

Биореактор с применением импеллерных мешалок для культивирования биомассы микроводорослей

Лариса И. Лыткина	¹	larissaig2410@rambler.ru
Евгения С. Шенцова	¹	evgeniya-shencova@yandex.ru
Дмитрий В. Коптев	²	dmitriykoptew@mail.ru
Николай Ю. Ситников	²	sit-work@yandex.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Воронежский экспериментальный комбикормовый завод, пр-т Труда, 93, г. Воронеж, 394026, Россия

Аннотация. Культивирование микроводорослей в последние годы набирает популярность в разных странах. В результате такого интенсивного развития производства был приобретён огромный опыт в конструировании различных типов биореакторов. Разработан биореактор для культивирования микроводорослей, имеющий цилиндрический корпус, разделенный горизонтальными перегородками на секции для ввода и вывода культуральной жидкости, и дополнительную секцию с внутренней зеркальной поверхностью, барботажное устройство и рамные мешалки, закрепленные на лопастях, жестко связанных с валом. Планетарное вращение рамных мешалок относительно вала создает дополнительную турбулизацию среды, обеспечивает выравнивание концентрации клеток биомассы, предотвращает появление застойных зон, преждевременное осаждение клеток культуры на дно аппарата и повышает продуктивность выращивания микроводорослей. В основной секции суспензия микроводоросли подвергается равномерному воздействию световой энергии посредством коаксиально установленной лампы накаливания дневного света и отражения света от внутренней зеркальной поверхности корпуса. В процессе освещения лампой накаливания выделяется теплота, которая компенсируется подачей охлаждающего воздуха. Главным отличием от других биореакторов является импеллерная мешалка, закрепленная на валу в нижней части корпуса, предотвращающая расслаивание выходящей тяжелой пульпы биомассы, обеспечивающая полноценную циркуляцию культуральной жидкости в нижней части аппарата как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях при минимальных механических затратах энергии. Данный аппарат позволяет создать дополнительную турбулизацию среды, обеспечить равномерную аэрацию, снижение расхода энергии на подачу газовой смеси в коллектор, предотвратить образование «застойных» зон в нижней части аппарата.

Ключевые слова: биореактор для культивирования микроводорослей; микроводоросли; барботажное устройство; импеллерная мешалка; рамная мешалка

The bioreactor with use of impeller mixers for cultivation of biomass of microalgas

Larisa I. Lytkina	¹	larissaig2410@rambler.ru
Evgenia S. Shentsova	¹	evgeniya-shencova@yandex.ru
Dmitriy V. Koptev	²	dmitriykoptew@mail.ru
Nikolay Yu. Sitnikov	²	sit-work@yandex.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Voronezh experimental formula-feed plant, Truda Ave, 93, Voronezh, 394026, Russia

Abstract. Cultivation of microalgas gains popularity in the different countries in recent years. As a result of such intensive development of production the extensive experience in construction of various types of bioreactors was gained. The bioreactor for cultivation of microalgas having the cylindrical housing divided by horizontal partitions into sections for input and output of cultural liquid and additional section with an internal specular surface, the bubble device and gate stirrers fixed on blades, the rigidly bound to shaft is developed. Planetary rotation of gate stirrers concerning a shaft creates additional turbulization of the environment, provides alignment of concentration of cells of biomass, prevents emergence of hold-up spots, a premature deposition of cages of culture on the bottom of the device and increases efficiency of cultivation of microalgas. In the main section suspension of a microalga is exposed to the uniform light energy by means of coaxially established filament lamp of a daylight and to reflection of light from an internal specular surface of a housing. In the course of irradiating the filament lamp distinguishes warmth which is compensated by supply of the cooling air the Main difference from other bioreactors the impeller mixer fixed to a shaft in the bottom of a housing, preventing stratifying of the biomass pulp leaving more heavy is obespechivashchy full circulation of cultural liquid in the bottom of the device as in the horizontal, and vertical planes, at minimum mechanical energy consumptions. This device allows to create additional turbulization of the environment, to provide the uniform aeration, decrease in a power consumption on supply of steam-and-gas mixture in a collector, to prevent formation of "stagnant" zones in the bottom of the device.

