

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛОДА

Виталий Подлесный

*Подольский государственный аграрно-технический университет
Ул. Шевченко, 13, г. Каменец-Подольский, Украина. E-mail: v.pidlisnyj@mail.ru*

Vitalij Pidlisnyj

*Podolsky State Agricultural and Technical University
St. Shevchenko, 13, Kamenets-Podolskiy, Ukraine. E-mail: v.pidlisnyj@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются процессы кондиционирования воздуха в системах проращивания солода, связаны с протеканием массообмена в системах "кондиционированный воздух - зерно" и особенностями аэродинамики.

Переход к вопросам, связанным с кондиционированием воздуха, был обусловлен определением тепловых и материальных потоков, сопровождающих процессы проращивания солода. Сферой научных интересов при этом был влажный воздух, на который распространяются законы идеальных газов и закон Дальтона. Считалось, что течениями процессов подготовки и взаимодействия воздуха с зерновой массой, соответствует I-d диаграмма влажного воздуха.

Математическое описание этих процессов осуществляется на основе известных соотношений термодинамики, фазовых переходов, сочетания тепловых и массообменных процессов сорбции и десорбции жидкостями газов и тому подобное.

Решение задачи в направлении ограничения энергетических затрат в процессах солодоращения ищут на пути рециркуляции воздуха. При этом впервые формулируется подход, связанный с изъятием диоксида углерода с рециркуляционной части воздуха в камерах кондиционирования.

Ключевые слова: аэрация, рециркуляция, диоксид углерода, кондиционирования воздуха, солод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Углубленный анализ процессов, которые происходят при кондиционировании воздуха, особенное значение имеет при экспериментальных температурах зимнего и летнего сезонов. При этом особенного внимания заслуживают режимы рециркуляционного использования воздуха, которые по своим температурным показателям и относительной влажности приближены к номинальным значениям [1-8].

Однако результатом биохимических процессов является поглощение кислорода и выделение CO₂, которое приводит к изменениям химического состава воздуха и обслуживает определенным образом уровень рециркуляции.

Тонкий слой проращиваемого солода находится в естественном контактировании с воздухом лишь на токовых солодовнях. Во всех иных случаях

солод располагается на перфорированных ситах в слое до 1,5 м. Количество воздуха, который подается на аэрацию должно обеспечить ход всех жизненных процессов. В рекомендациях [7, 9-10, 12, 17, 19] приводятся данные относительно расходов воздуха от 300 до 700 м³ на 1 тону ячменя за 1 час. Не вызывает сомнения то, что эти данные являются обобщением значительного количества эмпирических показателей, однако в физической сути в них запрограммированная ошибка. Она связана с тем, что этой характеристикой уровня аэрации никак не учитывается такой важный показатель, как высота слоя зерна и ее соотношения с двумя другими геометрическими габаритами.

В литературных источниках касательно последнего имеют место лишь общие рассуждения без попыток предоставить какую-то аналитическую информацию [1-8, 15-18], хотя ход процессов на основе диаграммы I-d дает приближение к реальным на достаточно высоком уровне.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Оценка возможного максимального уровня рециркуляции воздуха связана, как минимум, с двумя требованиями. Первая и главная из них – это соответствие кондиционированного воздуха технологическим запросам. Второй за требованием является минимизация энергетических расходов.

В определении последних и попытках минимизировать энергетические расходы в большинстве случаев выбирается ориентир на рециркуляцию воздуха [1, 3-4, 6-7, 9]. Такой принципиальный выбор имеет под собой термодинамическую почву, а также то обстоятельство, что он может быть задействованным практически на существующей материальной базе. Относительно небольшое осложнение имеет место в случаях использования ящичковых солодовень и солодовень "передвижная грядка", поскольку в помещениях исходные потоки воздуха в этих случаях имеют полное перемешивание, хотя в дальнейшем такой недостаток нивелируется за счет индивидуальной обработки воздуха по каждому из ящиков [11-12].

Невзирая на возможность исключения CO₂ на уровнях, которые не мешают солодоращению, ре-

циркуляция не может складывать 100%, поскольку концентрация кислорода все время имеет тенденцию к уменьшению. Поэтому подмешиванием свежего воздуха необходимо компенсировать ту часть O_2 , которая поглощается в процессе аэрации. При этом следует учитывать, что кислород является малорастворимым газом касательно воды и основная его часть попадает к зерновке через жидкостную пленку на них.

