

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПИВОВАРЕННОГО СОЛОДА ПРИ ОБРАБОТКЕ ЯЧМЕНЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

В. А. Пашинский¹, О. В. Бондарчук², К. Л. Сергеев²

¹*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова, Республика Беларусь*

²*Белорусский государственный аграрный технический университет, Республика Беларусь*

АННОТАЦИЯ

Введение. Известен способ электрофизической стимуляции пивоваренного ячменя перед солодоращением в неоднородном электрическом поле высокой напряженности, позволяющий интенсифицировать процесс и снизить энергозатраты при производстве солода, что определило цель исследования. Научная задача – исследование процесса влагопоглощения на стадии замачивания зерна, обработанного в неоднородном электрическом поле, и установление влияния обработки на энергоемкость процесса получения сухого солода.

Материалы и методы. Исследовали ячмень сорта «Батька» при трехкратной повторности измерений. Образцы зерна обрабатывались электрическим полем напряженностью 1 МВ/м; 1,2 МВ/м; 1,3 МВ/м; 1,4 МВ/м. Размер пор определяли с использованием интегрированной среды обработки и анализа растровых изображений AutoScan Studio 3.0.

Результаты. Размер пор обработанного электрическим полем ячменя меньше на 8,0 % за первые сутки и на 8,4 % на шестые сутки в сравнении с контролем. Влажность ячменя при обработке полем напряженностью 1,3 МВ/м меньше влажности контрольного образца на 2,9 %. Зерно достигает требуемой влажности через 72 часа замачивания.

Выводы. Обработка зерна указанным способом позволяет снизить расход тепловой энергии на сушку светлого солода на 0,126 ГДж или 4,286 кг у.т. на 1 т ячменя влажностью 14 %, что 6,8 % меньше по сравнению с контролем. Применяемый метод измерения пор зерна достоверен, вероятность возможной ошибки составляет менее 1 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *пивоваренный ячмень; солод; энергоемкость; размер пор пивоваренного ячменя; неоднородное электрическое поле; напряженность электрического поля.*

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Пашинский, В. А. Снижение энергоемкости процесса производства пивоваренного солода при обработке ячменя электрическим током / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук, К. Л. Сергеев // Вестник Могилёвского государственного университета продовольствия. – 2019. – № 2 (27). – С. 28–37.

REDUCTION IN ENERGY CAPACITY OF THE MANUFACTURING PROCESS OF BREWING MALT IN PROCESSING BARLEY WITH ELECTRIC FIELD

V. A. Pashynski¹, O. V. Bondarchuk², K. L. Sergeev²

¹*Belarusian State University, ISEI, Republic of Belarus*

²*Belarusian State Agrarian Technical University, Republic of Belarus*

ABSTRACT

Introduction. A method for electrophysical stimulation of brewing barley before malting in an inhomogeneous electric field of high tension is currently known, which allows us to intensify the process and reduce energy inputs in the production of malt. The scientific task is to study the process of moisture absorption at the stage of soaking grain processed in a heterogeneous electric field and to establish the effect of processing on the energy capacity of the process of obtaining dry malt.

Materials and methods. Barley of Batskavariety was studied with a threefold repetition of measurements. Grain samples were treated with an electric field of 1 MV/m; 1,2 MV/m; 1,3 MV/m; 1,4 MV/m. Pore size was determined using AutoScan Studio 3.0, an integrated raster processing and analysis environment.

Results. The pore size of barley treated with an electric field is 8.0% less for the first day and 8,4 % for the sixth day as compared to the control sample. The humidity of barley during processing with a field of 1,3 MV/m is less than that of

the control sample by 2,9 %. The grain reaches the required moisture content after 72 hours of soaking.

Conclusions. Using this method of grain processing allows us to reduce the consumption of thermal energy for drying light malt by 0,126 GJ or 4,286 kg of equivalent fuel for 1 ton of barley with a moisture content of 14 %, which is 6,8 % less compared to the control sample. The applied method of measuring grain pores is reliable; the probability of a possible error is less than 1 %.

