

электродвигателем, который подключается к внешнему источнику энергии, чтобы разогнать ротор. Затем двигатель становится генератором, приводимым в движение вращающимся маховиком.

В перспективе инерционные накопители энергии (маховики и супермаховики) целесообразно использовать в большинстве систем за счёт их высокой энергоёмкости по сравнению с остальными накопителями. Их использование позволяет стабилизировать выход энергии в солнечной энергетике. Использование инерционного накопителя энергии возможно в высоко- и низкотемпературных зонах без значительного уменьшения его эффективности. Также за счёт большей удельной мощности накопителей на маховиках позволяет уменьшить массу системы рекуперации на транспортных средствах, что также уменьшает их потребление энергоресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маховик // Большая российская энциклопедия 2004 - 2017 URL: https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/2195703 (дата обращения: 15.02.2024).
2. Маховик // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Маховик> (дата обращения: 15.02.2024).
3. Супермаховик // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Супермаховик> (дата обращения: 15.02.2024).
4. Маховичный накопитель энергии // Википедия URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Маховичный_накопитель_энергии (дата обращения: 15.02.2024).
5. Характеристики и сферы применения маховичных накопителей энергии // Aftershock URL: <https://aftershock.news/?q=node/488846&full> (дата обращения: 15.02.2024).

СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИЕЙ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ

REDUCTION OF SPECIFIC ENERGY INTENSITY OF BEER BY ELECTROACTIVATION OF MALTING BARLEY

О. В. Бондарчук¹, В. А. Пашинский², Ю. Н. Селюк¹

O. V. Bondarchuk¹, V. Pashynski², Y. Seluk¹

¹Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
БГАТУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт
имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь.
guloks82@mail.ru

¹Belarusian State Agrarian Technical University, BSATU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Представлены результаты оценки удельных затрат энергии на производство пива и солода после электроактивации пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле. Обработка ячменя в электрическом поле оптимальных значений параметров существенным образом влияет на качество солода (увеличивает экстрактивность на 1...3 %), что в конечном счете позволяет получить дополнительный выход пива, удельная энергоёмкость которого значительно ниже энергоёмкости основной продукции.

The results of estimation of specific energy consumption for beer and malt production after electroactivation of malting barley in an alternating electric field are presented. Processing of barley in the electric field of optimal values of parameters significantly affects the quality of malt (increases extractivity by 1...3 %), which ultimately allows to obtain an additional output of beer, the specific energy intensity of which is much lower than the energy intensity of the main product.

Ключевые слова: пивоваренный ячмень, показатели качества, напряженность электрического поля, солод, энергоёмкость, экстрактивность.

Keywords: malting barley, quality indicators, electric field strength, malt, energy intensity, extractivity.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-219-222>

Как известно, Президентом Республики Беларусь поставлены задачи по повышению эффективности работы пивоваренных организаций, расширению и наращиванию объемов производства импортозамещающих сортов пива, сокращению импорта пивоваренной продукции, развитию сырьевой зоны по выращиванию ячменя

пивоваренного и белорусского хмеля. Увеличению объемов пива и снижению его энергоемкости посвящено множество исследований как отечественных, так и зарубежных ученых [1].

Один из способов увеличения производства пива при низкой себестоимости – внедрение интенсивных технологий обработки ячменя при получении солода. Сущность их заключается в создании совокупности необходимых воздействий на пивоваренный ячмень, обеспечивающих получение высокого качества солода и сокращение сроков солодоращения.

Показатели, влияющие на качество солода, лежат в диапазоне: энергия прорастания 90...95 %; амилалитическая активность 300...500 ед./г; массовая доля экстракта в сухом веществе солода 76...83%; время осахаривания 15...25 минут; кислотность 0,9...1,3 кислотных единиц и др. Соответствие показателей качества солода данному диапазону гарантирует получение высококачественного пива. Диапазон изменения этих параметров небольшой, а их влияние на конечный продукт значительно. Например, повышение экстрактивности солода на один процент увеличивает выпуск пива на 50...60 литров с одной тонны солода. В масштабах Беларуси это может дополнительно составить 150 тыс. дал пива в год на сумму более 2,2 млн. руб. в ценах 2024 года.

Разработано большое количество способов обработки ячменя перед солодоращением. Наиболее эффективные способы интенсификации производства солода, к сожалению, неблагоприятно влияют на экологическую чистоту выпускаемой продукции и на ее производство, так как зачастую связаны с применением химических веществ и фитогормонов. Более экологичными являются электрофизические воздействия, а именно электроактивация пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле перед производством солода [2].

Известно, что процесс производства пива от получения солода до выпуска товарного продукта довольно энергозатратный [3]. Сокращение потребления энергоресурсов на каждом из этапов позволяет значительно снизить энергоемкость выпускаемой продукции.

