

Научная статья / Research Article

УДК 620.95: 504.7

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕПЛИЦ
ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ВОДОРОСЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЯ**¹М. П. Баранова, ²Ч. Ван, ¹А.Ф. Семенов, ¹М.В. Горелов¹Красноярский государственный аграрный университет, Россия, 660049,
Красноярск, пр. Мира, 90²Северо-восточный сельскохозяйственный университет, Китай, Харбин,
район Сянфан, улица Чанцзян, 600.

Аннотация. На основании комплексного анализа данных по применению специализированных теплиц для выращивания водорослей для получения биодизеля установлено, что для поддержания промышленного темпа роста микроводорослей в полностью закрытом светоизолированном ангаре (при диаметре труб 60 мм) требуется **около 5.0 – 5.5 кВт электрической мощности LED-светильников на каждый 1 кубический метр суспензии**. Чтобы не тратить лишние киловатты на обогрев воздуха, автоматика должна использовать строго комбинированный спектр светильников. Теоретический анализ характеристик технологического процесса и конструктивных особенностей теплиц для выращивания микроводорослей в регионах с холодным климатом показал, что кроме дефицита солнечной радиации зимой, теплицы сталкиваются еще и с такой проблемой как большие снеговые нагрузки, которые вызывают риск обрушения. Классическая очистка теплиц «изнутри» за счет избыточного отопления (растопливания) при текущих ценах на газ и электричество крайне невыгодно. Нужны комбинированные решения. Можно применять **пассивную защиту и активную импульсную и механическую уборку. Необходимо внедрять интеграцию и автоматизацию (умная теплица)**. Обе системы должны работать в единой связке через климатический компьютер.

Ключевые слова. Фотобиореактор, теплица, микроводоросли, снегоочистка теплиц.

**RATIONALE FOR USING SPECIALIZED GREENHOUSES FOR GROWING
ALGAE TO PRODUCE BIODIESEL**¹M.P. Baranova, ²Z. Wang, ¹A.F. Semenov, ¹M.V. Gorelov

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

Northeast Agricultural University, China, Harbin, Xiangfang District, 600
Changjiang Street.

Abstract. *Based on a comprehensive analysis of data on the use of specialized greenhouses for growing algae to obtain biodiesel, it was found that to maintain the industrial growth rate of microalgae in a completely closed light-insulated hangar (with a pipe diameter of 60 mm), about 5.0-5.5 kW of electric power is required LED lamps for every 1 cubic meter of suspension. In order not to spend extra kilowatts on air heating, automation should use a strictly combined range of lamps. A theoretical analysis of the characteristics of the technological process and the structural features of greenhouses for growing microalgae in regions with a cold climate showed that in addition to a shortage of solar radiation in winter, greenhouses also face such a problem as large snow loads that cause the risk of collapse. Classical cleaning of greenhouses "from the inside" due to excessive heating (melting) at current prices for gas and electricity is extremely unprofitable. Combined solutions are needed. Passive protection and active pulse and mechanical cleaning can be used. Integration and automation (smart greenhouse) must be implemented. Both systems must work in a single bundle through a climate computer.*

Keywords: *photobioreactor, greenhouse, microalgae, greenhouse snow removal.*

Введение. Энергетические микроводоросли с высоким содержанием жиров являются важным сырьем для производства биодизельного топлива [1-2]. К тому же, в этом случае появляется возможность очистки и утилизации органических сточных вод сельскохозяйственного происхождения [3]. Разработка систем освещения и уборки снега для теплиц, адаптированных к условиям холодных регионов с учетом низкого уровня освещенности и влияния зимнего снежного покрова на эффективность использования солнечной энергии является весьма актуальной задачей в настоящее время. Необходимо разработать новые конструкции и технологии солнечных теплиц для выращивания микроводорослей с использованием систем сбора, накопления и сохранения солнечной энергии, адаптированных к условиям холодных регионов [4].