KEYWORDS: *brewing barley; malt; energy capacity; poresize of brewing barley; inhomogeneous electric field; electric field strength.*

FOR CITATION: Pashynski, V. A., Bondarchuk, O. V., Sergeev, K. L. Reduction in energy capacity of the manufacturing process of brewing malt in processing barley with electric field. Bulletin of the Mogilev State University of Food Technologies. – 2019. – No. 2(27). – P. 28–37. (in Russian)

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь в 2017 году под пивоваренный ячмень выделили 84,7 тысячи гектаров земли и получили более 205 тысяч тонн пивоваренного ячменя [1]. Тем не менее, госзаказ на его заготовку в объеме 150 тысяч тонн выполнен не полностью, а основной урожай оказался невостребованным отечественными пивоварами. По оценке специалистов концерна «Белгоспищепром», у производителей едва наберется 58 тысяч тонн пивоваренного ячменя, который отвечает всем требованиям переработчиков. Главный недостаток – повышенное, более 12 процентов, содержание в зерне белка, следовательно, показатели качества солода будут неудовлетворительными.

Технологическая схема получения солода представляет первичную очистку, хранение зерна, вторичную очистку, сортирование семян, мойку и дезинфекцию зерна, замачивание, проращивание, сушку, отделение ростков и выдержку сухого солода [2, 3].

Существует множество способов интенсификации процесса производства солода, с целью сокращения времени получения солода, улучшения его качества и увеличения выхода конечного продукта – пива [4–8].

Нами предложен способ [9–12] 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 также индуцируют экспрессию генов α -амилазы, последние расщепляют крахмал на моносахара, которые в дальнейшем сбраживаются.

Экспериментальными исследованиями установлены оптимальные технологические параметры обработки пивоваренного ячменя: напряженность электрического поля 1,284 МВ/м; время обработки одной партии ячменя 3 с; количество обработок одной партии ячменя 3 раза. При этом энергоемкость процесса составляет 1,17 кВт·ч/т обработанного пивоваренного ячменя.

В электрическом поле на зерно действуют силы обусловленные свободными зарядами семени \vec{F}_k , смещенными поляризованными зарядами \vec{F}_n и зарядами, возникающими на границах раздела слоев зерновки \vec{F}_c [13, 14]. Сила \vec{F}_k – результат взаимодействия поля со свободными зарядами, которые зерно может приобрести при взаимодействии коронного разряда, трения и т.д. описывается уравнением (1):

$$\vec{F}_k = \int_r \rho \vec{E} d\tau, \quad (1)$$

где ρ – объемная плотность зарядов зерна, Кл/м³;
 \vec{E} – напряженность электрического поля, В/м;
 $d\tau$ – объем внутри заряженного тела, м³.

Способность зерен контактно заряжаться при соприкосновении с электродом, обуславливается поверхностной проводимостью частиц и наличием на их поверхности конденсированной влаги. Влажное зерно приобретает заряд быстрее, чем менее влажное.

Взаимодействие смещенных зарядов зерна с внешним электрическим полем приводит к появлению поляризационной силы \vec{F}_n [14] и описывается уравнением (2):

$$\vec{F}_n = -\frac{1}{2} \int_0^v E^2 \text{grad} \varepsilon dV, \text{ или } \vec{F}_n = \int_0^v n \vec{p} \text{grad} |\vec{E}| dV, \quad (2)$$

где $\text{grad} \varepsilon$ и $\text{grad} |\vec{E}|$ – градиенты, учитывающие неоднородность диэлектрической проницаемости и электрического поля в зерновке;

n – число диполей в единице объема;

dV – элемент объема, м³;

ε – абсолютная диэлектрическая проницаемость ячменя;

\vec{p} – электрический момент, Кл·м.

Из (2) следует, что сила \vec{F}_n зависит не только от напряженности электрического поля, но и от его неоднородности и поляризуемости зерна, а поляризуемость зерна от его биологического состояния и химического состава.

Необходимое условие для появления силы \vec{F}_n – это неоднородность электрического поля. Для выполнения данного условия помещаем ячмень, с относительной диэлектрической проницаемостью ε_1 , в поле двух цилиндрических электродов. На поверхностях зерна, обращенных к положительно заряженному электроду, наводится отрицательный заряд Q_- , а на противоположной стороне – положительный Q_+ . На эти заряды действует электрическое поле и так как оно неоднородно, то возникают две различные по направлению и значению силы (3, 4):

$$\vec{F}'_n = Q_- \vec{E}_1; \quad (3)$$

$$\vec{F}''_n = Q_+ \vec{E}_2. \quad (4)$$

Силы \vec{F}'_n и \vec{F}''_n – направлены под углом α , отличным от 180°. Тогда по теореме косинусов получим (5):

$$F_n = \sqrt{(F'_n)^2 + (F''_n)^2 + 2F'_n F''_n \cos \alpha}. \quad (5)$$

Поляризационная сила F_n создана разноименно заряженными электродами и зависит от угла α , который определяется пространственным расположением электродов относительно зерновки. При симметричном расположении зерна [14] поляризационная сила равна (6):

$$\vec{F}_n = 2\vec{E}Q \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right). \quad (6)$$

С ростом угла α коэффициент $A = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ и сила \vec{F}_n уменьшаются.

