Известия ТСХА, выпуск 6, 2016 г.

УДК 636.095

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ ПРЕПАРАТОВ ИЗ БИОМАССЫ ФОТОАВТОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

А.А. ШЕВЦОВ[1], А.В. ДРАННИКОВ[1], Т.Н. ТЕРТЫЧНАЯ[2],
Е.А. ШАБУНИНА[1], И.В. МАЖУЛИНА[2]

([1]Воронежский государственный университет инженерных технологий;
[2] Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I)

Использован методологический подход к созданию энергосберегающих биотехнологических систем, позволяющих осуществлять процесс фотосинтеза автотрофных микроводорослей и растительной биомассы для получения на их основе порошкообразных препаратов.

Наиболее важной концептуальной задачей являлось использование пленочных аппаратов с непосредственным вовлечением в тепломассообменные процессы теплонасосных технологий при подготовке энергоносителей для поверхностного культивирования светозависимых микроорганизмов и распылительной сушки культуральных жидкостей при непосредственном получении порошка.

Применение эффективных энергосберегающих теплонасосных технологий позволяет сократить затраты на выработку энергии. При этом основой энергоэффективности является применение возобновляемых источников энергии для реализации биотехнологии получения порошкообразных препаратов из биомассы фотоавтотрофных микроорганизмов.

Выполненные экспериментальные и аналитические исследования фотоавтотрофного биосинтеза микроводорослей подготовили условия для реализации научного подхода к созданию биотехнологии с подключением пароэжекторного теплового насоса по замкнутой термодинамической схеме. Основным преимуществом применения пароэжекторного теплового насоса является его энергоэффективность, безопасность и высокий коэффициент преобразования низкопотенциальной тепловой энергии: на 1 кВт затраченной электроэнергии выделяется в среднем 3-5 кВт тепла.

Изложен технологический цикл производства биомассы фотоавтотрофных микроорганизмов с детализацией истечения пленки культуральной жидкости по поверхности прозрачных трубок при непрерывном освещении источником света. Установлены рациональные диапазоны изменения режимных параметров процесса культивирования светозависимых микроорганизмой в фотобиоректоре с противоточнывм движение фаз.

Приведены рациональные параметры распылительной сушки при получении порошкообразного препарата микроводорослей дуналиеллы.

Ключевые слова: *биотехнология, энергосбереение, микроводоросли, биомасса, фотобиореактор, распылительная сушилка.*

Большой научный и практический интерес для производства порошкообразных препаратов представляют одноклеточные водоросли, которые в настоящее время достаточно хорошо изучены и находят применение в микробиологии, сельскохозяйственном производстве и биотехнологии лекарственных средств [1]. Наибольшее распространение в использовании получили микроводоросли хлореллы, спирулины, дуналиеллы и сценедесмуса. Питательные свойства фототрофных микроводорослей обусловлены высоким содержанием в них белков, жиров, витаминов и микроэлементов. Однако при выращивании микроводорослей затраты на искусственное освещение и нагрев биосистем достигают до 80% от общего объема энергозатрат; велики энергозатраты на процесс распылительной сушки культуральных жидкостей; довольно высока стоимость питательных сред, используемых при выращивании биомассы. Поэтому вопрос рационального использования материальных и энергетических затрат на производство порошкообразных препаратов из биомассы микроскопических водорослей является актуальным.

В работах [2-7] сформирован методологический подход к созданию энергосберегающих биотехнологических систем, позволяющих осуществлять процесс фотосинтеза автотрофных микроводорослей и растительной биомассы для получения на их основе порошкообразных препаратов. Наиболее важной концептуальной задачей являлось использование пленочных аппаратов с непосредственным вовлечением в тепломассообменные процессы теплонасосных технологий при подготовке энергоносителей для поверхностного культивирования светозависимых микроорганизмов и распылительной сушки культуральных жидкостей при непосредственном получении порошка.