Keywords: microalga bioreactor; microalgas; bubble device; impeller mixer; gate mixer

Для цитирования

Лыткина Л.И., Шенцова Е.С., Коптев Д.В., Ситников Н.Ю. Биореактор с применением импеллерных мешалок для культивирования биомассы микроводорослей // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 32–35. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-32-35

For citation

Lytkina L.I., Shentsova E.S., Koptev D.V., Sitnikov N.Yu. The bioreactor with use of impeller mixers for cultivation of biomass of microalgas. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 32–35. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-32-35

Введение

Производство микроводорослей в последние годы набирает популярность в разных странах, поскольку они нашли применение в комбикормовом производстве в качестве компонента, являющегося источником натуральных растительных жиров, белков, углеводов и микроэлементов. На сегодняшний день одноклеточные светозависимые микроводоросли, такие как хлорелла, спирулина, дуналиелла, выращивают в биореакторах открытого и закрытого типа. Однако биореакторы открытого типа имеют определенные недостатки, такие как: огромные занимаемые площади, необходимость жаркого солнечного климата и невозможность получения чистой культуры [1–10].

Обсуждение

Разработана конструкция биореактора для культивирования фотоавтотрофных микроорганизмов с использованием импеллерной мешалки.

Биореактор (рисунок 1) состоит из корпуса с секциями для ввода культуральной жидкости, для освещения автотрофных микроорганизмов, вывода культуральной жидкости, разделенными горизонтальными перегородками. В горизонтальных перегородках установлены прозрачные цилиндрические трубки с пленкообразующими устройствами и прозрачная рециркуляционная труба, расположенная в секции вертикально по оси симметрии аппарата. Внутри прозрачных цилиндрических трубок установлена спираль из проволоки, расположенная по всей длине.

Для освещения прозрачных цилиндрических трубок и прозрачной рециркуляционной трубы в секции освещения имеется лампа накаливания. В секции вывода культуральной жидкости установлено барботажное устройство, выполненное в виде кольцевого коллектора по всему сечению аппарата, с патрубком подачи смеси углекислого газа и воздуха. Внутри прозрачной рециркуляционной трубы по всей высоте аппарата установлен вал в подшипниковом узле.

На валу внутри прозрачной рециркуляционной трубы закреплен роторный нагнетатель, который направляет культуральную жидкость из секции вывода культуральной жидкости через прозрачную рециркуляционную трубу в секцию её ввода. В зоне секции вывода культуральной жидкости установлены рамные мешалки и импеллерная, закрепленная на валу в нижней части корпуса. Крепление каждой рамной мешалки к лопасти обеспечивается через подшипниковый узел.

На корпусе аппарата расположены штуцера для ввода и вывода охлаждающего воздуха, для ввода и вывода культуральной жидкости, для вывода отработанной смеси углекислого газа с воздухом.

Биореактор для культивирования светозависимых микроводорослей работает следующим образом.

Суспензия автотрофного микроорганизма поступает в камеру через штуцер для ввода культуральной жидкости, проходит через кольцевой зазор пленкообразующих устройств и в виде жидкостной пленки стекает по внутренней поверхности прозрачных цилиндрических трубок. В процессе истечения по виткам винтовых спиралей жидкостная пленка в противотоке интенсивно взаимодействует со смесью углекислого газа и воздуха. В результате поступательно-вращательного движения культуральной жидкости на винтовой спирали удерживается большое количество культуральной жидкости на внутренней поверхности прозрачных цилиндрических трубок. Вращательное движение пленки жидкости образует центробежную силу, которая предотвращает срыв жидкости и способствует ее равномерному распределению.

Подача газовой смеси в аппарат осуществляется через патрубок барботажного устройства, обеспечивающего равномерное распределение потока газовой смеси в прозрачных цилиндрических трубках и дополнительное насыщение жидкости углекислым газом в секции.

