УДК 664.65.05

DOI: 10.17277/voprosy.2015.03.pp.270-277

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХМЕЛЕВО-ТЫКВЕННОЙ ЗАКВАСКИ

**Е. П. Иванова, Ю. В. Родионов, В. П. Капустин,
Д. В. Никитин, С. И. Данилин, М. А. Митрохин**

*ФГБОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный
университет», г. Мичуринск;*

*ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет», г. Тамбов*

Рецензент д-р с.-х. наук, доцент В. Ф. Палфитов

Ключевые слова: двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка; сухая хмелево-тыквенная закваска.

Аннотация: Представлен расчет оборудования биотехнологической системы (БТС) для производства хмелево-тыквенной закваски (ХТЗ). Предложена методика выбора критериев для обоснования и расчета оборудования БТС производства сухой ХТЗ. Разработан график использования оборудования рассматриваемой БТС. Разработана программа для ЭВМ с возможностью пополнения базы данных оборудования, позволяющая подобрать его для выпуска сухой ХТЗ необходимой производительности.

Любая биотехнологическая система включает в себя биотехнологический агент, субстрат, технологический режим, оборудование для осуществления биотехнологических процессов и сам продукт (рис. 1) [1].

Иванова Екатерина Петровна – аспирант кафедры «Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства»; Родионов Юрий Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства», e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru, МичГАУ, г. Мичуринск; Капустин Василий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Агроинженерия»; Никитин Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и детали машин», ТамбГТУ, г. Тамбов; Данилин Сергей Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства»; Митрохин Михаил Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры «Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства», МичГАУ, г. Мичуринск.

Применительно к производству сухой ХТЗ в качестве биологического агента может быть рассмотрена дрожжевая клетка, субстрат – питательная смесь в виде муки, воды и мякоти тыквы, продукт – ХТЗ, и, соответственно, технологический режим – параметры работы оборудования, позволяющие получить продукт, способный максимально удовлетворить требования потребителя.

Существует несколько вариантов производства сухой ХТЗ, один из оптимальных вариантов которых представлен на рис. 2 [2].

Рис. 1. Схема биотехнологической системы

Рис. 2. Технологическая схема производства сухой ХТЗ

Согласно схеме производство сухой ХТЗ начинается с приготовления питательной смеси путем смешения муки с хмелевым отваром и тыквой в соотношении 1:3:4. Причем, для приготовления хмелевого отвара шишки хмеля заливают водой в соотношении 1:40 и кипятят в течение 45...60 мин., затем процеживают [3]. Через несколько часов начинается брожение полученной смеси. Тыква оказывает благоприятное воздействие на качество получаемой закваски. Содержащиеся в ней минеральные вещества, органические кислоты, а также комплекс ферментов (липаза и липоксегиназа) увеличивают подъемную силу закваски, что позволяет сократить время ее приготовления [4]. После чего в данную закваску добавляются отруби. В таком виде закваска подается на сушку.

Целью данной работы является подбор и обоснование выбора оборудования согласно приведенной выше схемы, способное провести все технологические операции с минимальными затратами времени и электроэнергии.

В соответствии с технологической схемой производства сухой ХТЗ необходимо рассчитать и подобрать следующее оборудование: выпариватель; машину для мойки, отчистки, измельчения тыквы; смеситель (тестомеситель); бродильный чан (ферментатор); сушилку; измельчитель высушенной закваски; упаковочную машину.

В зависимости от степени предварительного измельчения, сушка может быть двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной (ДКВИС) или конвективной в псевдоожиженном слое. При крупном измельчении тыквы рационально использовать ДКВИС. Тогда в первой ступени конвективной сушки неподвижным слоем происходит удаление свободной влаги путем передачи тепла продукту перпендикулярным обтеканием нагретым сушильным агентом – воздухом. После чего, частично высушенный полуфабрикат подается на конвективно-вакуум-импульсную ступень сушки.

Исходные данные для расчета необходимого оборудования для производства сухой ХТЗ:

- 1) характеристики исходного сырья;
- 2) объем производства сухой ХТЗ;
- 3) время работы производства (круглосуточное производство – 300 дней);
- 4) начальная влажность ХТЗ;
- 5) конечная влажность сухой ХТЗ.

