

Мещеряков Алексей Андреевич
ВУНЦ ВВС «ВВА»
Meshcheryakov Alexey Andreevich
MERC AF «AFA»

Татаренко Илья Романович
ВУНЦ ВВС «ВВА»
Tatarenko Ilya Romanovich
MERC AF «AFA»

Шевцов Александр Анатольевич,
д.т.н., профессор, ВУНЦ ВВС «ВВА»
Shevtsov Alexander Anatolyevich
MERC AF «AFA»

Сердюкова Наталья Алексеевна,
к.т.н., доцент, ВУНЦ ВВС «ВВА»
Serdyukova Natalya Alekseevna
MERC AF «AFA»

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ
АВТОТРОФНОГО БИОСИНТЕЗА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ
В ПЛЁНОЧНОМ БИОРЕАКТОРЕ
STUDY AND OPTIMIZATION OF PROCESSES OF AUTOTROPHIC
BIOSYNTHESIS OF MICROALGAE IN FILM BIOREACTOR**

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения эффективности автотрофного биосинтеза микроводорослей в фотобиореакторе плёночного типа и предложена новая конструкция с вращающимися прозрачными трубками, обеспечивающими центробежную стабилизацию жидкой плёнки. Проведены экспериментальные исследования культивирования хлореллы при варьировании технологических параметров. Установлена экстремальная зависимость роста биомассы от частоты вращения и определён оптимальный диапазон концентраций (1,5–4,0 г/дм³). Показано, что увеличение толщины плёнки при высоких скоростях снижает интенсивность массообмена.

Разработанное решение позволяет повысить эффективность фотосинтеза и увеличить выход биомассы при снижении энергозатрат

Abstract. The issues of increasing the efficiency of autotrophic biosynthesis of microalgae in a film-type photobioreactor are considered and a new design with rotating transparent tubes providing centrifugal stabilization of the liquid film is proposed. Experimental studies of chlorella cultivation were carried out with varying technological parameters. An extreme dependence of biomass growth on rotation frequency was established and the optimal concentration range (1.5-4.0 g/dm³) was determined. It has been shown that increasing the thickness of the film at high speeds reduces the intensity of mass transfer.

Developed solution makes it possible to increase efficiency of photosynthesis and increase biomass yield with reduction of energy consumption

Ключевые слова: Фотоавтотрофные микроорганизмы, микроводоросли, биотопливо, возобновляемые источники энергии, биореактор

Keywords: Photoautotrophic microorganisms, microalgae, biofuels, renewable energy, bioreactor

В последние десятилетия наблюдается рост интереса к возобновляемым источникам энергии, среди которых значительное место занимает биомасса микроводорослей, характеризующаяся высокой продуктивностью и способностью к накоплению энергетически



ценных соединений. Однако промышленное внедрение технологий их культивирования сдерживается высокой себестоимостью процессов, что обуславливает необходимость совершенствования как технологических режимов, так и конструкций биореакторов.

Эффективность автотрофного биосинтеза определяется условиями освещения, интенсивностью массообмена, гидродинамическим режимом и конструктивными особенностями аппаратов. Значительный вклад в развитие фотобиореакторов внесён в работах Дворецкого Д.С., Нагорнова С.А., Войнова Н.А., Бахарева В.В. [1-3].

Вместе с тем традиционные трубчатые фотобиореакторы характеризуются ограниченным массообменом вследствие ламинарного режима течения и неравномерностью освещения [1, 4, 5]. Барботажные аппараты отличаются простотой, однако имеют низкую удельную поверхность контакта фаз и ограниченную управляемость гидродинамики [3]. Плёночные биореакторы без вращающихся элементов подвержены нестабильности течения и срыву жидкой плёнки [5–7]. Использование винтовых спиралей позволяет интенсифицировать процессы, однако проблема устойчивости плёнки при изменении параметров остаётся нерешённой.

В связи с этим предложена конструкция плёночного биореактора (рисунок 1) [8] с вращающимися прозрачными цилиндрическими трубками, кинематически связанными с рециркуляционной системой. Внутренняя поверхность трубок снабжена винтовыми спиралью, формирующими закрученный поток жидкости. Возникающее центробежное воздействие обеспечивает дополнительное прижатие жидкой плёнки к поверхности и её стабилизацию. Освещение осуществляется с помощью ламп при участии отражающей поверхности корпуса, а подача газовой смеси реализуется через барботажное устройство.

Предложенное решение реализует управляемый режим формирования жидкой плёнки за счёт регулирования частоты вращения, что позволяет контролировать её толщину и интенсивность массообмена.