Очевидно, что в методе энергосбережения за счет рециркуляции воздуха важным преимуществом является приближение его температуры и относительной влажности к номинальным, которые отвечают требованиям аэрации.

Не меньшего внимания заслуживает стабилизация входных параметров воздуха за счет теплообмена его входного и исходного потоков.

Поскольку теплообмен касается двух достаточно значительных потоков воздуха, то его реализация может быть осуществлена за счет использования устройства по публикации [12-14].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оценить возможность изъятия диоксида углерода с рекуперативной части воздуха за счет сатурации воды в камерах кондиционирования.

Обосновать возможные направления ограничения энергетических затрат связанных с кондиционированием воздуха, с воздействием на них показателей рециркуляции в процессах солодоращения.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В соответствии с технологическими регламентами предусматривается ступенчатое изменение температур солода от 12 до 17-18° С. Это изменение имеет приблизительно суточное отражение. Начальная температура воздуха на 1,5-2° С меньше температуры прорастиваемого солода. Поэтому традиционно для солода каждых суток проращивание необходимо обеспечить конкретное значение температур воздуха при $\varphi = 100\%$. Это положение требует использования камер кондиционирования воздуха в количестве, которое отвечает числу суток проращивания. Отработанные потоки воздуха в большинстве случаев смешиваются в отводных коллекторах или в помещениях солодовень. В дальнейшем целесообразно решать вопрос о рациональных соотношениях рециркуляционных режимов [16-18].

При использовании барабанных солодорастиельных аппаратов существует возможность другой системы аэрации, которая бы предусматривала последовательное перепускание входного потока воздуха через несколько или даже все восемь барабанов (рис. 1). При предложенной схеме в эксплуатации находится одна камера кондиционирования (КК) воздуха и одновременно существует возможность использования рекуперации части воздушного потока.

Начальная подготовка воздуха (с охлаждением или нагреванием) осуществляется за счет использования теплохолодильной установки (ТХУ).

Энергетические расходы, связанные с нагреванием или охлаждением входного воздушного пото-

ка, складывают весомую долю общих энергетических потребностей.

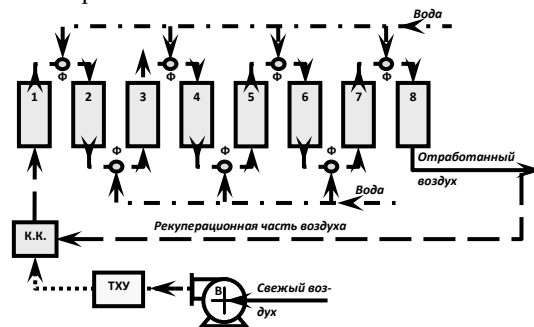


Рис. 1. Схема аэрации барабанной солодовни: 1-8 – барабаны; К.К – камера кондиционирования; ТХУ – теплохолодильная установка; В – вентилятор; Ф – форсунки

Fig. 1. Scheme aeratsyy barabannoy malt: 1-8 – drums; КК – Camera and air conditioning; ТХУ – teplohoolodylna installation; В – fan; F – jets

Использование рекуперационных режимов позволяет сократить их на 60-75% по сравнению с работой без энергохранящего приема [7]. Однако часть рекуперационного потока воздуха ограничивается в связи с обеспечением доставки кислорода и отведения CO_2 , генерирующего за счет разложения органических соединений сухих веществ (СВ). Диоксид углерода, как газ с большей объемной массой сравнительно с азотом и кислородом, остается в зоне его синтеза, а с началом аэрации за счет механического перемешивания переходит к газовому потоку. В связи с этим в рекуперационной части воздуха уменьшается часть кислорода и увеличивается часть CO_2 . В интересах ограничения энергетических расходов уровень рекуперации целесообразно повышать, однако изменение химического состава воздуха такое повышение лимитирует.