Для эффективной организации работы производства и соблюдения поточности линии следует определить один из процессов, либо одну операцию как лимитирующую, то есть это операция, которая ограничивает в целом производство во времени. В нашем случае такой операцией является процесс брожения закваски. Время протекания данной операции – 48 часов. Для исключения простоя оборудования и целесообразного использования рабочего времени, возможно сокращение его затрат путем установки N бродильных чанов, тогда время одного цикла производства будет $48/N$ часа. При этом целесообразно организовать работу таким образом, чтобы за $48/N$ часов проходили все операции, параллельно с операцией, лимитирующей цикл производства, что наглядно представлено на циклограмме рационального использования рабочего времени.

Рис. 3. Циклограмма рационального использования рабочего времени

В целях рационального использования рабочего времени оборудования, длительность операций принимаем следующей:

Упаривание	$0,20t$;
Процеживание	$(0,05...0,07)t$;
Смешение	$(0,05...0,07)t$;
Мойка	$(0,05...0,07)t$;
Очистка	$(0,05...0,07)t$;
Нарезка	$(0,05...0,07)t$;
Измельчение тыквы	$(0,05...0,07)t$;
Сушка	$(0,40...0,60)t$;
Измельчение сухой ХТЗ	$(0,05...0,07)t$;
Упаковка готового продукта	$(0,05...0,07)t$;

Для сушки выбираем ДКВИС, как наиболее эффективную по критериям надежности, материалоемкости, энергоемкости, качества, интеллектуализации и производительности.

Производительность ДКВИС определим по формуле

$$\Pi = \frac{Q_{ХТЗ}}{0,5t}, \quad (1)$$

где $Q_{ХТЗ}$ – количество производимой сухой ХТЗ, кг.

Количество удаляемой влаги

$$\Delta W = C_n - C_k, \quad (2)$$

где C_n , C_k – влагосодержание материала до и после сушки соответственно, кг.

Для измельчения высушенного продукта выбираем молотковую дробилку, исходя из соображений энергоемкости и качества. Производительность дробилки определяем по формуле

$$\Pi_{изм} \geq \frac{Q_{ХТЗ}}{0,05t}. \quad (3)$$

Для выпаривания выбираем вакуумный выпариватель, так как он отвечает требованиям критериев качества, использование вакуума позволяет провести максимально щадящую термообработку шишек хмеля, при этом, сравниваем аналоги по критериям материалоемкости и энергоемкости.

Общий материальный баланс выпаривания определяется уравнением

$$\Delta W_{\text{вып}} = Q_{\text{н}} - Q_{\text{к}}, \quad (4)$$

где $\Delta W_{\text{вып}}$ – количество удаляемой (выпариваемой) влаги, кг; $Q_{\text{н}}$, $Q_{\text{к}}$ – количество раствора до и после выпаривания соответственно, кг.

Все количество воды $Q_{\text{в}}$, идущее на производство закваски, заменяется на экстракт хмеля $Q_{\text{х}} = Q_{\text{в}}$ при соотношении хмеля и воды 1:40 [3], тогда

$$Q_{\text{х}} = 0,025 Q_{\text{в}}. \quad (5)$$

где $Q_{\text{х}}$ – количество хмеля, кг.

Раствор следует упаривать в два раза, то есть $Q_{\text{н}} = 2Q_{\text{к}}$, тогда формула (4) будет иметь вид:

$$PQ_{\text{в}} = 2Q_{\text{в}} - \Delta W. \quad (6)$$

$$\Delta W = Q_{\text{в}} = W \frac{(X_{\text{м}}Q_{\text{м}} + X_{\text{т}}Q_{\text{т}} + XQ_{\text{отр}} + X_{\text{с}}Q_{\text{с}})}{60} - (Q_{\text{м}} + Q_{\text{т}} + Q_{\text{отр}} + Q_{\text{с}}). \quad (7)$$

где $Q_{\text{м}}$, $Q_{\text{с}}$, $Q_{\text{т}}$, $Q_{\text{отр}}$ – расход муки, соли, тыквы и отрубей соответственно, кг.