В зависимости от соотношения диэлектрической проницаемости отдельных слоев, последние могут сжиматься или растягиваться.

При условии:

$$\varepsilon_c < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$$

электрострикционные силы растягивают внутренние слои зерновки, а если

$$\varepsilon_c < \varepsilon_1 < \varepsilon_2 > \varepsilon_3$$

– сжимают,

где ε_c , ε_1 , ε_2 , ε_3 – диэлектрическая проницаемость воздуха (среды), на поверхности которой расположено зерно.

Сжатие или растяжение слоев зерна может привести к изменению плотности ячменя и его влагоудерживающей способности, что существенно может повлиять на процесс замачивания, активизацию ферментов и растворение запасных веществ эндосперма, что, в конечном счете, повлияет на экстрактивность солода и его стекловидность.

Известно, что, прежде всего вода проникает в область зародыша, а затем через боковые оболочки в зерно [3]. Следовательно, от размера пор на боковой поверхности будет зависеть водопоглощение ячменя при его замачивании.

Следует заметить, что высокое водопоглощение неравнозначно быстрому и равномерному увлажнению мучнистого тела, так как распределение поглощенной воды очень неравномерно [3].

Цель исследования – снижение энергоемкости процесса производства пивоваренного солода. Энергоемкость зависит от влажности зерна и процессов влагопереноса. В открытой печати нами не обнаружены дынные о процессах влагопоглощения обработанного в неоднородном электрическом поле зерна на стадии его замачивания.

Научная задача – исследование процесса влагопоглощения на стадии замачивания зерна, обработанного в неоднородном электрическом поле, и установление влияния обработки на энергоемкость процесса получения сухого солода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика исследования воздействия на зерно пивоваренного ячменя неоднородного электрического поля высокой напряженности с целью определения влажности пивоваренного ячменя во время замачивания заключалась в следующем: 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 обработан неоднородным электрическим полем напряженностью 1 МВ/м; № 2 – 1,2 МВ/м; № 3 – 1,3 МВ/м; № 4 – 1,4 МВ/м; № 5 – необработанное зерно, (контроль).

Исследования проводились в НИАЛ УО БГАТУ. Замачивание производилось при температуре 11°C в хладотермостате. Определение влажности ячменя осуществлялось при помощи БИК-анализатора DA7200. Определялось содержание влаги в зерне после каждой замочки ячменя через 5, 29, 45 и 72 часа.

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 оснащенный цифровой видеокамерой digital Camera for Microscope DCM310 (USB2/0) 3M pixeils, CMOS chip, работающей совместно с персональным компьютером и спектральным осветителем высокого контраста типа ОС-16 ЦОМ с устройством управления режимами осветителя. Поры рассматривались в динамике.



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

Fig. 1. LOMO microscope with digital camera for Microscope DCM310 (USB2 / 0) 3M pixels, CMOS camera for pore size estimation of brewing barley

Алгоритм работы программы AutoScan Studio 3.0 состоит из следующих этапов: ввод изображения в программу и его коррекция для устранения дефектов изображения; выделение объектов для автоматизированного распознавания путем применения набора фильтров; редактирование объектов для удаления ложных объектов и корректировка существующих; классификация объектов для распределения их по классам в зависимости от размеров пор; создание отчета о проведенном исследовании.

Для каждой пробы на поверхности ячменной оболочки делали выборку из 10 пор (рис.2), фиксировали их размер и определяли средний размер пор за 10 измерений.