Планетарное вращение рамных мешалок относительно вала создает дополнительную турбулизацию среды, обеспечивает выравнивание профиля концентраций клеток биомассы по сечению секции вывода культуральной жидкости, предотвращает появление застойных зон, преждевременное осаждение клеток культуры на дно аппарата и повышает продуктивность выращивания культуры фотоавтотрофных микроорганизмов.

В секции суспензия автотрофного микроорганизма подвергается равномерному воздействию световой энергии посредством коаксиально установленной лампы накаливания дневного света и отражения света от внутренней зеркальной поверхности корпуса.

Теплота, выделяемая лампой накаливания в процессе освещения, компенсируется за счет подачи охлаждающего воздуха в секцию через штуцер.

Суспензия, насыщенная углекислым газом, из секции освещения поступает в секцию для вывода культуральной жидкости, где дополнительно насыщается газовой смесью при помощи барботажного устройства, повышая суммарный коэффициент массообмена и тем самым интенсифицируя процесс культивирования.

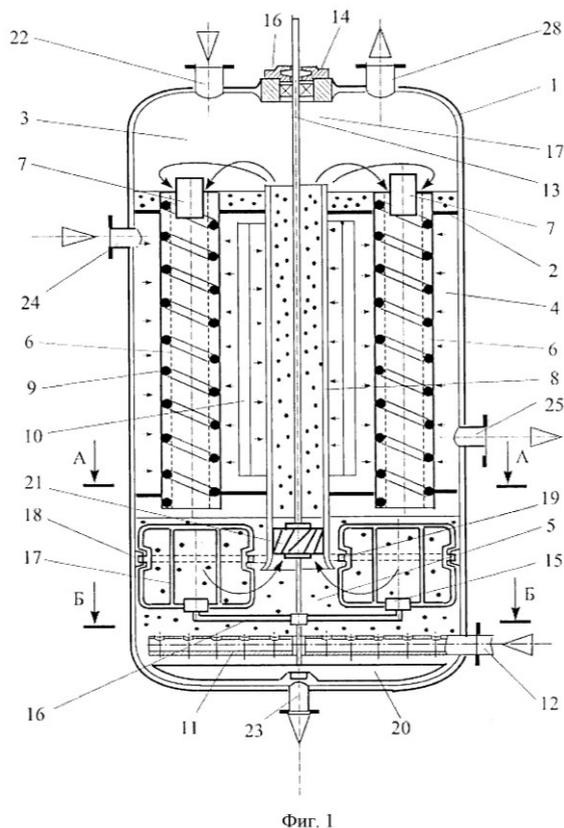


Рисунок 1. Биореактор для культивирования фотоавтотрофных микроорганизмов. Общий вид: 1 – корпус; 2 – горизонтальные перегородки; 3 – секция ввода; 4 – секция освещения; 5 – секция вывода; 6 – прозрачные цилиндрические трубки; 7 – пленкообразующие устройства; 8 – прозрачная рециркуляционная труба; 9 – винтовая спираль; 10 – лампа накаливания; 11 – барботажное устройство; 12 – патрубок подачи смеси углекислого газа и воздуха; 13 – вал; 14, 15 – подшипниковые узлы; 16 – рамные мешалки; 17 – лопасти; 18 – импеллерная мешалка; 19 – внешний зубчатый венец рамной мешалки; 20 – внутренний зубчатый венец на внутренней поверхности корпуса; 21 – роторный нагнетатель; 22 – штуцер ввода культуральной жидкости; 23 – штуцер вывода культуральной жидкости; 24 – штуцер ввода охлаждающего воздуха; 25 – штуцер вывода охлаждающего воздуха; 26 – штуцер для вывода газо-воздушной смеси

Figure 1. The bioreactor for cultivation of photoautotrophic microorganisms. General form: 1– housing; 2 – horizontal partitions; 3 – input section; 4 – irradiating section; 5 – conclusion section; 6 – transparent cylindrical tubes; 7 – film-forming devices; 8 – transparent recycling pipe; 9 -screw spiral; 10 – filament lamp; 11 – bubble device; 12 – branch pipe of supply of mix of a carbon dioxide and air; 13 – shaft; 14, 15 – bearing clusters; 16 – gate stirrers; 17 – blades; 18 – impeller mixer; 19 – external gear wreath of a gate stirrer; 20 – an internal gear wreath on the internal surface of a housing; 21 – rotor supercharger; 22 – union of input of cultural liquid; 23 – union of a conclusion of cultural liquid; 24 – the union of input of the cooling air; 25 – the union of a conclusion of the cooling air; 26 – the union for a steam-and-gas mixture conclusion