Производительность сушилки определяется, как

$$\Pi_{\text{с}} = \frac{Q'_{\text{ХТЗ}}}{t_{\text{с}}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{с}}$ – время сушки, ч; $Q'_{\text{ХТЗ}}$ – масса ХТЗ

$$Q'_{\text{ХТЗ}} = \frac{Q_{\text{ХТЗ}}}{1 - \Delta W}. \quad (9)$$

Для производства сухой ХТЗ необходимо подобрать и, если потребуется, рассчитать и изготовить следующее оборудование:

- 1) мойку, овощерезку, измельчитель, дозатор для подготовки тыквы;
- 2) дозаторы, чаны/бункера для брожения закваски с месильным органом для приготовления закваски;
- 3) сушильную машину, дозаторы, дробилку для сушки ХТЗ.

Для организации непрерывной поточной работы производства ХТЗ оборудование основных процессов должно быть подобрано таким образом, чтобы при завершении одного процесса начинался другой, либо чтобы за один цикл работы оборудования выполнялось несколько полных циклов работы другого оборудования. Такая организация производства возможна при строгом расчете производительности оборудования и его надежности, то есть из всех критериев производительность основного

оборудования выходит на первый план, при этом для вспомогательного оборудования наиболее важными критериями являются качество, надежность, энергетические и материальные затраты.

На подготовительном этапе основным процессом является брожение, для которого требуется подобрать бродильный чан. Необходимую вместимость емкости рассчитываем по формуле [2]

$$V = \frac{Q_3 TK 1,5}{\rho 100}, \quad (10)$$

где Q_3 – количество закваски, кг; T – продолжительность брожения закваски, ч; K – коэффициент, учитывающий необходимость увеличения объема чана с учетом пенообразования (1,1...1,4); 1,5 – коэффициент, учитывающий отбор спелой закваски; ρ – плотность выброженной закваски, кг/м³.

При этом емкость должна иметь месильный орган и тепловую рубашку, кроме того должны быть учтены критерии надежности, энергоемкости, качества [5]. Выпариватель подбираем исходя из его производительности, которую рассчитываем по формуле (2) с учетом критериев интеллектуализации, производительности, надежности, энергоемкости, качества [5]. Вспомогательные процессы на этом этапе – мойка, отчистка, измельчение. Моечную машину выбираем исходя из критериев производительности, надежности, энергоемкости, технологичности [5]. Здесь наиболее важным является критерий качества, характеризующий степень отчистки продукта.

Для основного этапа производства лимитирующий процесс – сушка закваски. Оборудование для сушки подбирается исходя из производительности, которая рассчитывается по формуле (1) и критериев производительности, материалоемкости, энергоемкости, технологичности, качества, интеллектуализации [5]. При этом на первый план выходит критерий качества, то есть возможность максимально сохранить биологически активные вещества (**БАВ**), содержащиеся в тыкве, не угнетая жизнедеятельности дрожжевых клеток.

К вспомогательным операциям отнесем измельчение. Измельчитель выбираем исходя из критериев производительности, надежности, энергоемкости, качества, интеллектуализации [5]. Основным критерием является качество, то есть степень помола, характеризующаяся средним размером частиц и учитывающая возможность сохранения БАВ, разрушающихся при превышении допустимой температуры измельчаемого материала.

Приведенная методика выбора (расчета) оборудования на основе анализа предложенных критериев позволяет выбрать наиболее выгодные варианты компоновки линии производства ХТЗ заданной производительности и качества получаемого продукта. Разработана программа в среде Microsoft Visual Studio Express 2013 на языке программирования C# с возможностью хранения и пополнения базы данных, что реализовано с помощью Microsoft SQL Server. Использование данной программы позволит существенно снизить затраты на проектные работы с учетом новых инновационных разработок в данном направлении. Согласно описанной мето-

Рис. 4. Структурная схема БТС производства ХТЗ производительностью 80 т/год

дики с помощью автоматизированной программы проведен примерный расчет. По результатам работы автоматизированной программы подобрано оборудование, результаты представлены на рис. 4.

Таким образом, предложенная методика расчета оборудования для осуществления технологических процессов в БТС производства сухой ХТЗ позволяет подобрать оборудование исходя из технологических параметров и производительности, учитывая при этом целый ряд критериев. Автоматизированная программа позволяет сократить затраты времени до минимума.