Предлагается снизить энергоемкость производства пива за счет улучшения качества сырья, а именно, ячменного солода. Задача состоит в определении удельной энергоемкости основной и дополнительно произведенной продукции, которая появляется за счет увеличения экстрактивности солода. Согласно [4] энергоемкость 1000 дал пива для предприятия с годовым выпуском пива 300 тыс. дал/год составляет 0,63 тут. Из них 0,25 тут расходуются на электроэнергию и 0,38 тут на тепловую энергию. Для производства 1000 дал пива необходимо 2 т солода. В нормативном документе [3] указано, что энергоемкость производства солода 600 т/год составляет 0,65 тут, из них 0,16 расходуются на электроэнергию и 0,49 на тепловую энергию.

Технология производства пива из пивоваренного ячменя состоит из двух этапов: производства солода и приготовления пива.

Выполним расчет энергоемкости дополнительно произведенного пива. Известно, что издержки будут складываться из затрат на электроэнергию, потребляемую электроактиватором биологической системы ячменя, но в то же время будет снижаться расход тепловой энергии при сушке солода за счет меньшего поглощения влаги обработанным зерном при замачивании из-за более равномерного увлажнения мучнистого тела после электрообработки. Также увеличится расход воды на величину дополнительно произведенной продукции.

Выполним расчет электропотребления электроактиватором. Расход электрической энергии зависит от мощности установки и ее производительности. Производительность определяют по суточному расходу зернопродуктов. Норма расхода очищенного ячменя на 1 тонну солода, т [5]:

$$C_0 = \frac{1 \cdot (100 - w_z) \cdot 100}{B_n \cdot (100 - w_p)}, \quad (1)$$

где w_z – влажность готового солода, %;

B_n – плановый выход солода в пересчете на сухое вещество, %;

w_p – влажность расходуемого ячменя, %.

Количество зернопродуктов, перерабатываемых за год, т:

$$V_{год} = C_0 \cdot \frac{V_{год.мн}}{V_{мн}}, \quad (2)$$

где $V_{год.мн}$ – годовой объем товарного пива, дал;

$V_{мн}$ – объем товарного пива, полученного с одной тонны солода, дал.

Суточный расход зернопродуктов, т [5]:

$$V_{сут} = \frac{V_{год} \cdot a}{n_{мес}}, \quad (3)$$

где a – доля максимального месячного выпуска пива от годового ($a=0,1$);

$n_{мес}$ – число дней работы в месяц ($n_{мес} = 28,5$).

Для обеспечения заданных параметров электроактивации определим производительность установки, т/ч:

$$\Pi_M = \frac{V_{сут}}{t_{сут}}, \quad (4)$$

где $t_{сут}$ – время работы электроактиватора в сутки, ч.

Производительность установки в автоматическом режиме, т/ч:

$$\Pi = \Pi_M \cdot k_a, \quad (5)$$

где k_a – коэффициент, учитывающий применение автоматического регулирования режимов обработки.

$$k_a = \frac{1}{m_{gw}}, \quad (6)$$

где m_{gw} – коэффициент производительности, определяют по таблице коэффициентов перевода объема продукции из физических тонн в плановые ($m_{gw}=0,98$) [5].

Время работы установки, ч:

$$\tau_o = \frac{V_{cym} \cdot n_{мес} \cdot 12}{q_0}; \quad (7)$$

Действительный фонд времени работы оборудования, ч:

$$\tau_n = \tau_o / k_a; \quad (8)$$

Использование установки увеличивает расход электроэнергии на величину ее годового потребления электроактиватором, что составляет, кВт·ч:

$$W_{эл} = \frac{P \cdot k_z}{\eta} \cdot \tau_n, \quad (9)$$

где P – мощность установки, кВт;

k_z – коэффициент загрузки;

η – коэффициент полезного действия.

Согласно расчетом по производству годовое потребление электроэнергии электроактиватором составляет 1082 кВт·ч в год.

Выполним расчет потребления тепловой энергии на сушку свежепросошенного солода. Он выполняется на основании материального и теплового баланса сушилки [6].

Количество испаряемой влаги из солода при сушке, кг/с:

$$W = \frac{G_{вл} (w_{вл} - w_c)}{100 - w_c} = \frac{G_c (w_{вл} - w_c)}{100 - w_{вл}}, \quad (10)$$

где $G_{вл}$ и G_c – масса свежепросошенного и свежесушенного солода, кг/с;

$w_{вл}$ и w_c – влажность свежепросошенного и свежесушенного солода, %.

Материальный баланс влаги солодовенной сушилки, кг/с:

$$W = Ld_2 - Ld_0, \quad (11)$$

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

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.