Частичного решения, связанного с исключением диоксида углерода из рекуперационной части потока воздуха, достигают за счет введения его в камеру кондиционирования (рис. 1). Для улучшения уровня сорбции CO_2 предлагается общий объем камеры кондиционирования разделить на две части, в которых происходит отдельно взаимодействие газовых потоков с распыленной мелкодисперсной фракцией воды (рис. 2).

Распыление воды осуществляется через форсунки, смонтированные в верхней части обеих зон, а подведение воздуха осуществляется из нижних частей. Результатом такой компоновки является реализация противотока и улучшенный уровень массообмена. Отведение остатков воды из нижних частей обеих зон осуществляется через гидрозатворы, которые обеспечивают первичное взаимодействие входных воздушных потоков с водой на уровне барботажа. В сорбционной зоне камеры происходит исключение CO_2 из воздуха и насыщения последнего к относительной влажности $\varphi = 100\%$.

В верхней части КК осуществляется смешивание двух газовых потоков. Кроме того, в нижней части сорбционной зоны происходит массообмен и сорбция диоксида углерода за счет барботажа и за

счет массопередачи через поверхность разделения жидкостной и газовой фаз.

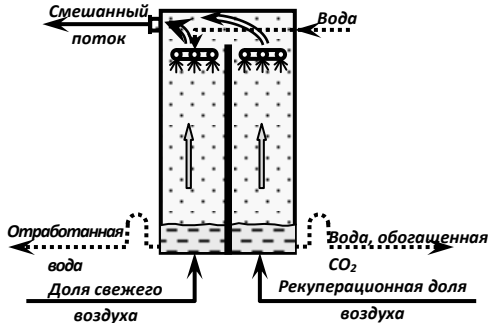


Рис. 2. Схема камеры кондиционирования с секцией сорбции CO_2

Fig. 2. Scheme kamery air conditioning with CO_2 sorbtsy end Sections

Определим соотношения материальных потоков, при которых осуществляется сорбция CO_2 оросительным потоком воды [8-10]. Известно, что количество образуемого диоксида углерода связано с потерями сухих веществ и за время проращивания 1000кг зерна выделяется 117,3кг CO_2 . Минимальное количество воды $m_{6(k)}$, что должна за цикл пройти в режиме массообмена с рекуперированным воздухом:

$$m_{6(k)} = \frac{kG_{CO_2}}{c_{H(CO_2)}}, \quad (1)$$

где: k – коэффициент рекуперации воздушного потока; G_{CO_2} – количество диоксида углерода, который выделяется в цикле из 1000кг зерна; $c_{H(CO_2)}$ – константа насыщения воды диоксидом углерода за определенно давления и температуры в камере кондиционирования.

Величина константы насыщения определяется за формулой Генри:

$$c_{H(CO_2)} = k_{CO_2} P_{CO_2}, \quad (2)$$

где: k_{CO_2} – константа Генри; P_{CO_2} – парциальное давление CO_2 в рециркуляционном воздухе.

Подчеркнем, что константа Генри k зависит от физико-химических параметров компонентов системы "газ-жидкость" и особенно от температуры среды, в которой осуществляется массообмен. Поскольку со снижением температур растворимость газов растет, то соблюдение температурных режимов в системе на уровне 12-18° С полезно не только с точки зрения интересов биохимических параметров системы, но и с точки зрения обеспечения массообмена по кислороду.

Отсюда найдем:

$$m_{6(k)} = \frac{kG_{CO_2}}{k_{CO_2} P_{CO_2}}. \quad (3)$$

Парциальное давление CO_2 , которое входит в смесь воздуха:

$$P_{CO_2} = m_{CO_2} \frac{R_{CO_2}}{R_{см}} P, \quad (4)$$

где: m_{CO_2} – массовая часть диоксида углерода.

Определяется соотношением массы CO_2 , которая входит в смесь, к массе всей смеси; R_{CO_2} – газовая константа диоксиду углерода; $R_{см}$ – газовая константа смеси газов; P – давление газовой смеси.