Классические теплицы не подходят, потому что имеет место **низкая плотность культуры**. В открытых лотках внутри теплицы концентрация биомассы составляет всего 1-2 г/л. Чтобы получить 1 литр биодизеля, нужно переработать тонны воды. Окупать отопление и конструкцию теплицы при такой плотности невозможно. Существует также **проблема перегрева**: Микроводоросли (например, *Chlorella* или *Nannochloropsis*) имеют оптимум роста в районе +25-30 °С. Летом внутри теплицы температура воды быстро поднимается выше +40 °С, что приводит к гибели всей культуры (свариванию). Затраты на охлаждение теплицы уничтожают энергетический баланс [5]. **К тому же**, стекло и пленка задерживают часть ультрафиолетового и видимого спектра, необходимого для фотосинтеза. Для максимального накопления липидов (жиров) водорослям нужен прямой, контролируемый солнечный свет [6-8].

Целью данной работы был теоретический анализ характеристик технологического процесса и конструкционных особенностей теплиц для выращивания микроводорослей в регионах с холодным климатом.

В промышленном выращивании микроводорослей для биодизеля используются две основные технологические схемы трубчатых фотобиореакторов (ФБР): горизонтальная (змеевиковая) и вертикальная (заборная).

Главная задача любой схемы — обеспечить постоянное движение суспензии (воды с водорослями) со скоростью около 20–30 см/с, чтобы клетки не оседали, равномерно получали свет и не страдали от токсичного избытка кислорода [9].

1. Горизонтальная змеевиковая схема (Horizontal Tubular PBR). Это наиболее распространенная промышленная схема для больших открытых площадей. Прозрачные трубы (стекло или PMMA) укладываются параллельно друг другу на земле или на специальных светоотражающих подложках под небольшим углом для естественного слива.

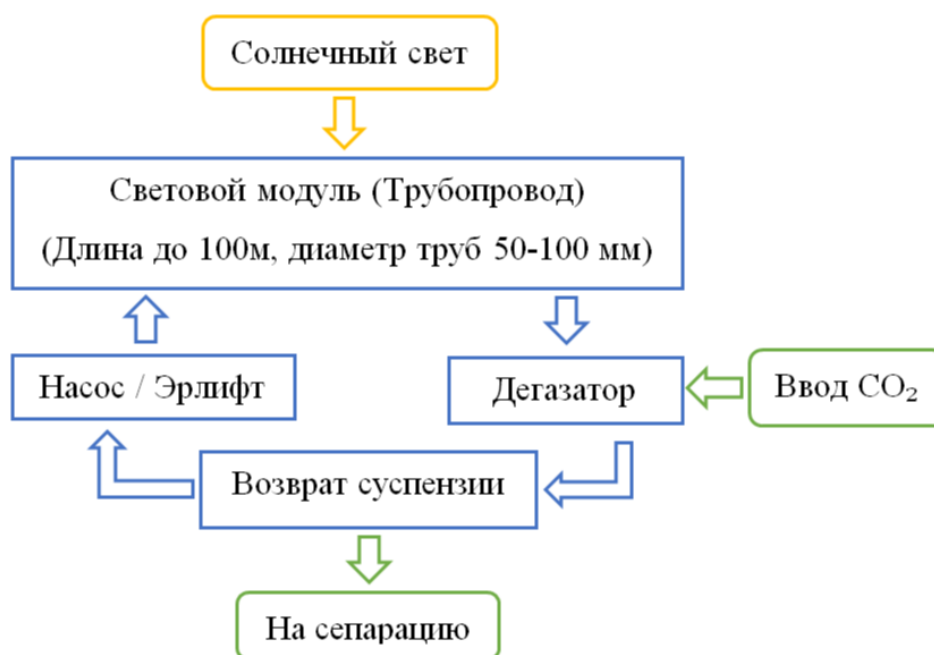


Рисунок 1. – Основные элементы схемы

Световой модуль представляет собой сетку из стеклянных труб. Диаметр строго ограничен (обычно 50–90 мм), иначе свет не проникнет вглубь густой суспензии водорослей. Длина одного контура может достигать 50–100 метров. Ключевой элемент - это узел дегазации (дегазационная колонна). В процессе фотосинтеза водоросли выделяют кислород (O_2). Если его концентрация превысит 300-400% от насыщения, водоросли погибнут от фотоокисления. В колонне избыток O_2 сбрасывается в атмосферу. Использование обычных центробежных насосов в системе циркуляции

запрещено — они разрушают (разрывают) клетки водорослей. Применяются либо эрлифтные системы (подача воздуха/ CO_2 снизу вверх, которая увлекает за собой воду), либо специальные низкооборотистые перистальтические насосы.