Методика исследований

Выполненные экспериментальные и аналитические исследования фотоавтотрофного биосинтеза микроводорослей подготовили условия для реализации научного подхода к созданию биотехнологии с подключением пароэжекторного теплового насоса по замкнутой термодинамической схеме (рис. 1) [2].

Схема содержит инокулятор 1 с охлаждающей рубашкой 2, устройством перемешивания 3, устройством аэрации 4, источником света 5; пленочный фотобиореактор 6 с прозрачными трубками 7, лампой 8, секциями охлаждения 9 и нагрева 10, коллектором 11, барботером 12; сборник готовой продукции 13 с охлаждающей рубашкой 14; распылительную сушилку 15 с распылительным диском 16; эжектор 17; конденсатор 18; испаритель 19; холодоприемник 20; циркуляционный насос 21; терморегулирующий вентиль 22; парогенератор 23; электронагревательные элементы 24; предохранительный клапан 25; сборники отработанной «холодной» 26 и «теплой» 27 воды; насосы 28, 29, 30, 31; вентиляторы 32, 33, 34; теплообменники 35, 36; линии материальных потоков: *0.1* – подачи углекислого газа в инокулятор и фотобиореактор; *0.2* – отвода отработанного углекислого газа; *0.3* – рециркуляции охлажденного воздуха в секции охлаждения фотобиореактора через теплообменник 35; *0.4* – кондиционированного и подогретого воздуха в распылительную сушилку через теплообменник 36; *0.5* – отработанного воздуха из распылительной сушилки в холодоприемник 20; *1.0* – подачи «холодной» воды из холодоприемника 20 одновременно в охлаждающую рубашку 2 инокулятора 1, в теплообменник 35 и систему охлаждения 14 сборника готовой продукции 13;

1.1 – отвода отработанной «холодной» воды из охлаждающей рубашки 2 инокулятора 1, из теплообменника 35 и охлаждающей рубашки 14 сборника готовой продукции 13 в сборник отработанной «холодной» воды 26 с последующим возвратом с помощью насоса 30 в холодоприемник 20; *1.2* – рециркуляции хладагента (воды) через холодоприемник; *1.3* – отвода отработанной «теплой» воды из секции нагрева 10 фотобиореактора и теплообменника 36 в сборник отработанной «теплой» воды; *1.4* – подачи «теплой» воды из конденсатора 18 в секцию нагрева 10 фотобиореактора и в теплообменник 36; *1.5* – подачи «теплой» воды из сборника «теплой» воды 27 в парогенератор 23 и в конденсатор 18; *1.6* – подачи «теплой» воды из сборника «теплой» воды 27 в конденсатор 18; *2.0* – подачи рабочего пара в эжектор 17; *2.1* – сброса давления пара в парогенераторе 23;*2.2* – отвода эжектируемого пара хладагента (воды) из испарителя 19; *2.3* – подачи смеси рабочего и эжектируемого паров из эжектора 17 в конденсатор 18; *2.4* – отвода конденсата смеси рабочего и эжектируемого паров из конденсатора 18 в испаритель19 и в сборник «теплой» воды 27; *3.1* – подачи питательной среды в инокулятор 1 и фотобиореактор 6; *3.2* – подачи посевного материала в инокулятор 1 и фотобиореактор 6; *3.3* – отвода жидкой посевной культуры из инокулятора 1 в фотобиореактор 6; *3.4* – подачи готовой культуры микроорганизмов из фотобиореактора 6 в сборник готовой культуры 13; *3.5* – подачи готовой культуры микроорганизмов в распылительную сушилку 15; *3.6* – отвода готового продукта в порошкообразном виде из сушилки 15.

Результаты и их обсуждение

Технологический цикл производства биомассы фотоавтотрофных микроорганизмов начинается с приготовления жидкой посевной культуры в инокуляторе 1, в который подается питательная среда и осуществляется ее засев посевным материалом. Образовавшаяся жидкость посевной культуры в инокуляторе 5 культивируется при непрерывном освещении источником света 5, перемешивании по всему объему устройством 3 с аэрацией углекислым газом через устройство аэрации 4. Для компенсации тепловой энергии от источника света 5 в охлаждающую рубашку 2 инокулятора 1 непрерывно подается «холодная» вода и обеспечивается температура культивирования 31…32°С до достижения фазы экспоненциального роста биомассы в течение 12…36 ч.