Импеллерная мешалка, прикрепленная к валу в нижней части корпуса, предотвращает расслаивание выходящей тяжелой пульпы биомассы, обеспечивает полноценную циркуляцию культуральной жидкости в нижней части аппарата как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, затрачивая минимум механической энергии.

Из секции вывода культуральной жидкости суспензию автотрофного микроорганизма выводят в качестве готовой биомассы через штуцер.

Биореактор для культивирования микроводорослей имеет следующие преимущества по сравнению с известными биореакторами:

- создает дополнительную турбулизацию среды при непрерывном перемешивании с помощью рамных мешалок;
- обеспечивает равномерную аэрацию и предотвращает осаждение клеток в секции вывода культуральной жидкости;
- обеспечивает снижение расхода энергии на подачу газовойоздушной смеси в коллектор;
- позволяет сбалансировать расход газовойоздушной смеси, обеспечивая культивирование микроводорослей в области допустимых технологических свойств получаемой биомассы;
- предотвращает образование «застойных» зон в нижней части аппарата благодаря использованию импеллерной мешалки.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пат. № 2650804, RU, С12М 1/02, 1/06, 1/14, 1/38. Аппарат для культивирования фотоавтотрофных микроорганизмов / Дранников А.В., Шевцов А.А., Коптев Д.В., Тертычная Т.Н., Мажулина И.В., Мишнев К.В. № 2017108749; Заявл. 16.03.2017; Оpubл. 17.04.2018, Бюлл. 11.
2 Шевцов А.А., Дранников А.В., Пономарев А.В., Ситников Н.Ю. Биореактор плёночного типа для суспензии фотоавтотрофных микроорганизмов // Биотехнологические системы в производства пищевого сырья и продуктов: инновационный потенциал и перспективы развития: материалы Международной научно-технической конференции. Воронеж: ВГУИТ, 2011. С. 204–206.

3 Yao Y., Ge Y.F., Thomasson J.A., Sui R.X. Algae optical density sensor for pond monitoring and production process control // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018. V. 11. № 1. P. 212–217.
4 Valencia R., Giffard-Mena I., Cruz-Lopez R., Garcia-Mendoza E. et al. Growth Profiles, Nutrient composition and Pigments Analysis of *Dunaliella salina* strain San Quintin // CICIMAR Oceanides. 2018. V. 33. №. 2. P. 1–11.
5 Yang Z., Cheng J., Yang W., Zhou J. et al. Developing a water-circulating column photobioreactor for microalgal growth with low energy consumption // Bioresource technology. 2016. V. 221. P. 492–497.

6 Bazdar E., Roshandel R., Yaghmaei S., Mardanpour M.M. The effect of different light intensities and light/dark regimes on the performance of photosynthetic microalgae microbial fuel cell // Bioresource technology. 2018. V. 261. P. 350–360.

7 Yan N., Fan C., Chen Y., Hu Z. The potential for microalgae as bioreactors to produce pharmaceuticals // International journal of molecular sciences. 2016. V. 17. № 6. P. 962.

8 Hosseini N.S. et al. Microalgae cultivation in a novel top-lit gas-lift open bioreactor // Bioresource technology. 2015. V. 192. P. 432–440.

9 Кузнецова И.В., Лыгина Л.В., Нетесова Г.А. Состояние воды в клетках хлореллы // Вестник ВГУИТ. 2015. № 4. С. 160–164.

10 Соколан Н.И., Куранова Л.К., Воронько Н.Г., Гроховский В.А. Исследование возможности получения альгината натрия из продукта переработки фукусовых водорослей // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 161–167. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-161-167

REFERENCES

1 Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Koptev D.V., Tertychnaya T.N., Mazhulina I.V., Mishinev K.V. Apparatus dlya kultivirovaniya fotoavtotrofnikh mikroorganizmov [The device for cultivation of photoautotrophic microorganisms]. Patent RF, no. 2650804, 2018.