2. Вертикальная («заборная») схема (Vertical Fence PBR). В этой схеме трубы располагаются вертикально или под углом в виде непрерывного «забора». Она занимает значительно меньше земельной площади и лучше улавливает солнечные лучи в утренние и вечерние часы.

В этом случае особенности циркуляции заключаются в том, что суспензия поднимается вверх по одной группе вертикальных труб с помощью подачи сжатого воздуха (эрлифт). В верхней точке происходит сброс кислорода и насыщение углекислым газом. Вниз по соседним трубам жидкость опускается под действием силы тяжести [10].

Независимо от геометрии труб, общая технологическая схема производства сырья для биодизеля выглядит так:

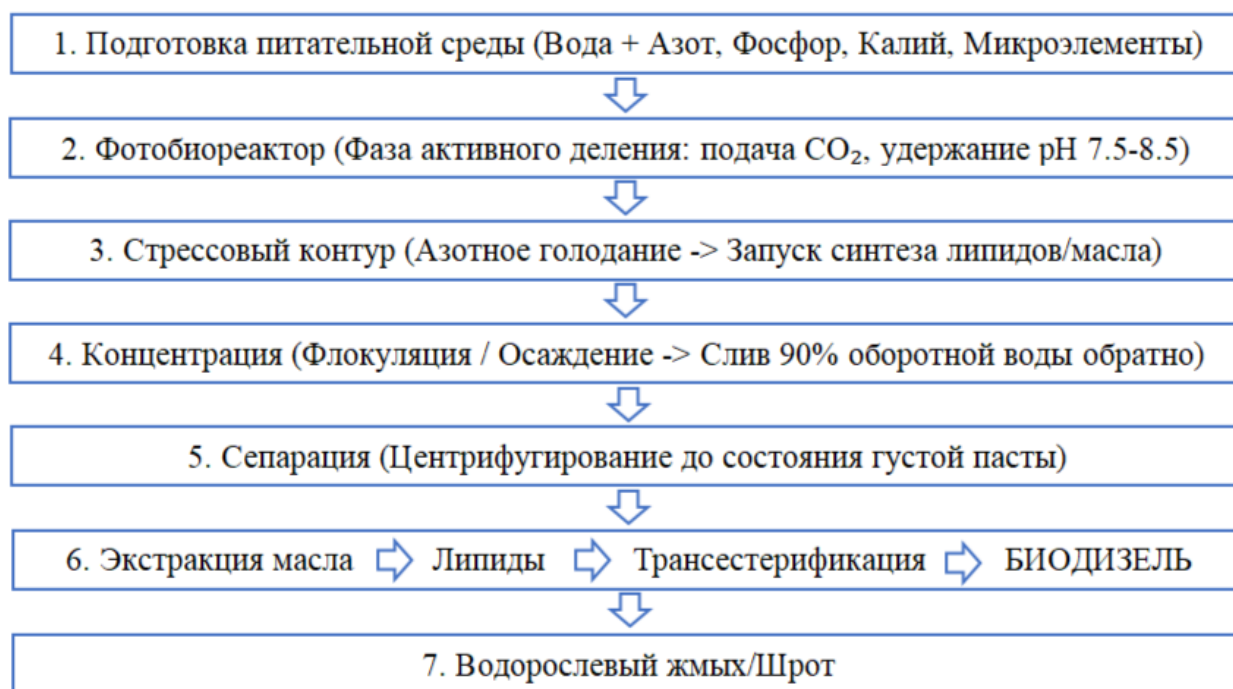


Рисунок 2. – Полный замкнутый технологический цикл

Система автоматизации контроля pH и CO_2 — это «сердце» любого фотобиореактора. В отличие от классической химии, здесь pH напрямую связан с питанием водорослей: когда они поглощают растворенный углекислый газ для фотосинтеза, кислотность среды падает (pH растет).