По истечении времени культивирования жидкая посевная культура подается из инокулятора 5 в ферментер 6, который представляет собой пленочный фотобиореактор.

В фотобиореакторе культуральная жидкость непрерывно подается на верхнюю горизонтальную перегородку аппарата. В кольцевом зазоре щелевого распределительного устройства формируется пленка, которая стекает в виде газожидкостного слоя по винтовой спирали, установленной на внутренней поверхности интенсивно освещаемых прозрачных трубок. При этом происходит насыщение культуральной жидкости газом, отвод продуктов метаболизма и тепла [1, 3].

Винтовая спираль обеспечивает вращательно-поступательное движение жидкости, ее перемешивание и позволяет удержать большое количество жидкости на поверхности трубок. Наличие центробежной силы, вызванной вращательным движением пленки жидкости, предотвращает ее срыв и обеспечивает равномерное распределение по внутренней поверхности трубок.

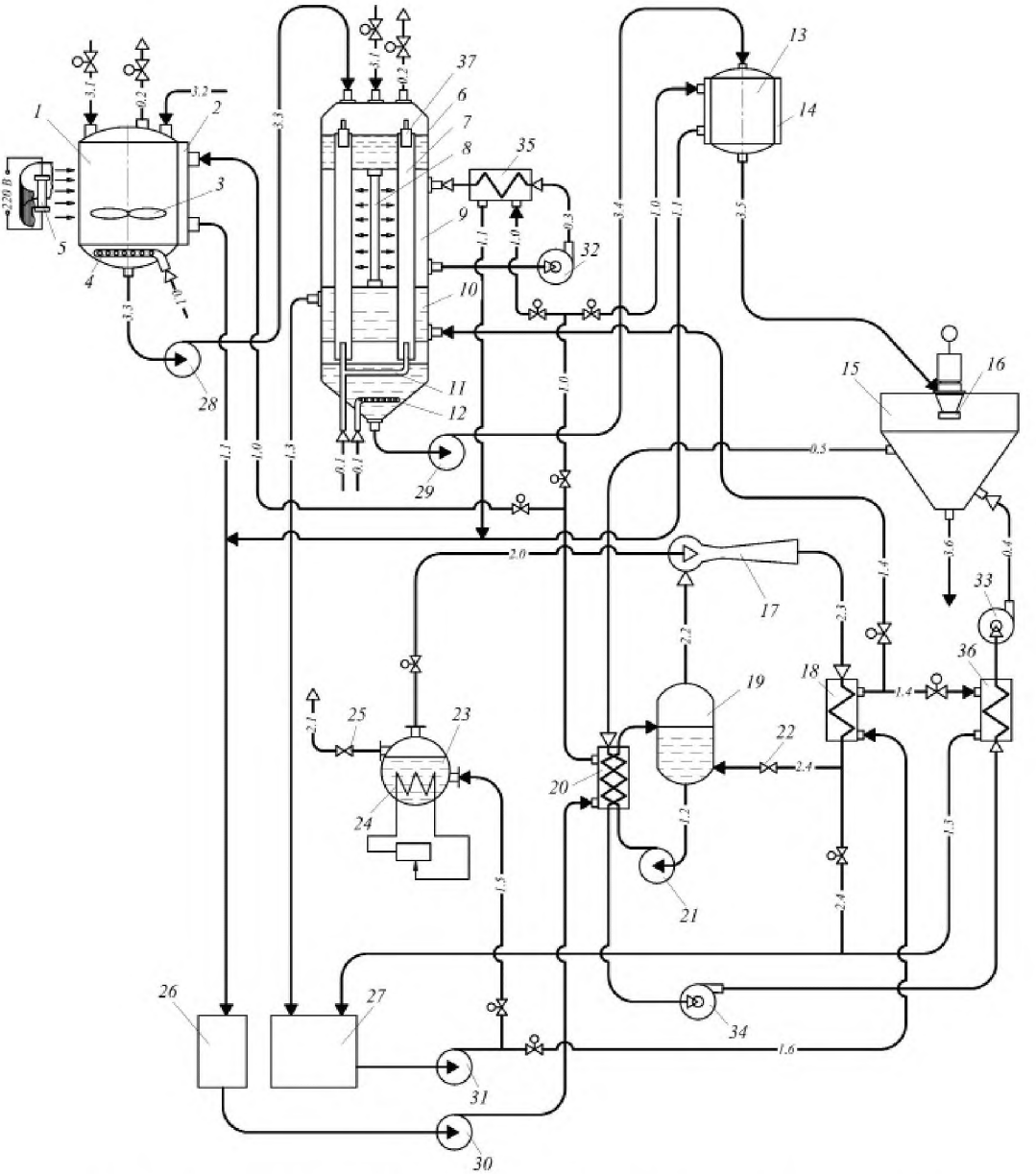

Рис. 1. Биотехнология получения порошкообразных препаратов из биомассы фотоавтотрофных микроорганизмов с применением пароэжекторного теплового насоса

Щелевое распределительное устройство обладает высокой пропускной способностью по культуральной жидкости, позволяет обеспечить уровень жидкости на верхней перегородке 0,1…1,5 м при ширине кольцевого зазора 5…30 мм. Расход

жидкости через контактную тубу и ее уровнем на горизонтальной перегородке задавали по формуле

$$G_ж = \varphi_0 F(2gH_0)^{0,5}, \quad (1)$$

где F – площадь кольцевого зазора для прохода культуральной жидкости, м^2; H_0 – уровень жидкости на горизонтальной перегородке, м; j_o – коэффициент расхода жидкости согласно [1].