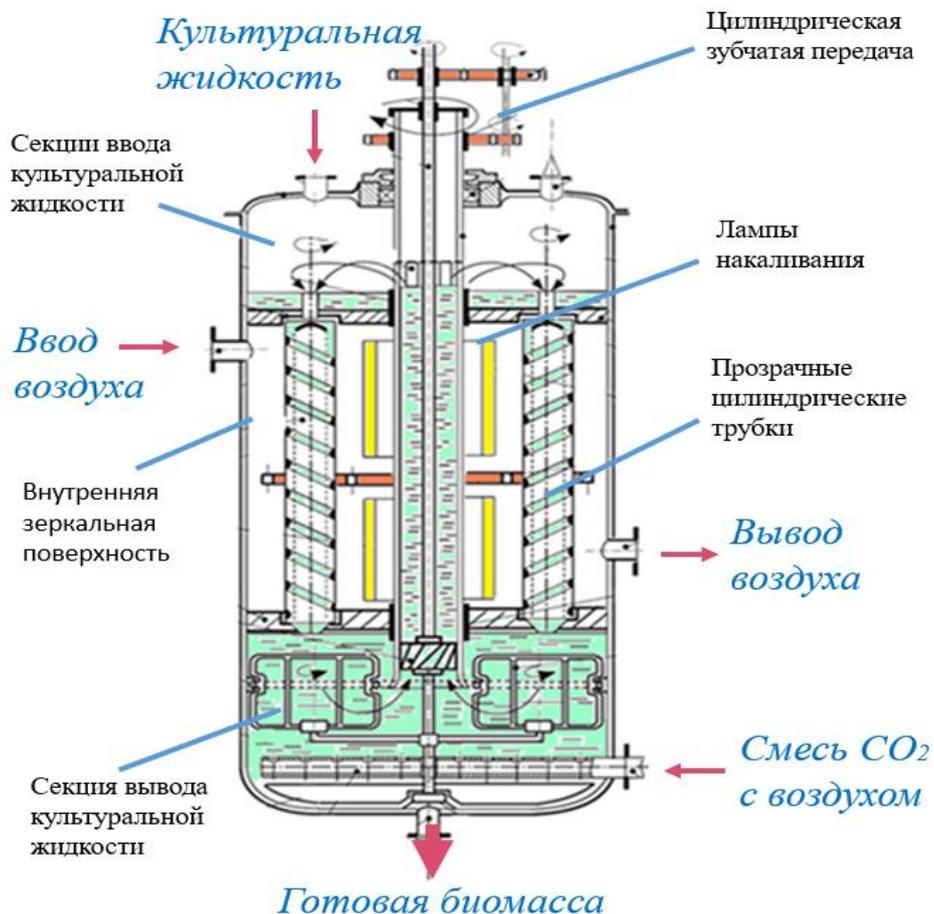


Рисунок 1. Схема биореактора для культивирования микроводорослей

Экспериментальные исследования проводились с использованием микроводоросли хлореллы. Варьировались концентрация углекислого газа, расход газовой смеси, освещённость, расход культуральной жидкости

и частота вращения трубок. Концентрация биомассы определялась фотометрическим методом, культивирование осуществлялось на среде Тамияя.

Установлено, что зависимость роста биомассы от частоты вращения имеет экстремальный характер. Определён оптимальный диапазон концентраций (1,5–4,0 г/дм³), при котором достигается максимальная скорость роста. Увеличение частоты вращения способствует интенсификации массообмена и повышению продуктивности, однако при её избыточных значениях наблюдается утолщение плёнки и снижение эффективности процессов (рисунок 2).

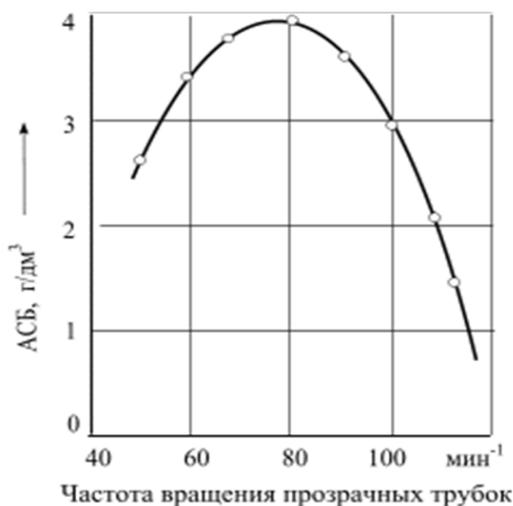


Рисунок 2 – Связь роста биомассы хлореллы от частоты вращения прозрачных трубок

Таким образом, установлена взаимосвязь между частотой вращения трубок, толщиной жидкой плёнки и скоростью роста биомассы. В отличие от известных аналогов, предложенный биореактор обеспечивает стабилизацию гидродинамического режима, повышение интенсивности массообмена и равномерное распределение освещения.

Разработанная конструкция позволяет повысить эффективность автотрофного биосинтеза микроводорослей, увеличить выход биомассы и снизить энергозатраты, что делает её перспективной для промышленного применения в технологиях получения биотоплива.

Список литературы:

1. Перспективные биотехнологии микроводорослей / Д. С. Дворецкий, М. С. Темнов, Я. В. Устинская, М. А. Еськова. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022 – 128 с.
2. Массообмен в биореакторе при диспергировании газа из полости вихря мешалки / Н. А. Войнов, А. С. Фролов, А. В. Богаткова [и др.] // Химия растительного сырья. – 2024. – № 1. – С. 362-371.
3. Бахарев В.В. Современные биореакторные системы в биотехнологии. – Казань: Изд-во КФУ, 2020. – 295 с.
4. https://refrat-oil.com/2024/09/07/biofuel/?utm_source=chatgpt.com
5. https://fastercapital.com/ru/content/Производство-биотоплива.-Будущее-производства-биотоплива-инновации-и-вызовы.html?utm_source=chatgpt.com Ugwu C.U., Aoyagi H., Uchiyama H. Photobioreactors for mass cultivation of algae // Bioresource Technology. – 2008. – Vol. 99. – P. 4021–4028.
6. Лыткина, Л.И. Биореактор с применением импеллерных мешалок для культивирования биомассы микроводорослей / Л.И. Лыткина [и др.] / Вестник ВГУИТ. 2019 – №1. –С. 32–35.



7. Бурмистрова, О.А. Равновесные формы жидкости на внутренней поверхности вращающегося цилиндра и их устойчивость / Вычислительная механика сплошных сред. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 5-14.

8. Биореактор для культивирования автотрофных микроорганизмов: пат 2839375 Рос. Федерация. № 2024107877 / Шевцов А.А., Сердюкова Н.А., Зотов Р.Л.; заявл. 25.03.2024; опубл. 30.04.2025, Бюл. № 16 – 6 с

