

УДК 633.43

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОАКТИВАТОРА БИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ

О.В. Бондарчук,

ст. преподаватель каф. электротехнологии БГАТУ

В статье изложена методика расчета электроактиватора биологической системы ячменя, которая позволяет определить конструктивные и технологические параметры основных узлов и потребляемую мощность электропривода.

Ключевые слова: напряженность, напряжение, электрическое поле, электроактиватор, пондеромоторная сила, конструкция, пивоваренный ячмень, солод.

A calculation methodology for a barley biological system electric activator which allows the geometrical parameters of the main assemblies and the power consumption of the electric drive to be determined is presented in the article.

Key words: tension, voltage, electric field, electric activator, ponderomotive force, design, malting barley, malt.

Введение

Электроактиватор предназначен для обработки пивоваренного ячменя перед получением солода с целью улучшения его качества.

Качество солода характеризуется совокупностью физико-химических и органолептических показателей [1]. Наиболее значимыми являются – энергия прорастания пивоваренного ячменя, амилолитическая активность солода, массовая доля экстракта в сухом веществе солода, продолжительность осахаривания, кислотность и другие показатели, которые зависят от класса ячменя и способа его обработки [1].

Перечисленные характеристики указывают на отсутствие единого показателя качества солода. 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 [2].

Известны установки для обработки зерна в электромагнитном поле частотой 2450 МГц, в поле коронного разряда, лазерным излучением, микроэлектротокком [4-7]. В источнике [3] предложен экологически чистый способ повышения качества солода, для реализации которого необходимо специальное устройство.

Целью настоящей работы является разработка методики расчета основных узлов электроактиватора ячменя и определение потребляемой мощности электропривода с учетом электрических сил, действующих на зерно.

Основная часть

Электроактиватор состоит из секций электродов и горизонтального транспортера [8].

Задача расчета основных узлов заключается в определении конструктивных размеров устройства и

потребляемой мощности электропривода. Расчетными параметрами установки являются: производительность, скорость движения ячменя в зоне обработки, геометрические размеры секции электродов, расстояние между секциями, характеристики редуктора, преобразователя частоты, электропривода. Расчету подлежит определение величины пондеромоторной силы, прижимающей зерно к электродам, время нахождения зерна в поточной линии и потребляемая мощность электродвигателя.

Руководствуясь параметрами электрообработки ячменя, представленными в патенте [3], предложена конструкция устройства, работающего в поточной линии, что обеспечивает минимальное время пребывания зерна в процессе обработки.

Основные конструктивные элементы электроактиватора представлены на рисунке 1.

После вторичной очистки и сортировки ячмень поступает в загрузочный бункер 1, где механизмом дозированной подачи 2 распределяется в один слой на ленту транспортера. Для устранения провисания ленты 3 под собственной тяжестью и зерном, под ней располагают армирующую текстолитовую пластину 7. В пластине на некотором расстоянии друг от друга устанавливаются три секции электродов 4. Зерно, перемещаясь на ленте над секцией электродов, попадает в зону электрообработки $L_{сз}$, затем в зону релаксации $L_{зр}$. Этот процесс повторяется дважды. По окончании электрообработки зерно ссыпается в выгрузной бункер 9 для хранения и отлежки. Лента очищается щеткой 8, отходы сбрасываются в контейнер 10. Все элементы устройства смонтированы на раме 11.

Электроактиватор должен обеспечивать потребность в электрообработке пивоваренного ячменя на предприятии согласно годовому объему производства солода (пива).