Выполненные исследования показали, что максимальный выход биомассы аэробных микроорганизмов сине-зеленых водорослей достигается при культивировании в противоточном режиме истечения пленки суспензии и углекислого газа.

Жидкая посевная культура проходит через кольцевой зазор пленкообразующих устройств 37 и в виде жидкостной пленки суспензия автотрофного микроорганизма стекает по внутренней поверхности прозрачных цилиндрических трубок 7. Подача углекислого газа в фотобиореактор 6 осуществляется одновременно в барботер 12 и через коллектор 11 непосредственно в трубки 7.

В режиме кольцевого истечения жидкость полностью заполняет пространство между витками спирали и по периметру трубок наблюдается скопление пузырьков углекислого газа. Пузырьки неустойчивы, срываются в поток жидкости, а также перемещаются по периметру трубок вдоль витков спирали. Механизм возникновения пузырьков газа в пленке обусловлен отрывом пограничного слоя при сбегании жидкости с выступов спирали, ведущим к образованию циркуляционных вихрей во впадине и понижению статического давления внутри в сравнении с давлением на поверхности потока. При определенной разности статического давления в вихре и над поверхностью пленки происходит проникновение газа в жидкость, что порождает гозосодержание, т.е. появление пузырьков газа в жидкости.

Величину газожидкостного слоя, стекающего по пленкообразующей поверхности во впадине винтовой спирали определяли по зависимости [1]

$$\bar{\delta}_{вп}\left(1-\frac{\bar{\delta}_{вп}}{2R}\right)=\left(1-\frac{h}{2R}\right)\frac{hs}{(s+e)}+\left\{\frac{\Gamma^2(1-h/R)}{\rho^2 g}\left[\frac{\lambda e}{8(s+e)}+\frac{s}{4\sqrt{\pi}\sigma_1(s+e)}\right]\right\}^{1/3}, \quad (2)$$

где $\rho_{см}$ – плотность газожидкостной смеси, кг/м^3; e, h, – ширина и высота выступа винтовой спирали, м; R – радиус трубчатой насадки, м; s – расстояние между витками спирали, м.