В соответствии с законом Дальтона:

$$P = P_{N_2} + P_{CO_2} + P_{O_2} + P_{H_2O}. \quad (5)$$

Значение газовой постоянной смеси $R_{см}$ выражаем через газовые константы отдельных компонентов:

$$R_{см} = \sum_1^n m_i R_i = m_{N_2} R_{N_2} + m_{CO_2} R_{CO_2} + m_{O_2} R_{O_2} + m_{H_2O} R_{H_2O}. \quad (6)$$

Массовые части компонентов:

$$m_{N_2} = \frac{M_{N_2}}{M}; \quad m_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M}, \quad (7)$$

$$m_{O_2} = \frac{M_{O_2}}{M}; \quad m_{H_2O} = \frac{M_{H_2O}}{M},$$

где: M_{N_2} , M_{CO_2} , M_{O_2} и M_{H_2O} – массы отдельных газов; M – масса всей смеси.

Подстановкой (4) и (5) к условию (3) получаем:

$$m_{6(k)} = \frac{kG_{CO_2} R_{см}}{k_{CO_2} m_{CO_2} R_{CO_2} P} = \frac{kG_{CO_2} (m_{N_2} R_{N_2} + m_{CO_2} R_{CO_2} + m_{O_2} R_{O_2} + m_{H_2O} R_{H_2O})}{k_{(CO_2)} \frac{M_{CO_2}}{M} R_{CO_2} (P_{N_2} + P_{CO_2} + P_{O_2} + P_{H_2O})}. \quad (8)$$

Найденные соотношения, дают возможность, определится с величинами материальных потоков воздуха и воды, которые сопровождают процессы проращивания солода. Кроме того достигается возможность оценки уровня десорбции CO_2 из воздушной фазы в ее рециркуляционную часть. Таким образом, необходимость ограничения уровня рециркуляции воздушного потока связана лишь с доставкой кислорода. Общее количество последнего при условии использования на дыхание 8% сухих веществ в расчете на 1000 кг солода представляет около 86 кг. Если коэффициент использования кислорода при прохождении слоя солода составляет 1% для доставки 86 кг O_2 необходимо пропустить через него воздух:

$$\Pi = \frac{86}{1,29 \cdot 0,23 \cdot 0,01} = 28986 \text{ м}^3. \quad (9)$$

В перерасчете на 1 час аэрации в непрерывном режиме получаем:

$$\Pi' = \frac{\Pi}{192} = \frac{28986}{192} = 151 \text{ м}^3 / \text{ч},$$

где: 1,29 – масса 1м³ воздуха; 0,23 – массовая доля кислорода у 1м³ воздуха; 192 – количество часов проращивания за восемь суток.

В случае, например, барабанной солодовни с загрузкой 8000кг солода в каждом полные расходы воздуха составят:

$$\Pi'_{ноб} = \Pi' \cdot 8 \cdot 8 = 9660 \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (10)$$

где: 8 – количество барабанных солодорастиельных устройств.

Полученные данные указывают на необходимость и целесообразность устройства рециркуляционных режимов в системе воздушного обеспечения процессов проращивания солода.

Последовательное соединение аппаратов для проращивания способствует повышению в цепочке аэрации содержимого CO₂, которое ограничивает дыхание и увеличивает биохимическое растворение веществ эндосперма.