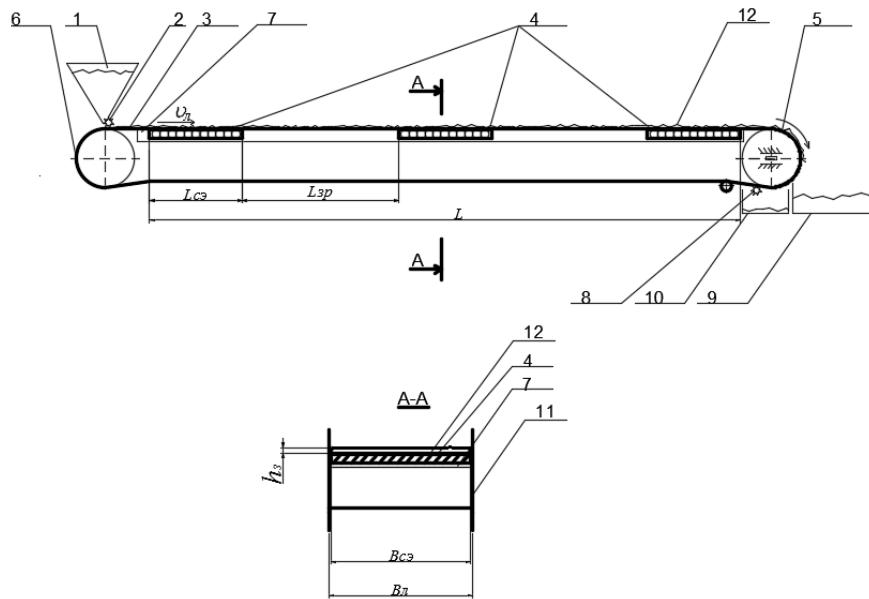


Рисунок 1. Конструктивные элементы электроактиватора:
 1 – загрузочный бункер; 2 – валик-дозатор; 3 – лента транспортера;
 4 – электродные секции; 5 – натяжной барабан; 6 – приводной барабан;
 7 – армирующая пластина; 8 – щетка; 9 – выгрузной бункер;
 10 – контейнер для отходов; 11 – рама; 12 – обрабатываемое зерно

Производительность установки определяют по суточному расходу зернопродуктов. Норма расхода очищенного ячменя на одну тонну солода [9]:

$$C_0 = \frac{1 \cdot (100 - w_2) \cdot 100}{B_n \cdot (100 - w_p)}, \quad (1)$$

где w_2 – влажность готового солода, %;
 B_n – плановый выход солода в пересчете на сухое вещество, т;
 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 производства товарного пива, дал;
 $V_{мн}$ – объем товарного пива, полученного с одной тонны солода, дал.

Суточный расход зернопродуктов, т [10]:

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

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

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

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

От производительности электроактиватора P_M и размеров секции электродов будет зависеть скорость движения зерна в рабочей зоне, м/с

$$v_n = \frac{P_M}{3600 \cdot A \cdot \rho}, \quad (5)$$

где A – площадь поперечного сечения зерна на ленте, м²;
 ρ – насыпная плотность ячменя, т/м³.

$$A = B_{cs} h_3, \quad (6)$$

где B_{cs} – ширина слоя зерна (соответствует длине секции электродов и зависит от ширины транспортирующей ленты B_n), м;

h_3 – высота одного слоя зерна, м.

Методика расчета геометрических размеров секции электродов представлена в источнике [8], поэтому производим расчет остальных узлов электроактиватора.

Время нахождения ячменя на поточной линии, с

$$\tau = 3 \cdot \tau_{об} + 2 \cdot \tau_n, \quad (7)$$

где $\tau_{об}$ – время обработки партии ячменя в поле одной электродной секции, с [11];

τ_n – время паузы или время релаксации, с [11].

Ширина зоны релаксации при заданной скорости движения ленты, м

$$L_{zp} = v_n \cdot \tau_n. \quad (8)$$

Следовательно, длина рабочей зоны в установке (горизонтальная составляющая пути перемещения зерна), м

$$L = 3 \cdot L_{cs} + 2 \cdot L_{zp}, \quad (9)$$

где L_{cs} – ширина секции электродов, м.

Длина всей установки зависит от размеров рабочей зоны и диаметров барабанов.

Методика расчета предложенного транспортирующего устройства аналогична методике инженерного расчета горизонтального транспортера [13], отличающаяся учетом влияния электрической силы на тяговое усилие.

При движении ленты возникают силы сопротивления, на преодоление которых расходуется энергия электродвигателя. Сила сопротивления движению ленты, согласно источнику [12], равна сумме сил сопротивлений на прямолинейном участке пути $F_{л}$, на барабанах F_B , загрузки F_3 , разгрузки F_p . При расчете также необходимо учесть силу сопротивления F_{cs} , обусловленную пондеромоторной силой F_3 , которая возникает вследствие поляризации ячменя, и является определяющей из всех других сил электрической природы [14].

Пондеромоторная сила (рис. 2) притягивает зерно к электродам, так как возникает вследствие элект-

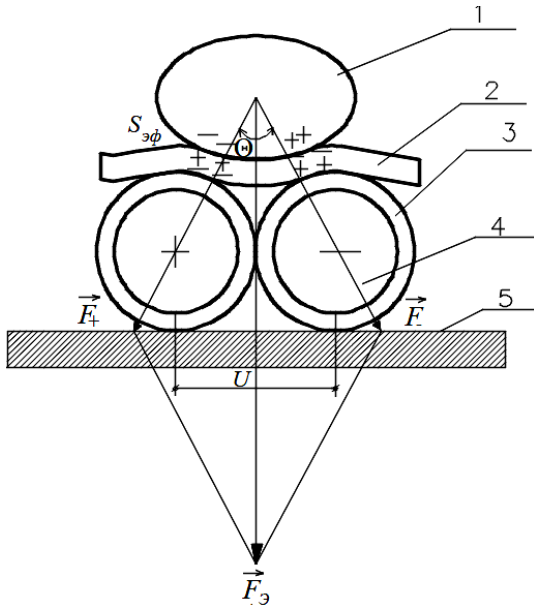


Рисунок 2. Расчетная схема: 1 – зерновка; 2 – лента; 3 – изоляция электродов; 4 – токопроводящие электроды; 5 – диэлектрическое основание