В секции охлаждения 9 суспензия автотрофного микроорганизма подвергается воздействию световой энергии посредством лампы 8. В процессе освещения выделяется теплота, которая компенсируется подачей охлаждающего воздуха в секцию 9, который охлаждается в теплообменнике 35, установленного в контуре рециркуляции холодного воздуха.

На выходе из цилиндрических трубок 7 насыщенная углекислым газом суспензия автотрофного микроорганизма поступает в нижнюю часть фотобиореактора, где дополнительно насыщается углекислым газом с помощью барботера 12, при этом повышается суммарный коэффициент массообмена и тем самым интенсифицируется процесс культивирования.

Установлены рациональные диапазоны изменения режимных параметров процесса культивирования светозависимых микроорганизмой в фотобиоректоре с противоточнывм движение фаз: концентрация CO_2 в газовоздушной смеси – 3…10%; расход газовоздушной смеси – 13,6…23,3 кг/ч; освещенность – 11,3…28,3 клк; расход суспензии – 0,8…2,4 м^3/ч; шаг витков спирали – 5…25 мм; толщины проволоки спирали – 0,9…2,1 мм [2].

Культуральная жидкость в виде готовой биомассы автотрофных микроорганизмов отводится из фотобиореактора 6 в сборник готовой культуры 13, а затем подается в распылительную сушилку 15. Посредством распылительного диска 16 осуществляется распыление готовой биомассы во взвешенном слое и сушка теплым воздухом, который подается в сушилку (табл.). Готовый препарат в порошкообразном виде выводится из сушилки.

Таблица 1

Параметры распылительной сушки

Наименование показателя	Значение
Температура сушильного агента на входе, °С	60…80
Температура сушильного агента на выходе, °С	30…35
Дисперсность готового продукта, мкм	3…10
Частота вращения распылительного диска, $с^{-1}$	200
Время сушки, с	2…10

Подготовка энергоносителей осуществляется с применением пароэжекторной холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса. Ее технические характеристики (табл. 2) при подключении к схеме теплоснабжения процессов в полной мере обеспечивали рациональные температурные режимы биотехнологии при получении порошкообразных препаратов.

Таблица 2

Параметры пароэжекторной холодильной машины

Наименование показателя	Значение
Холодопроизводительность, кВт	20
Температура кипения воды в испарителе, °С	4…7
Температура кипения воды в парогенераторе, °С	140…150
Температура конденсации, °С	125…127
Температура воды на входе в конденсатор, °С	15…18
Температура воды на выходе из конденсатора, °С	75…90
Коэффициент эжекции	4
Коэффициент теплопередачи, $Вт/м^2 \cdot К$	12…14
Площадь охлаждающей поверхности испарителя, $м^2$	18
Хладагент	вода

Полученный в парогенераторе 23 с электронагревательными элементами 24 рабочий пар подается под давлением 0,05…0,06 МПа в сопло эжектора 17, вовлекая эжектируемые пары хладагента из испарителя 19 в эжектор. При этом в испарителе создается пониженное давление 0,0009…0,001 МПа с температурой кипения хлада-

гента, в качестве которого используется вода, 4…7°С. Хладагент непрерывно циркулирует через холодоприемник 20 с помощью рециркуляционного насоса 21.

В холодоприемнике 20 за счет рекуперативного теплообмена получают «холодную» воду с температурой 7…10°С, которая подается в охлаждающую рубашку инокулятора, в теплообменник 35 и систему охлаждения 14 сборника готовой культуры 13. Отработанная «холодная» вода из охлаждающей рубашки 2 инокулятора 1, теплообменника 35 и системы охлаждения 14 сборника готовой культуры 13 отводится в сборник «холодной» воды 26 с возвратом в холодоприемник 20 с помощью насоса 30 в режиме замкнутого цикла.

Полученная в конденсаторе 18 пароэжекторной холодильной машине «теплая» вода с температурой 37…47°С отводится по двум потокам: в теплообменник 36 для нагрева воздуха перед подачей его в распылительную сушилку 15, и в секцию нагрева 10 пленочного фотобиореактора 6 для поддержания в нем оптимальной температуры выращивания биомассы.