2 Shevtsov A.A., Drannikov A.V., Ponomarev A.V., Sitnikov N.Yu. Bioreaktor of film type for suspension of photoautotrophic microorganisms. Biotekhnologicheskiye sistemy v proizvodstva pishchevogo syr'ya i produktov [Biotechnological systems in production of raw materials and products: innovative potential and prospects of development: materials of the International scientific and technical conference]. Voronezh, VSUET, 2011. pp 204–206. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лариса И. Лыткина д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, larissaig2410@rambler.ru

Евгения С. Шенцова д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, evgeniya-shencova@yandex.ru

Дмитрий В. Коптев магистр, Воронежский экспериментальный комбикормовый завод, пр-т Труда, 93, г. Воронеж, 394036, Россия, dmitriykoptev@mail.ru

Николай Ю. Ситников к.т.н., Воронежский экспериментальный комбикормовый завод, пр-т Труда, 93, г. Воронеж, 394036, Россия, sit-work@yandex.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Лариса И. Лыткина предложила методику проведения, провела обобщение, написала рукопись, консультация в ходе исследования

Евгения С. Шенцова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Дмитрий В. Коптев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Николай Ю. Ситников консультация в ходе исследования, первичная обработка данных

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 20.12.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 30.01.2019

3 Yao Y., Ge Y.F., Thomasson J.A., Sui R.X. Algae optical density sensor for pond monitoring and production process control. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018. vol. 11. no. 1. pp. 212–217.

4 Valencia R., Giffard-Mena I., Cruz-Lopez R., Garcia-Mendoza E. et al. Growth Profiles, Nutrient composition and Pigments Analysis of *Dunaliella salina* strain San Quintin. CICIMAR Oceanides. 2018. vol. 33. no. 2. pp. 1–11.

5 Yang Z., Cheng J., Yang W., Zhou J. et al. Developing a water-circulating column photobioreactor for microalgal growth with low energy consumption. Bioresource technology. 2016. vol. 221. pp. 492–497.

6 Bazdar E., Roshandel R., Yaghmaei S., Mardanpour M.M. The effect of different light intensities and light/dark regimes on the performance of photosynthetic microalgae microbial fuel cell. Bioresource technology. 2018. vol. 261. pp. 350–360.

7 Yan N., Fan C., Chen Y., Hu Z. The potential for microalgae as bioreactors to produce pharmaceuticals. International journal of molecular sciences. 2016. vol. 17. no. 6. pp. 962.

8 Hosseini N.S. et al. Microalgae cultivation in a novel top-lit gas-lift open bioreactor. Bioresource technology. 2015. vol. 192. pp. 432–440.

9 Kuznetsova I.V., Lygina L.V., Netesova G.A. Water condition in cells of chlorella. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2015. no. 4. pp. 160–164. (in Russian).

10 Sokolan N.I., Kuranova L.K., Voron N.G., Grokhovskii V.A. Investigation of the possibility of producing sodium alginate from the product of processing fucus algae. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 161–167. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-161-167 (in Russian).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Larisa I. Lytkina Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, larissaig2410@rambler.ru

Evgenia S. Shentsova Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, evgeniya-shencova@yandex.ru

Dmitriy V. Koptev master student, Voronezh experimental formula-feed plant, Truda Ave, 93, Voronezh, 394026, Russia, dmitriykoptev@mail.ru

Nikolay Yu. Sitnikov Cand. Sci. (Engin.), Voronezh experimental formula-feed plant, Truda Ave, 93, Voronezh, 394026, Russia, sit-work@yandex.ru

CONTRIBUTION

Larisa I. Lytkina proposed a scheme of the experiment, spent generalization, wrote the manuscript, consultation during the study

Evgenia S. Shentsova a review of the literature on the problem under study, conducted an experiment, performed calculations

Dmitriy V. Koptev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Nikolay Yu. Sitnikov consultation during the study, primary data processing

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 12.20.2018

ACCEPTED 1.30.2019