Поэтому **подача CO_2 в реактор регулируется строго по показаниям датчика pH.**

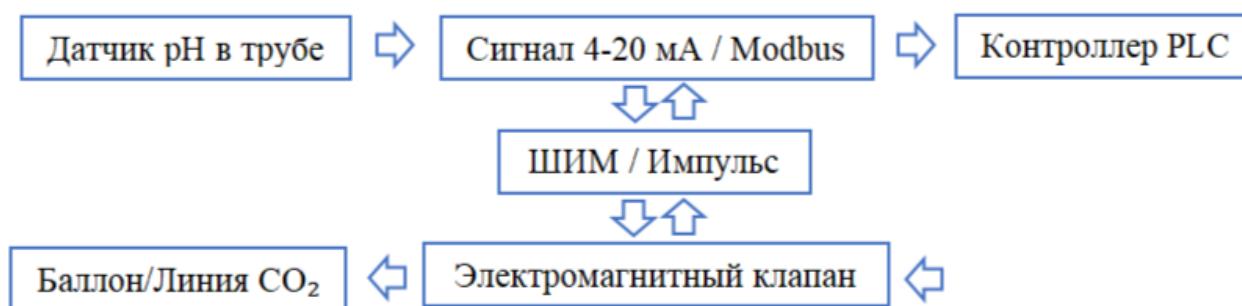


Рисунок 3. – Принцип работы автоматического контура
(Схема обратной связи)

Принцип работы автоматического контура заключается в том, что водоросли активно потребляют CO₂. Кислотность падает, pH растет (например, поднимается выше 8.2). Контроллер видит превышение уставки, открывает клапан и подает газ CO₂ в дегазатор или смеситель. Углекислый газ превращается в угольную кислоту (H₂CO₃), pH падает обратно до нормы (например до 7.5). Клапан закрывается [11].

Выращивание микроводорослей в холодных регионах (например, в Сибири, на Урале или в средней полосе России) сталкивается с двумя главными проблемами: **дефицитом солнечного света зимой** и **экстремально низкими температурами**.

В таких условиях концепция полностью открытых прудов или реакторов под открытым небом круглый год не работает. Технологическая схема радикально меняется в сторону **гибридных и закрытых систем**.

1. Концепция гибридного размещения (Интеграция с ТЭЦ). Единственный экономически оправданный способ строить трубчатые фотобиореакторы (ФБР) в холодном климате — это их размещение **внутри утепленных ангаров или облегченных теплиц, интегрированных с промышленными предприятиями**.