Тогда расход воздуха в сушилке, кг/с:

$$L = \frac{W}{d_2 - d_0}. \quad (12)$$

Расход тепловой энергии на сушку солода [97], кДж:

$$Q_{суш} = \frac{[L(I - I_0) + G_c C_c (t_2 - t_1) - W C_6 t_1]}{\eta} \quad (13)$$

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_6 – удельная теплоемкость высушенного солода и воды, кДж/(кг·°С). Для расчета принимаем $C_c = 1,42$ кДж/(кг·°С); $C_6 = 4,1868$ кДж/(кг·°С);

η – КПД сушилки, учитывающий потери тепла, для расчета принимаем равным 0,8.

Количество испаряемой влаги из солода, зерно которого предварительно электроактивировали, меньше на 2,9 %. Количество тепловой энергии, затраченной на сушку такого солода, меньше на 0,126 ГДж (6,8 %) в пересчете на одну тонну исходного зерна влажностью 14%, по сравнению с контролем. Удельный расход тепловой энергии в пересчете снизится на 0,007 т/т.

Определим величину дополнительно произведенного пива за счет повышения качества солода после электроактивации пивоваренного ячменя. Примем следующие нормы [5]:

- выпускаемая продукция – 12 %-ое пиво, $e = 12$ %;

- масса солода $Q' = 1000$ т;

- потери при полировке $\Pi_n = 0,5$ %;

- потери экстракта $P_3=2,7\%$,
- потери сусла $P_{x0}=6\%$,
- потери в отделении главного брожения $P_6=2,3\%$,
- потери при дображивании $P_0=1\%$,
- потери сусла в отделении дображивания и фильтрования $P_{df}=2,7\%$,
- потери товарного пива при розливе в бутылки $P_p=2\%$,
- экстрактивность солода $\mathcal{E}_o'=76,9\%$ / $\mathcal{E}_n'=79,1\%$,
- влажность $w_c=4,8\%$.

Дополнительный выход товарного пива в год, м³:

$$\Delta V_{mn} = V_{mni} - V_{mnb}. \quad (28)$$

Дополнительный выход пива для производства 300 тыс. дал пива в год составил 1000 дал. Удельная электроемкость дополнительной продукции кВт·ч/дал:

$$W_{эл} / \Delta V_{mn} = 1082/1000 = 1,082 \text{ кВт·ч/дал.}$$

Что составляет 0,00038 тут.

В модернизированном варианте увеличивается годовое потребление воды за счет содержания более высокой массовой доли экстракта в сухом веществе солода. Водопотребление увеличивается на величину дополнительного выхода готового продукта и составляет 1000 дал.

Заключение. По результатам исследований видно, что после электроактивации пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле удельный расход электрической энергии на производство дополнительной продукции составляет 0,00038 тут, что значительно меньше, чем основной. Снижение энергоемкости процесса также заключается в уменьшении расхода тепловой энергии, затраченной на сушку солода, полученного из электроактивированного ячменя, в пересчете он снизится на 0,007 тут.

Как видно из расчетов, при изменении такого показателя качества солода, как экстрактивность, изменяется выход сусла и, соответственно, выход товарного пива. Экономический эффект также состоит в увеличении выхода товарного пива, а следовательно, и повышении такого важного показателя для предприятия, как выручка от реализации продукции. Это сопровождается незначительным повышением водопотребления на 1000 дал/год и электропотребления на 1082 кВт·ч/год, стоимость которых значительно ниже, чем стоимость дополнительной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тананайко, Т.М. Научное сопровождение алкогольной и пивобезалкогольной отраслей промышленности // Пищевая промышленность: наука и технологии / Т.М. Тананайко, А.А. Пушкарь, О.Н. Урсул, В.В. Соловьев. – № 2 (32) 2016 – С. 46–55.
2. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде : пат. ВУ 22032 / О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский, Н. Ф. Бондарь. – Опубл. 30.10.18.
3. Нормы технологического проектирования предприятий по производству ячменного пивоваренного солода : ВНТП-11-93. – Введ. 01.05.1993. – М. : Гипропищепром-2, 1993. – 58 с.
4. Нормы технологического проектирования предприятий малой мощности пивоваренной промышленности : ВНТП-10М-93. – Введ. 01.05.1993. – М. : Гипропищепром-2, 1993. – 61 с.
5. Бондарчук, О. В. Применение установки для интенсификации процесса производства солода на пивоваренном предприятии / О. В. Бондарчук, И. И. Гургенидзе, В. А. Пашинский // Агропанорама. – 2018. – № 3. – С. 14–16.
6. Пашинский, В. А. Снижение энергоемкости процесса производства пивоваренного солода при обработке ячменя электрическим током / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук, К. Л. Сергеев // Вестник МГУП. – 2019. – № 2 (27). – С. 28–37.