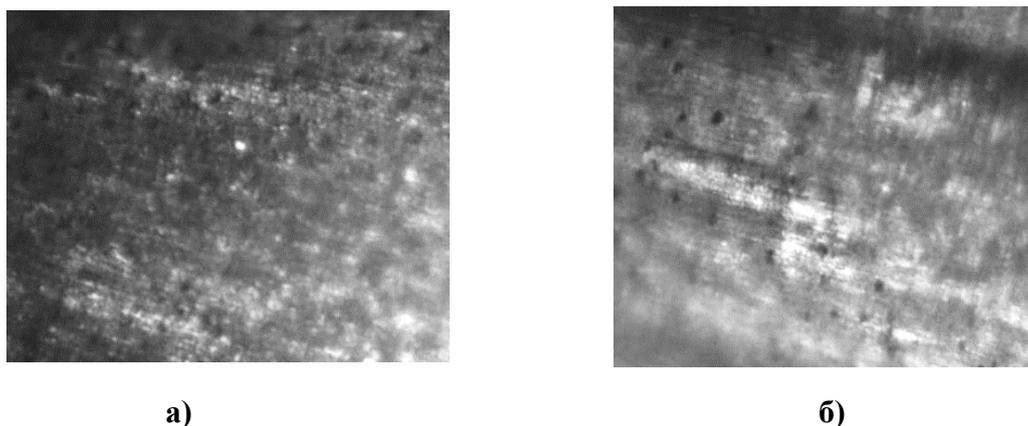


Рис. 2. Поры на поверхности ячменя а) контрольный образец; б) обработанный образец

Fig. 2. Pores on the surface of barley a) control sample; b) processed sample

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования среднего размера пор пивоваренного зерна представлены в табл. 1 и 2. Исследования показали, что в обработанном зерне неоднородным электрическим полем размер пор на шестые сутки меньше в среднем на 8,04 % по сравнению с контрольным зерном, что предположительно уменьшит влагопоглощение при его замачивании. Обработку результатов исследования произвели с помощью разностного метода.

Табл. 1. Средние размеры пор на поверхности ячменя 3-го образца и контрольного

Table 1. The average pore size on the barley surface of a 3rd sample and a control one

Элемент	Центр	Радиус	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)
	контроль	среднее	8,328			
Элемент	Центр	Радиус	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)
	образец	среднее	7,66			

Табл. 2. Среднее значение размеров пор контрольного ячменя и ячменя обработанного неоднородным электрическим полем

Table 2. The average pore size of control barley and barley processed with an inhomogeneous electric field

№ образца	Контрольные	Обработанный	Разность	Д	Д ²
Размеры поверхностных пор в первый день, мкм					
1	8,132	7,564	-0,568	0,10148	0,0102982
2	8,2354	7,621	-0,6144	0,05508	0,0030338
3	8,328	7,66	-0,668	0,00148	2,19E-06
4	8,463	7,779	-0,684	-0,01452	0,0002108
5	8,482	7,669	-0,813	-0,14352	0,020598
Σ	41,6404	38,293	-3,3474	-0,66948	0,034143
М	8,32808	7,6586	-0,66948	–	–

Продолжение табл. 2
Continuation of the table 2.

Размеры поверхностных пор на четвёртый день, мкм					
1	9,325	6,678	-2,647	-0,0502	0,00252
2	9,645	6,945	-2,7	-0,1032	0,0106502
3	9,689	7,123	-2,566	0,0308	0,0009486
4	9,234	6,754	-2,48	0,1168	0,0136422
5	9,462	6,871	-2,591	0,0058	3,364E-05
Σ	47,355	34,371	-12,984	–	0,0277948
M	9,471	6,8742	-2,5968	–	–
Размеры поверхностных пор на шестой день, мкм					
1	7,681	6,923	-0,758	-0,1148	0,01317904
2	7,562	6,945	-0,617	0,0262	0,00068644
3	7,686	7,123	-0,563	0,0802	0,00643204
4	7,423	7,023	-0,4	0,2432	0,05914624
5	7,823	6,945	-0,878	-0,2348	0,05513104
Σ	38,175	34,959	-3,216	–	0,1345748
M	7,635	6,9918	-0,6432	–	–

где D – отклонение от средней разности, мкм.

Значение средней ошибки для первого дня:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum D^2}{(n-1)n}} = \pm \sqrt{\frac{0,034143}{20}} = \pm 0,0413,$$

где n – количество экспериментов.

Показатель существенности разности:

$$t = \frac{M}{m} = \frac{0,6695}{0,0413} = 16,21.$$

По таблице показателей существенности разности Стьюдента при вероятности различия $P < 0,01$ и повторности $n = 5$ находим теоретическое значение критерия Стьюдента $t_{st} = 4,032$. Различие между группами считается достоверным, когда $t > t_{st}$.

