °С, а при сушке темного – с 25 до 100–150 °С).

У сухого солода ростки после сушки становятся хрупкими, и их удаляют (отбивают на специальной машине), так как готовому пиву ростки придают горький и неприятный вкус. В процессе сушки влажность зеленого солода снижается с 40–50 до 4% при получении светлого и до 2% при получении темного солода.

Расход энергии на сушку солода определяли на основании материального и теплового баланса сушилки. Количество испаряемой влаги из солода при сушке, кг, можно определить по уравнению:

$$W = \frac{G_{\text{вл}}(W_{\text{вл}} - W_c)}{100 - W_c} = \frac{G_c(W_{\text{вл}} - W_c)}{100 - W_{\text{вл}}}, \quad (1)$$

где  $G_{\text{вл}}$  и  $G_c$  – масса свежепросоженного и свежесушенного солода, кг;  
 $W_{\text{вл}}$  и  $W_c$  – влажность свежепросоженного и свежесушенного солода, %.

Материальный баланс влаги, кг, солодовенной сушилки определяется по уравнению:

$$W = Ld_2 - Ld_0, \quad (2)$$

где  $W$  – количество влаги, удаляемой из солода при сушке, кг;

$L$  – расход воздуха в сушилке, кг;

$d_2$  и  $d_0$  – влагосодержание свежего и отработанного воздуха, кг/кг, для расчета принимаем  $d_2 = 0,010$  кг/кг,  $d_0 = 0,022$  кг/кг;

Тогда расход воздуха в сушилке, кг, можно определить по формуле:

$$L = \frac{W}{d_2 - d_0}. \quad (3)$$

Основная масса влаги из солода при сушке удаляется при температурах до 50 °С, чтобы не происходила клейстеризация крахмала пивоваренного зерна. В конце периода сушки количество удаляемой влаги невелико, но для достижения конечной цели сушки температура поднимается в зависимости от типа получаемого солода.

Расход тепловой энергии на сушку солода, кДж, определяется по уравнению:

$$Q_{\text{суш}} = [L(I - I_0) + G_c C_c (t_2 - t_1) - W C_B t_1] / \eta, \quad (4)$$

где  $I$  и  $I_0$  – энтальпия свежего и отработанного воздуха, кДж/кг, для расчета приняты  $I = 46,47$  кДж/кг,  $I_0 = 86,37$  кДж/кг;

$t_1$  и  $t_2$  – начальная и конечная температура солода, °С, для расчета приняты  $t_1 = 17$  °С,  $t_2 = 80$  °С;

$G_c$  – масса свежесушенного солода, кг;

$C_c$  и  $C_B$  – удельная теплоемкость высушенного солода и воды, кДж/(кг·°С), для расчета принимаем  $C_c = 1,42$  кДж/(кг·°С);  $C_B = 4,1868$  кДж/(кг·°С);

$\eta$  – КПД сушилки, учитывающий потери тепла в окружающую среду, для расчета примем равным 0,8.

Результаты расчета показали, что количество испаряемой влаги из солода, зерно которого предварительно обрабатывали неоднородным электрическим полем, меньше на 2,9%, а количество энергии на сушку такого солода меньше на 0,03 Гкал в пересчете на 1 т исходного зерна влажностью 14% по сравнению с солодом, зерно которого не подвергалось обработке. При этом механизм интенсификации процесса производства солода из пивоваренного ячменя заключается в том, что при воздействии на пивоваренный ячмень переменного неоднородного электрического поля высокой напряженности в результате высоковольтной поляризации происходит разрушение связи адсорбционных молекул воды, образуя свободную воду. Оставаясь в объеме зерна, свободная вода влияет на образование в зерне фитогормонов – гиббереллиновых кислот. Эти фитогормоны вызывают рост растения, а так же индуцируют экспрессию генов  $\alpha$ -амилазы, последние расщепляют крахмал на моносахара, которые в дальнейшем сбраживаются.

Размеры пор обработанного ячменя, на первые сутки, меньше на 8,03%, а на шестые сутки – на 8,42%. Обработка результатов с помощью разностного метода показала, что размеры пор обработанного зерна достоверны и вероятность возможной ошибки составляет менее 1%.