Отработанный воздух из распылительной сушилки подается в холодоприемник пароэжекторной холодильной машины для конденсации водяных паров и далее обратно в распылительную сушилку с образованием замкнутого цикла. Отработанная «теплая» вода после секции нагрева фотобиореактора вместе с отработанной «теплой» водой из теплообменника 36 направляется в сборник отработанной «теплой» воды с образованием замкнутого цикла. «Холодная» вода из холодоприемника пароэжекторной холодильной машины подается в теплообменник для охлаждения воздуха перед подачей его в секцию охлаждения пленочного фотобиореактора для компенсации теплоты, выделяемой лампой 8. Отработанная «холодная» вода из охлаждающей рубашки инокулятора вместе с отработанной «холодной» водой из системы охлаждения 14 сборника готовой культуры 13 и теплообменника 35 подается в сборник отработанной «холодной воды» 26 с образованием замкнутого цикла.

Образовавшаяся после эжектора 17 смесь паров хладагента и рабочего пара по линии *2.3* направляется в конденсатор 18. Процесс конденсации сопровождается выделением теплоты, при этом теплота конденсации в конденсаторе 18 используется для получения «теплой» воды посредством рекуперативного теплообмена между водой, подаваемой из сборника 27 в конденсатор 16, и конденсирующими парами смеси в конденсаторе 18.

Часть образовавшегося после конденсатора 18 водяного конденсата направляется через терморегулирующий вентиль 22 в испаритель 19 для пополнения в нем убыли воды, а другая избыточная часть конденсата выводится из замкнутого цикла пароэжекторной холодильной машины и вместе с отработанной водой после ферментера 6 подается в сборник отработанной «теплой» воды 27.

Заключение

Реализация предлагаемого способа производства биомассы фотоавтотрофных микроорганизмов на экспериментальном оборудовании в условиях Воронежского экспериментального завода позволила выявить следующие преимущества:

- увеличить выход готовой биомассы вследствие компенсации теплоты от источников света как в инокуляторе, так и в биореакторе;
- повысить надежность и безопасность биотехнологии, так как в качестве хладагента применяется вода;
- снизить энергозатраты на 5…10% благодаря включению пароэжекторной холодильной машины в тепловую схему получения порошкообразного препарата из биомассы фотоавтотрофных микроорганизмов,

- увеличить срок хранения целевого продукта, так как его получают в порошкообразном виде;

- повысить энергоэффективность и экологическую безопасность за счет рециркуляции теплоносителей в замкнутом термодинамическом цикле.

- обеспечить стабильное качество готового продукта в интервале стандартных значений за счет высокой надежности при эксплуатации пароэжекторной холодильной машины.

Работа выполнена в рамках реализации гранта Президента Российской Федерации МД-8104.2016.11.

Библиографический список

1. *Войнов Н.А., Жукова О.П., Курганский О.В., Вырина Е.Е.* // Массообмен в проточном биореакторе с рециркуляцией жидкости // Химия растительного сырья. 2014. № 3. С. 241-247.

2. Пат. № 2458980 РФ, МПК7 C 12 M 1/00, C 12 M 1/06, B 01 D3/32. Аппарат для культивирования автотрофных микроорганизмов [Текст] / А.А. Шевцов, А.В. Дранников, Н.Ю. Ситников, А.В. Пономарев, И.В. Мажулина (Россия); заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. ун-т. инж. технол. – № 2011126828; заявл. 29.06.2011; опубл. 20.08.2012; Бюл. № 23.

3. *Тертычная Т.Н.* Исследование биосинтеза и некоторых физико-химических свойств инулазы Aspergillus awamori BKMF-2250: автореферат дисс… канд. биол. наук. Воронеж: ВГУ, 1994. 24 с.

4. *Шевцов, А.А., Дранников А.В., Пономарев А.В., Ситников Н.*Ю. Алгоритм микропроцессорного управления параметрами культивирования автотрофных микроорганизмов // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 8. С. 33-35.