трического взаимодействия свободных зарядов на электродах и поляризационных зарядов на поверхности зерна, ближайшей к соответствующему заряду электрода. С увеличением толщины изоляционных слоев, либо расстояния от зерна до электродов, пондеромоторная сила уменьшается. Также известно, что, чем больше диэлектрическая проницаемость, тем больше пондеромоторная сила. Если принять во внимание, что диэлектрическая проницаемость зерна пропорциональна его влажности, то с увеличением последней возрастает и пондеромоторная сила [14].

Следовательно, расчетная формула примет следующий вид [12]:

$$F = F_{II} + F_B + F_3 + F_P + F_{C3} . \quad (10)$$

Сила сопротивлений на прямолинейном участке пути [12]:

$$F_{II} = (m + m_l)g \cdot l(f_p \cos \alpha + \sin \alpha) , \quad (11)$$

где m – масса ячменя, приходящегося на один метр длины l ленты установки, кг/м;

m_l – масса одного метра ленты, кг/м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

l – длина ленты, м;

f_p – коэффициент сопротивления движению ленты по текстолиту, $f_p = 0,2$;

α – угол наклона транспортера, рад.

Сопротивление движению на огибаемых лентой барабанах [12]:

$$F_B = F_L \cdot f_6 \cdot n_6 , \quad (12)$$

где F_L – натяжение набегающей ветви ленты, Н [15];

f_6 – коэффициент местного сопротивления, равный 0,06...0,09;

n_6 – количество барабанов.

$$F_L = e^{\mu \alpha} / (e^{\mu \alpha} - 1) F_{OT} , \quad (13)$$

где μ – коэффициент, принимаем на основании источника [15];

α – угол охвата лентой барабана, рад;

$e^{\mu \alpha} / (e^{\mu \alpha} - 1)$ – коэффициент, принимаем на основании [15].

F_{OT} – окружное тяговое усилие на приводном барабане, Н.

Сила сопротивления от загрузки материала на ленту [13]:

$$F_3 = 0,1 \cdot C \cdot q_{ep} \cdot (v_a^2 - v_0^2) , \quad (14)$$

где C – коэффициент, учитывающий трение ячменя о направляющие борта загрузочного устройства [12];

q_{ep} – погонная нагрузка от рассыпного сырья, кг/м [13];

v_0 – начальная скорость зерна, м/с.

$$q_{ep} = \frac{\Pi_M}{0,36 \cdot v_L} . \quad (15)$$

Сила сопротивления от сбрасывания [12]:

$$F_P = 2,7 \cdot m \cdot g \cdot B_L , \quad (16)$$

где B_L – ширина ленты, м.

Электрическая сила пропорциональна квадрату напряжения, то есть даже при незначительных колебаниях напряжения на электродах, эта сила будет изменяться существенно [14]:

$$F_9 = 2 \cdot \frac{U^2 \cdot C_n^2 \cdot (\epsilon_3 - 1)}{\epsilon_3 \cdot \epsilon_0 \cdot S_{эф}} \cos \frac{\Theta}{2} , \quad (17)$$

где U – напряжение, подаваемое на электроды, В;

C_n – емкость системы в рабочем режиме, Ф;

ϵ_3 – диэлектрическая проницаемость зерна;

ϵ_0 – электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

$S_{эф}$ – эффективная площадь электродов, м²; [14]

$\cos \frac{\Theta}{2}$ – функция диаметра электродов и размеров зерновки.

$$S_{эф} = r^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\Theta}{2} \right) , \quad (18)$$

где r – радиус электродов, м [8].

Пондеромоторную силу и силы сопротивления невозможно скалярно складывать. Поэтому необходимо определить силу сопротивления, обусловленную пондеромоторной силой

$$F_{C3} = F_9 \cdot (f_p \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot N , \quad (19)$$

где N – количество секций электродов,

или ввести ее в формулу (12), тогда

$$F_{II9} = ((m + m_l)g \cdot l + F_9 \cdot N)(f_p \cos \alpha + \sin \alpha) . \quad (20)$$

Формула (10) примет вид

$$F = F_{II9} + F_B + F_3 + F_P . \quad (21)$$

Мощность электродвигателя, кВт

$$P = \frac{F \cdot v_L}{1000 \cdot \eta_n} , \quad (22)$$

где η_n – КПД передачи.

Определяем общее передаточное число:

$$i = \frac{n_d}{n_b}, \quad (23)$$

где n_d – номинальная частота вращения вала электродвигателя, мин⁻¹;

n_b – номинальная частота вращения барабана машины, мин⁻¹.