Влажность обработанного пивоваренного ячменя неоднородным электрическим полем напряженностью 1,3 МВ/м, после 72 часов замачивания, меньше влажности контрольного ячменя на 2,9%. При этом затраты энергии на сушку светлого солода меньше на 6,8% по сравнению с контролем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальская, Л.П. Технология пищевых производств / Л.П. Ковальская, И.С. Шуб, Г.М. Мелькина [и др.] ; под ред. Л.П. Ковальской. – М.: Колос, 1999. – 752 с.
2. Зарубина, Е.П. Интенсификация солодоращения пивоваренного ячменя микроэлектрополем : дисс... канд. техн. наук : 05.18.07 / Е.П. Зарубина ; Московский государственный университет пищевых производств (МГУПП). – М., 2003. – 109 с.
3. Будакова, Э.Д. Разработка интенсивных технологических приемов получения пивоваренного солода из ячменя Республики Башкортостан с применением скарификации и биокаталитической обработки : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.07 / Э.Д. Будакова ; Московский государственный университет пищевых производств. – М., 2008. – 180 с.

4. Applied Mathematics for Malting and Brewing Technologists. Prof. Dr. sc. Techn. Gerolf Annemuller, Dr. sc. Techn / Hans-J. Manger. Translated by Christopher Bergholdt. Published by VLB Berlin, 2018. – 359 p.

5. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде: пат. 22032, Республика Беларусь, МПК C12C 1/02 О.В. Бондарчук, В.А. Пашинский, Н.Ф. Бондарь; заявитель: Учреждение образования «Белорусский аграрный технический университет». – № а 20160040; заявл. 10.02.2016; опубл. 30.10.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / – 2017. – № 5. – 21 с.

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПСТИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ**

### **IMPROVEMENT OF THE FOOD WASTE COMPOSTING TECHNOLOGY IN THE ENVIRONMENTAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM**

***О. А. Сагдеева, Г. В. Крусир***  
***O. Sagdeeva, G. Krusir***

*Одесская национальная академия пищевых технологий,  
г. Одесса, Украина  
sagolanis@ukr.net*

*Odessa National Academy of Food Technologies,  
Odessa, Ukraine*

Работа посвящена решению научно-практической задачи повышения уровня экологической безопасности бытовых свалок путем внедрения усовершенствованной технологии компстирования пищевой составляющей твердых муниципальных отходов. Обоснованно внесение в компстную смесь минеральных или микробиологических добавок, повышающее микробную активность на начальных стадиях процесса. Доказано, что процесс созревания компоста при внесении минеральной добавки ускоряется в 2,2 раза при термофильных условиях и в 1,4 раза - при мезофильных, а при внесении микробиологической добавки – в 3,3 и в 2,1 раза соответственно. Реализация усовершенствованной технологии компстирования пищевой составляющей твердых муниципальных отходов позволит уменьшить объемы складированных отходов, выбросы парниковых газов, повысить уровень экологической безопасности и получить органоминеральное удобрение высокого качества.

The work is devoted to solving the scientific and practical problem of increasing the environmental safety level of household landfills by introducing an improved composting technology for the food component of municipal solid waste. It is justified to introduce mineral or microbiological additives into the compost mixture, which increases the microbial activity at the initial stages of the process. It is proved that the process of compost maturation with the addition of mineral additive is accelerated by 2.2 times under thermophilic conditions and by 1.4 times under mesophilic conditions and when a microbiological additive is introduced by 3.3 and 2.1 times, respectively. The implementation of improved technology for composting the food component of municipal solid waste will reduce the stored waste's amount, greenhouse gas emissions, improve environmental safety and obtain high-quality organomineral fertilizer.

*Ключевые слова:* экологическая безопасность, технология, компстирование, минеральная и микробиологическая добавки, мезофильные, термофильные условия, пищевая составляющая отходов.

*Keywords:* environmental safety, technology, composting, mineral and microbiological additives, mesophilic, thermophilic conditions, food component of waste.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-420-423>

Управление отходами остается одной из приоритетных сфер общественно-правовой деятельности и экологической безопасности развитых стран в двух основных контекстах: охрана окружающей среды и сохранение ресурсного потенциала. Особую экологическую опасность представляет накопление твердых муниципальных отходов (далее – ТМО) на полигонах и свалках из-за специфичности ТМО среди других видов отходов: генетически свойственной им химической неоднородности, локализованного расположения и долговременного негативного воздействия на окружающую среду. Отсутствие механизмов сортировки и вторичной переработки в современных условиях подтверждает актуальность проблемы обращения с ТМО в местах их фактического складирования и определения экологических аспектов свалок с целью их контроля и нормирования.