Список литературы

1. Зудин, Д. В. Биотехнология : учеб. пособие для вузов. В 8 т. под ред. Н. С. Егорова, В. Д. Самуилова. Т. 4. Автоматизация биотехнологических процессов / Д. В. Зудин, В. М. Кантере, Г. А. Угодчиков. – М. : Высшая школа, 1987. – 112 с.
2. Иванова, Е. П. Выбор и обоснование биотехнологической системы для производства хмелево-тыквенной закваски / Е. П. Иванова, Ю. В. Родионов, В. П. Капустин // Альманах соврем. науки и образования. – 2015. – № 5 (95). – С. 62 – 66.
3. Пат. 2363159 Российская Федерация, МПК А21D8/02, А21D2/36. Способ приготовления хмелевой закваски для производства хлеба / Шипицина М. И. ; заявитель и патентообладатель ООО Науч.-производств. Центр «Русский рецепт». – 2007134484/13 ; заявл. 14.09.2007 ; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 22. – 6 с.
4. Пат. 2302457 Российская Федерация, МПК С12N1/18, А21D8/00. Способ предварительной активации прессованных дрожжей / Петрик А. А., Калмано-

вич С. А., Мартовщук В. И., Корнен Н. Н. Марковский Ю. И., Щипанова А. А., Лебедева А. О., Шаззо А. А. ; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. техн. университет. – № 2005134913/13 ; заявл. 11.11.2005 ; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 19. – 4 с.

5. Вакуумная техника и технологии в производстве продуктов питания функционального назначения / И. В. Иванова [и др.] // Инновационные технологии в производстве функциональных продуктов питания : Всерос. науч.-практ. конф., Мичуринск, 16 – 18 дек. 2014 / Мичуринск. гос. аграрн. университет. – Мичуринск, 2014. – С. 76 – 82.

References

1. Zudin D.V., Kantere V.M, Ugodchikov G.A. *Biotehnologiya: Uchebnoe posobie dlya vuzov. V 8 t. T. 4. Avtomatizatsiya biotekhnologicheskikh protsessov*, Moskva: Vysshaya shkola, 1987, 112 p.
2. Ivanova E.P., Rodionov Yu.V., Kapustin V.P. *Al'manakh sovremennoi nauki i obrazovaniya*, Tambov: Gramota, 2015, no. 5(95), pp. 62-66.
3. Shipitsina M.I. Limited Liability Company Scientific-Production Center "Russian recipe" *Sposob prigotovleniya khmelevoi zakvaski dlya proizvodstva khleba* (How to prepare hop leaven for bread), Russian Federation, 2009, Pat. 2363159, 6 p.
4. Petrik A.A., Kalmanovich S.A., Martovshchuk V.I., Kornen N.N., Markovskii Yu.I., Shchipanova A.A., Lebedeva A.O., Shazzo A.A. *Sposob predvaritel'noi aktivatsii pressovannykh drozhzhei* (A method of pre-activation of compressed yeast), Russian Federation, 2007, Pat. 2302457, 4 p.
5. Ivanova I.V., Ivanova E.P., Rodionov Yu.V., Zorin A.S., Mochalin N.N. *Innovatsionnye tekhnologii v proizvodstve funktsional'nykh produktov pitaniya: Vserossiiskaya nauchno – prakticheskaya konferentsiya* (All-Russian scientific-practical conference), 16-18 December 2014, Michurinsk: Izdatel'stvo Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, pp. 76-82.

Calculation of Parameters and Operation Modes of Biotechnological System Equipment for Hop-Pumpkin Starter

**E. P. Ivanova, Yu. V. Rodionov, V. P. Kapustin,
D. V. Nikitin, S. I. Danilin, M. A. Mitrokhin**

*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk
Tambov State Technical University, Tambov*

Keywords: dry hop-pumpkin starter; two-stage convective-vacuum pulsed drying.

Abstract: This article presents the calculation of biotechnological system (BTS) equipment for the production of hop-pumpkin starter (HPS). The method of selection criteria for the study and calculation of BTS equipment to produce dry HPS is proposed. A schedule for the BPS equipment is developed. Software with the ability to replenish the database of equipment to select the for the production of dry HPS with the desired performance is developed.

© Е. П. Иванова, Ю. В. Родионов, В. П. Капустин, Д. В. Никитин,
С. И. Данилин, М. А. Митрохин, 2015

ДЛЯ ЗАМЕТОК