Значение средней ошибки для четвертого дня:

$$m = \pm \sqrt{\frac{0,0278}{20}} = \pm 0,0373;$$

$$t = \frac{2,597}{0,0373} = 69,6,$$

где $t_{st} = 4,032$ при вероятности возможной ошибки $P < 0,01$.

Значение средней ошибки для шестого дня:

$$m = \pm \sqrt{\frac{0,1346}{20}} = \pm 0,082;$$

$$t = \frac{0,643}{0,082} = 7,84,$$

где $t_{st} = 4,032$ при вероятности возможной ошибки $P < 0,01$.

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

Табл. 3. Влажность пивоваренного ячменя в зависимости от напряженности электрического поля**Table 3.** Humidity of brewing barley depending on the electric field strength

№ 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 на 2,9 %.

При воздействии на зерно переменным неоднородным электрическим полем напряженностью 1,2–1,3 МВ/м влажность пивоваренного ячменя при замачивании меньше на 2,3–2,9 %, 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 [3].

Исследования подтвердили гипотезу влияния неоднородного электрического поля на разрушение связи адсорбционных молекул воды пивоваренного ячменя, образуя свободную воду, что снижает влагопоглощение при его замачивании.

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.

Тепловая энергия, при производстве солода, расходуется на сушку свежепросоженного солода. Расход энергии определяется на основании материального и теплового баланса сушилки [15].

Количество испаряемой влаги из солода при сушке, кг, можно определить по уравнению (7):

$$W = G_{\text{вл}}(w_{\text{вл}} - w_{\text{с}})/(100 - w_{\text{с}}) = G_{\text{с}}(w_{\text{вл}} - w_{\text{с}})/(100 - w_{\text{вл}}), \quad (7)$$

где $G_{\text{вл}}$ и $G_{\text{с}}$ – масса свежепросоженного и свежевысушенного солода, кг;
 $w_{\text{вл}}$ и $w_{\text{с}}$ – влажность свежепросоженного и свежевысушенного солода, %.

Материальный баланс влаги, кг, солодовенной сушилки определяется по уравнению (8):

$$W = Ld_2 - Ld_0, \quad (8)$$

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

L – расход воздуха в сушилке, кг/с;

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 [15].

Тогда расход воздуха в сушилке, кг/с, можно определить по формуле (9):

$$L = \frac{W}{d_2 - d_0} \quad (9)$$

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 [15], кДж, определяется по уравнению (10):

$$Q_{\text{суш}} = [L(I - I_0) + G_c C_c (t_2 - t_1) - W C_v t_1] / \eta, \quad (10)$$

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 [15];

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 свежесушеного солода, кг;

C_c и C_v – удельная теплоемкость высушенного солода и воды, кДж/(кг · °С), для расчета принимаем $C_c = 1,42$ кДж/(кг · °С); $C_v = 4,1868$ кДж/(кг · °С) [15];

η – КПД сушилки, учитывающий потери тепла в окружающую среду, для расчета прием равным 0,8.

Результаты расчета потребности в тепловой энергии на сушку светлого солода приведены в табл. 4. Из таблицы видно, что количество испаряемой влаги из солода, зерно которого предварительно обрабатывали неоднородным электрическим полем, меньше на 2,9 %. Количество тепловой энергии на сушку такого солода меньше на 0,126 ГДж в пересчете на 1 т исходного зерна влажностью 14 % по сравнению с солодом, зерно которого не подвергалось обработке, что меньше на 6,8 %.

Табл. 4. Результаты расчета потребности в тепловой энергии на сушку светлого солода в расчете на 1 т исходного зерна влажностью 14 %

Table 4. The results of calculating thermal energy requirement for drying light malt per 1 ton of initial grain with a moisture content of 14 %

№ образца	Масса свежесушеного солода, кг	Количество испаряемой влаги, кг	Расход воздуха в сушилке, кг	Расход тепловой энергии на сушку солода, ГДж
Контроль	1322	427,6	35633	1,838
Зерно подвергнутое электрической обработке	1293	398,6	33217	1,712
Разница ±	- 29	- 29	- 2416	- 0,126

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расход тепловой энергии на сушку светлого солода при обработке пивоваренного ячменя неоднородным электрическим полем меньше на 0,126 ГДж, что составляет 4,286 кг в пересчете на 1 т исходного зерна влажностью 14 % по сравнению с солодом, зерно которого не подвергалось обработке.