Уточняем скорость ленты, м/с

$$v_l = \frac{\pi \cdot D_{nb} \cdot n_d}{60 \cdot i}, \quad (24)$$

где D_{nb} – диаметр приводного барабана, м.

Изменяя частоту тока питающей сети, регулируют скорость вращения магнитного поля электродвигателя. Для этих целей применяют частотный преобразователь. Кроме повышения КПД и энергосбережения, такой электропривод позволяет получить новые качества управления. Также снижаются токовые и механические нагрузки за счет плавного пуска.

Заключение

Разработанная методика расчета конструктивных и технологических параметров основных узлов электроактиватора биологической системы пивоваренного ячменя основана на методике инженерного расчета горизонтального транспортера с учетом силы сопротивления, обусловленной пондеромоторной силой, влияющей на тяговое усилие при движении ленты. Последнее зависит от физико-химических характеристик обрабатываемого ячменя и напряжения, подаваемого на электроды. Получены зависимости для определения мощности электродвигателя, передаточного числа редуктора, скорости движения ленты [3]. Методика может быть применена для расчета аналогичных устройств предпосевной обработки семян в непрерывно-поточном производстве.

По изложенной методике определены технологические параметры электроактиватора пивоваренного ячменя: производительность – 1,1...3,3 т/ч; мощность двигателя транспортера – 0,1...0,5 кВт; потребляемая мощность – 1,5...1,8 кВт; скорость ленты – 0,1...0,2 м/с; напряжение питания – 230/400 В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Солод пивоваренный. Технические условия: ГОСТ 29259–2014. – Введ. 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2016 – 28 с.
2. Pivo.by [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pivo.by/articles/reviews/heineken-belarusian-malt>. – Дата доступа: 14.12.2021.
3. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде: пат. 22032 Респ. Беларусь, МПК C12C 1/02 / О.В. Бондарчук, В.А. Пашинский, Н.Ф. Бондарь; заявитель Белор. гос. аграрн. технич. ун-т. – № а 20160040; заявл. 10.02.2016; опубл.

30.10.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 5. – С. 21.

4. Установка для предпосевной обработки СВЧ-энергией: пат. 165527U1 РФ, МПК 7H05B6/78,H05B6/64. / А.В. Бастрон, А.В. Мешеряков, А.В. Исаев; заявитель «Красноярский государственный аграрный университет» – № 2015153603/13U; заявл. 14.12.2015. опубл. 20.10.2016. // Бюл. № 32. – С 5.

5. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления: пат. RU2299542C2 РФ, МПК A01C1/00; заявитель Государственное научное учреждение Сибирский научно-исследовательский институт переработки сельхозпродукции Сибирского отделения Россельхозакадемии. – № 2004109188/12; заявл. 16.03.2004; опубл. 27.09.2005. // Бюл. № 15. – С. 8.

6. Долговых, О.Г. Экологически безопасная предпосевная обработка семян яровой пшеницы [Текст] / О.Г. Долговых, В.Н. Огнев // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 31. – № 4. – С. 7.

7. Зарубина, Е.П. Интенсификация солодоращения пивоваренного ячменя микроэлектротоком: дисс... канд. техн. наук: 05.18.07 / Е.П. Зарубина; Московский гос. ун-т пищевых производств. – Москва, 2003. – 109 с.

8. Бондарчук, О.В. Методика расчета электродной секции электроактиватора биологической системы ячменя / О.В. Бондарчук, И.В. Протосовицкий // Агропанорама. – 2022. – № 2. – С. 31-35.

9. Бухгалтерский учет на производственных предприятиях. / В.Э. Карминов – М.: Дашков и Ко, 2004. – 580 с.

10. Дипломное проектирование заводов по производству пива и безалкогольных напитков. К.А. Калунянц и др. – М.: Агропромиздат, 1987. – 272 с.

11. Пашинский, В.А. Моделирование и оптимизация процесса электрофизической стимуляции пивоваренного ячменя для повышения его экстрактивности / В.А. Пашинский, О.В. Бондарчук // Вестник МГУП. – 2019. – № 2 (27). – С. 38-49.

12. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / И.Ф. Кудрявцев [и др.]; под общ. ред. И.Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 480 с.

13. Подъемно-транспортные машины и механизмы. Курсовое проектирование: учеб.-методич. комплекс / Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2018. – 302 с.

14. Тарушкин, В.А. Исследование электрического поля диэлектрического сепаратора с цилиндрическими электродами / В.А. Тарушкин // Сб. науч. тр. МИИМП. – 1979. – Т. 16. – Вып. 5. – С. 26-31.

15. Пособие по проектированию конвейерного транспорта (пособие к СНиП 2.05.07-85). Ленточные конвейеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/PosobieSNIP2050785Posob4.html>. – Дата доступа: 10.12.2021.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.05.2022