ВЫВОДЫ

1. Обосновано перспективные направления совершенствования процессов кондиционирования воздуха при производстве солода.
2. Разработать теоретические основы по определению соотношений кислорода и диоксида углерода в рециркуляционных системах аэрации проращиваемого солода.
3. Обоснована возможность изъятия диоксида углерода с рекуперативной части воздуха за счет сатурации воды в камерах кондиционирования.
4. Получено оценку энергетических затрат, связанных с кондиционированием воздуха, с воздействием на них показателей рециркуляции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Домарецкий В.А., Прибыльский В.Л., Михайлов М.Г. 2005.** Технология эстрактов, концентратов и напитков из растительного сырья. Винница: Новая книга, 408. (Украина).
2. **Калуныц К.А. 1990.** Химия солода и пива. – М.: Агропромиздат, 176.
3. **Калуныц К.А., Яровенко В.Л., Домарецкий В.А., Колчева Р.А. 1992.** Технология солода, пива и безалкогольных напитков. – М.: Колос, 446.
4. **Колотуша П.В., Домарецкий В.А. 1977.** Интенсификация солодовенного производства. – К.: Техника, 160. (Украина).
5. **Кунце В., Мит Г. 2003.** Технология солода и пива: Пер. с нем. – СПб.: "Изд-во, 912.
6. **Маринченко В.О., Домарецкий В.А., Шиян П.Л., Швець В.М., Циганов П.С., 2003.** Технология спирта. – К.: НУХТ, 496. (Украина).
7. **Мовчан С.И. 2013,** Интенсификация работы оборотных систем водоснабжения / С.И. Мовчан. MOTROL. Commission of motorization and energetic in agriculture. –Vol. 15, No. 6, 157-164.
8. **Нарцис Л. 1980.** Технология солода. – М.: Пищевая промышленность, 503.
9. **Пахомов В.М. 1993.** Совершенствование теории и методики расчета теплопроводности влажных пищевых структур // Научные труды УДУХТ. - М.: № 1, 94-105.
10. **Подлесный В.В. 2008.** Определение тепловых и материальных потоков в процессах проращивания солода // Научный журнал «Пищевая промышленность». - Киев. № 6, 90-92. (Украина).
11. **Соколенко А.И., Лисюк О.О., Подлесный В.В., Шевченко А.Ю.** Устройство для проращивания зерна ящичного типа, барабанный или в виде "передвижной грядки". Патент на полезную модель Украины № 29881, С12С1/00, – Бюл. № 2, 25.01.2008. (Украина).
12. **Соколенко А.И., Семенов А.М., Поддубный В.А. 2006.** Об эффективности использования холодильных установок / Молочное дело. № 5, 24-27. (Украина).
13. **Соколенко А.И., Украинец А.И., Поддубный В.А. 2002.** Транспортно-технологические системы пивзаводов. – М.: Артек, 304. (Украина).
14. **Систер В.Г., Мартынов Ю.В. 1998.** Принципы повышения эффективности тепломассообменных процессов. Калуга: Изд-во Бочкаревой, 508.
15. **Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д. 1985.** Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 503.
16. **Федоткин И.М., Гулый И.С., Боровский В.В. 1998.** Интенсификация процессов смешения и диспергирования гидродинамической кавитацией. – К.: Арктур-А, 128. (Украина).
17. **Шевченко А.Ю. 2003.** Подготовка воздуха в процессах производства солода // Пищевая промышленность. - К.: НУХТ, № 2, 66-69. (Украина).
18. **Jankiewicz M., Kedzior Z., Kiryluk J. 1989.** Chemical-technological characteristics and baking applicability of protein preparations obtained from peas and faba beans using air classification method // Acta aliment Pol. –15, № 4, 291-298.
19. **Stepanenko S. 2012.** Osobnosti modelirovanija processov separacii zerna v uslovijah zernotoka hazajstva. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, – Tom 14, 3. 148–157.
20. **Travagini M., Travagini D. 1984.** Avaliacaoda qualidade proteica de cereals processados do tipo desjejum em combinacao com uma bebida tm po a base de extrato de soja // Bol. Just. Technol. Alim. – 21, № 4, 503-510.

THE REASONING OF THE PROCESS OF THE AIR CONDITIONING USING THE RECIRCULATION SYSTEM IN THE PRODUCTION OF MALT

Summary. The article deals with the analysis of the air conditioning processes in the systems of the malt germination associated with the occurrence of mass transfer in systems the "conditioned air - grain" and with the aerodynamics features.

The transition to problems dealing with the air conditioning, was due to the definition of the heat and material flows that accompany the processes of germination of malt. The moist air, that is the subject to the laws of ideal gases and Dalton's law, was the sphere of scientific interests. It has been believed that the duration of the preparation processes and interactions of the air with the grain mass corresponds to the I-d diagram of moist air.

The mathematical description of these processes is based on the well-known relations of thermodynamics, the phase transitions, the combinations of heat and mass transfer processes of sorption and desorption of gases and liquids, etc.

The solution of the problem toward the reduction of energy costs in the processes of malt production are being looked for in the way of air recirculation. Besides, the formulation of the approach, dealing with the removal of carbon dioxide from the recirculating part of the air in the conditioning chambers, is stated for the first time.

Key words: the aeration, the recirculation, carbon dioxide, air conditioning, malt.