5. *Шевцов, А.А., Дранников А.В., Ситников Н.Ю., Пономарев А.В.* Мажулина И.В. Математическое обеспечение процесса культивирования микроводоросли *Spirulina platensis* в фотобиореакторе плёночного типа // Биотехнология. 2013. № 2. С. 87-94.

6. *Шевцов А.А., Дранников А.В., Шабунина Е.А.* Моделирование управляемого процесса массобмена при культивировании микроводорослей в фотобиореакторе пленочного типа // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 1. С. 89-93.

7. *Шевцов А.А., Котарев В.И., Мажулина И.В., Тертычная Т.Н.* Эксергетический анализ энергоэффективной биотехнологии порошкообразных ферментных препаратов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. № 1. С. 79-92.

ENERGY SAVING BIOTECHNOLOGY OF RECEIVING POWDER-LIKE PREPARATIONS FROM BIOMASS OF PHOTOAUTOTROPHIC MICROORGANISMS

A.A. SHEVTSOV[1], A.V. DRANNIKOV[1], T.N. TERTYCHNAYA[2], E.A. SHABUNINA[1], I.V. MAZHULINA[2]

([1]Voronezh state university of engineering technologies; [2]Voronezh state agrarian university named after Peter I)

Methodological approach was used to create the energy saving biotechnological systems, allowing carrying out the process of photosynthesis of autotrophic micro seaweed and plants biomass, to receive powder-like preparations on their basis.

The most important conceptual task was to use film evaporators with the involvement of heat pump technologies in heat mass exchange process while preparing energy carriers for the superficial cultivation of the light dependent microorganisms and spray drying of cultural liquids in direct receiving powder.

The application of effective energy saving heat pump technologies allows reducing energy costs for generation of electricity. Thus the basis of energy efficiency is using renewable energy sources to realize the biotechnology of receiving powder-like preparations from biomass of photoautotrophic microorganisms.

The executed studies of photoautotrophic biosynthesis of micro seaweed prepared conditions to realize the scientific approach to create biotechnology with the connection of the steam jet heat pump according to the closed thermodynamic scheme. The main advantage of using the steam jet heat pump is its energy efficiency, safety and high transformation index of low-potential heat energy: 3-5 kW of heat for about 1 kW of the spent electric power.

The production cycle of biomass of photoautotrophic microorganisms was stated with the specification of cultural liquid film evaporators on the surface of transparent tubes during continuous lighting. Rational ranges of changing the regime parameters of cultivation light dependent microorganisms are established in a photobioreactor with countercurrent movement of phases.

Rational parameters of spray drying are specified while receiving a powder-like preparation of dunaliyella micro seaweed.

Key words: *biotechnology, energy saving, micro seaweed, biomass, photobioreactor, spray dryer.*

References

1. *Voinov N.A., Zhukova O.P., Kurganskiy O.V., Vyrina E.E.* // Massobmen v protochnom bioreaktore s retsirkulyatsiey zhidkosti [Interchange of mass in plug flow bioreactor with liquid recirculation] // Plant raw material chemistry. 2014. Issue 3. Pp. 241-247.

2. Patent issue 2458980 RF, MPK7 C12 M 1/00, C12 M 1/06, V 01 D3/32. Apparat dlya kultivirovaniya avtotrofnyh mikroorganizmov [Device for cultivation of autotrophic microorganisms] / A.A. Shevtsov, A.V. Drannikov, N. Yu.Sitnikov, A.V. Ponomarev, I.V. Mazhulina (Russia); applicant for patentee Voronezh State University of engineering technologies. Issue 2011126828; applic.29.06.2011; publish.20.08.2012; Bull. Issue 23.

3. *Tertychnaya T.N.* Issledovanie biosinteza i nekotoryh fiziko-himicheskih svoystv inulazy Aspergillus awamori BKMF-2250: avtoreferat diss. …kand.biolog.nauk [Research of biosynthesis and some physicochemical properties of inulase Aspergillus awamori BKMF-2250: abstract of diss. …cand.biol.sci]. – Voronezh: VSU, 1994. 24 p.