Обработка пивоваренного ячменя неоднородным электрическим полем высокой напряженности влияет на размеры пор на поверхности пивоваренного ячменя. Так, на первые сутки размеры пор меньше на 8,0 %, четвертые сутки на 27,4 % и на шестые сутки на 8,4 %, чем у контрольного образца. Влажность обработанного пивоваренного ячменя неоднородным электрическим полем напряженностью 1,3 МВ/м, после 72 часов замачивания, меньше

влажности контрольного ячменя на 2,9 %. Изменение напряженности электрического поля с 1 до 1,2 МВ/м позволяет увеличить влажность обработанного пивоваренного ячменя, после 72 часов замачивания. Увеличение напряженности электрического поля свыше 1,3 МВ/м снижает влажность обработанного пивоваренного ячменя.

Применяемый метод измерения пор зерна с использованием интегрированной среды обработки и анализа растровых изображений AutoScan Studio 3.0 достоверен, вероятность возможной ошибки составляет менее 1 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Продукт by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://produkt.by/news/kachestvo-pivovarenного-yachmenya-v-etom-godu-vyshe-proshlogodnego> – Дата доступа: 14.08.2018.
- 2 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.
- 3 Кунце, В. Технология солода и пива: перевод с немецкого языка / В. Кунце. – СПб.: Профессия, 2001. – 912 с.
- 4 Зарубина, Е. П. Интенсификация солодоращения пивоваренного ячменя микроэлектротокком: дисс... канд. техн. наук: 05.18.07 / Е. П. Зарубина; Моск. гос. ун-т пищевых пр-в (МГУПП). – Москва, 2003. – 109 с.
- 5 Нарцисс, Л. Краткий курс пивоварения: пер. с нем. А. А. Куреленкова / Л. Нарцисс. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.
- 6 Будакова, Э. Д. Разработка интенсивных технологических приемов получения пивоваренного солода из ячменя Республики Башкортостан с применением скарификации и биокаталитической обработки: дисс... канд. техн. наук: 05.18.07 / Э. Д. Будакова; МГУПП. – Москва, 2008. – 180 с.
- 7 Хорунжина, С. И. Биохимические и физико-химические основы технологии солода и пива / С. И. Хорунжина – М.: Колос, 1999. – 312 с.
- 8 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 pages.
- 9 Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде : пат. 22032 Респ. Беларусь, МПК С12С 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. – С. 21.
- 10 Применение установки для интенсификации процесса производства солода на пивоваренном предприятии [Текст] О. В. Бондарчук, И. И. Гургенидзе, В. А. Пашинский // Агропанорама. – 2018. – № 3. – С. 14–16.
- 11 Техничко-экономическое обоснование проекта внедрения установки для интенсификации процесса производства солода на пивоваренном предприятии [Текст] О. В. Бондарчук, И. И. Гургенидзе, В. А. Пашинский // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 14–16.
- 12 Пашинский, В. А., Электрофизическая обработка пивоваренного ячменя при получении солода [Текст] В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Современные проблемы новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК. Материалы Международной научно-практической конференции «Белагро–2019». – Минск: 6–7 июня 2019. – С. 399.
- 13 Тамм, И. Е. Основы теории электричества (11-е издание) / И. Е. Тамм. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 616 с.
- 14 Тарушкин, В. И. Воздействие пондеромоторных сил на семена при сепарации / В. И. Тарушкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – № 12. – С. 35–39.
- 15 Киселева, Т. Ф. Технология отрасли. Технологические расчеты по производству солода: учебное пособие / Т. Ф. Киселева; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2005. – 120 с.

Поступила в редакцию 18.09.2019 г.

ОБ АВТОРАХ:

Пашинский Василий Антонович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой энергоэффективных технологий МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, Pashynski@mail.ru.

Бондарчук Оксана Владимировна, старший преподаватель кафедры электротехнологии БГАТУ, guloks82@mail.ru.

Сергеев Кирилл Леонидович, ассистент кафедры механики материалов и деталей машин БГАТУ, sergeev.mmdm@bsatu.by.

ABOUT AUTHORS:

Vasily A. Pashynski, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Energy Efficient Technologies, ISEI BSU, e-mail: Pashynski@mail.ru.

Oksana V. Bondarchuk, Senior Lecturer, Department of Electrotechnology, BSATU, e-mail: guloks82@mail.ru.

Kirill L.Sergeyev, lecturer, Department of Mechanics of Materials and Machine Parts, BSATU, e-mail: sergeev.mmdm@bsatu.by.