4. *Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Ponomarev A.V., Sitnikov N.Yu.* Algoritm mikroprotsessornogo upravleniya parametrami kultivirovaniya avtotrofnyh mikroorganizmov [Algorithm of microprocessor control in cultivation parameters of autotrophic microorganisms] // Automatization and modern technologies. 2011. Issue 8. Pp. 33-35.

5. *Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Sitnikov N.Yu., Ponamarev A.V., Mazhulina I.V.* Matematicheskoe obespechenie protsessa kultivirovaniya mikrovodorosli *Spirulina platensis* v fotobioreaktore plenochnogo tipa [Mathematic management in cultivation process of micro-seaweed Spirulina platensis in film-type photobioreactor] // Biotechnology. 2013. Issue 2.Pp. 87-94.

6. *Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Shubina E.A.* Modelirovanie upravlyaemogo protsessa masobmena pri kultivirovanii mikrovodorosley v fotobioreaktore plenochnogo tipa [Modelling controlled process of mass interchange while cultivating micro seaweeds in film photobioreactor] // Izvestiya of institutions of higher education. Food industry. 2015. Issue 1.Pp. 89-93.

7. *Shevtsov A.A., Kotaev V.I., Mazhulina I.V., Tertychnaya T.N.* Eksergeticheskiy analiz energoeffektivnoy biotehnologii poroshkoobraznyh fermentnyh preparatov [Exergic analysis of power efficient biotechnology powder enzymatic preparations] // Izvestiya of Russian Stat Agricultural. 2015. Issue 1. Pp. 79-92.

Шевцов Александр Анатольевич – д.т.н., проф. кафедры технологий хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19; тел.: (920) 213-11-36; e-mail: shevalol@rambler.ru).

Дранников Алексей Викторович – д.т.н., проф. кафедры технологий хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий (394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19; тел.: (908) 130-62-25; e-mail: drannikov@list.ru

Тертычная Татьяна Николаевна – д.с.-х.н., проф. кафедры технологии переработки растениеводческой продукции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1; тел.: (4732) 53-87-97, (908) 139-51-73; e-mail: tertychnaya777@yandex.ru).

Шабунина Елена Александровна – аспирант кафедры технологий хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств Воронежского государственного университета инженерных технологий 394036, г. Воронеж, пр. Революции, 19; тел.: (910) 342-52-44; e-mail: e-shabunina@mail.ru

Мажулина Инна Вячеславовна – асс. кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1; тел.: (951) 870-98-35; e-mail: inna210590@yandex.ru).

Shevtsov Alexander Anatolyevich – the Doctor of Engineering, professor of the Department of Baking, Confectionery, Macaroni Technologies and Grain Processing Productions. Voronezh state university of engineering technologies. 394036, Voronezh, Revolyutsii Ave, 19; VGUIT, shevalol@rambler.ru

Drannikov Aleksey Victorovich – the Doctor of Engineering, professor of the Department of Baking, Confectionery, Macaroni Technologies and Grain Processing Productions.. Voronezh state university of engineering technologies. 394036, Voronezh, Revolyutsii Ave, 19, VGUIT, dran-nikov@list.ru

Tertychnaya Tatyana Nikolaevna – the doctor of agricultural sciences, professor of the Department of Baking, Confectionery, Macaroni Technologies and Grain Processing Productions. Voronezh state agricultural university named after Peter I. 394087, Voronezh, Michurin St., 1; tertychnaya777@yandex.ru

Shabunina Elena Alexandrovna – Ph.D. student of the Department of Baking, Confectionery, Macaroni Technologies and Grain Processing Productions. Voronezh state university of engineering technologies. 394036, Voronezh, Revolyutsii Ave., 19; VGUIT, e-shabunina@mail.ru

Mazhulina Inna Vyacheslavovna – assistant of the Department of Processes and Devices of Converting Industries, Voronezh state agricultural university named after Peter I. 394087, Voronezh, Michurin St., 1; inna210590@yandex.ru