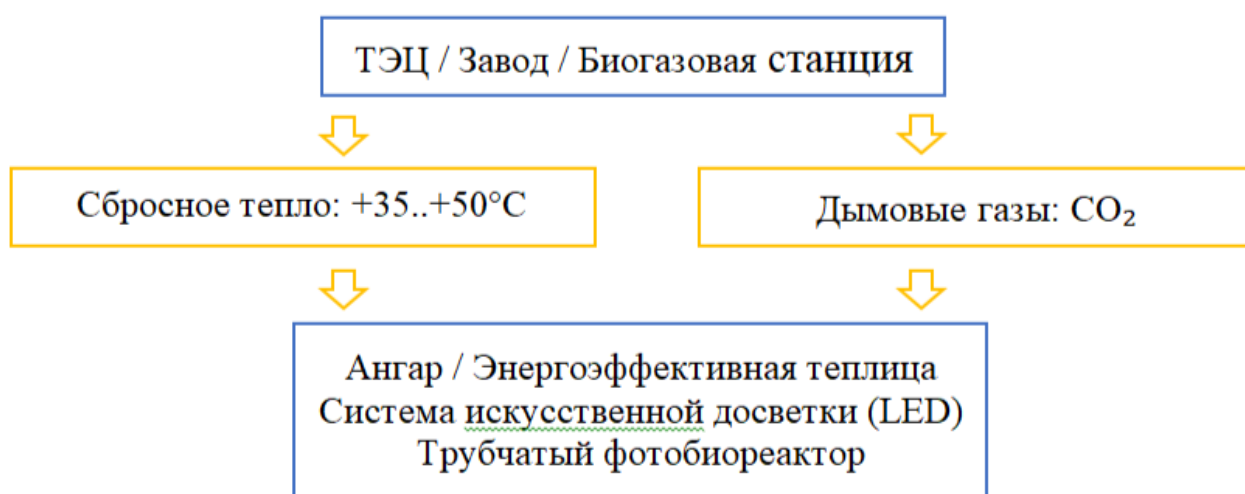


Рисунок 4. – Концепция гибридного размещения (Интеграция с ТЭЦ).

Используется сбросное тепло (технологический пар, горячая вода от охлаждения турбин ТЭЦ, рубашек охлаждения газопоршневых агрегатов). Это тепло бесплатно нагревает суспензию водорослей через теплообменники. Дымовые газы от сжигания природного газа на той же ТЭЦ проходят предварительную очистку от оксидов азота и серы и подаются напрямую в автоматику ФБР.

2. Особенности конструкции ФБР для холодов. Обычное стекло или монолитный поликарбонат для труб на улице зимой потрескаются от температурных деформаций, а вода замерзнет при первой же аварийной остановке насосов. Поэтому применяются следующие инженерные решения:

- **Применяются трубы из РММА (оргстекло) или боросиликатного стекла, которые** обладают минимальным коэффициентом температурного расширения.
- **Секционирование контуров.** Весь объем реактора разбивается на изолированные модули. При падении температуры в одном из них, автоматика может экстренно слить суспензию в подземные утепленные дренажные емкости, чтобы избежать замерзания системы.
- **Двойной контур терморегуляции.** Внутри накопительного бака (дегазатора) устанавливается титановый или нержавеющий змеевик. Зимой через него пускают горячую воду для нагрева, а коротким летом - холодную для охлаждения. Среда строго поддерживается в диапазоне **+22...+26 °C [12]**.

3. Автоматизация и световой режим (Светокультура). Зимой естественного света в северных широтах категорически не хватает (короткий световой день, низкий угол солнца, облачность). В этот период реактор переводят на **искусственное или комбинированное освещение**. Для этого применяют **LED-досветку**. Используются узкоспектральные светодиодные светильники. Водорослям для фотосинтеза нужен не весь белый свет, а конкретные пики: **синий (450 нм)** для деления клеток и **красный (660 нм)** для накопления массы и липидов.

Автоматизация по датчику PAR (фотосинтетически активной радиации) - контроллер непрерывно измеряет уровень уличного света. Как только естественное освещение падает ниже установленного порога (например, в сумерках или при снегопаде), плавно включается LED-досветка. Это позволяет поддерживать фотосинтез в режиме 16/8 или 18/6 (свет/ночь) круглый год [13].

Как альтернатива, возможен переход на гетеротрофное выращивание. Для холодных регионов производство биодизеля через фотосинтез часто проигрывает более продвинутой технологии - **гетеротрофному выращиванию в ферментерах (биореакторах закрытого типа)**.

Некоторые штаммы водорослей (например, определенные виды *Chlorella*) способны расти **в полной темноте**. Вместо CO₂ и солнечного света они питаются готовой органикой — глюкозой, ацетатом или гидролизатами. Реактор выглядит как стандартный чан из нержавеющей стали (как на

пивзаводе), который стоит в обычном отапливаемом цеху. Плотность биомассы достигает **100–150 г/л** (в 15–20 times выше, чем в трубчатых трубах на свету). Скорость накопления жиров колоссальная. В гетеротрофном режиме водоросли можно кормить углеводами, полученными в результате глубокой переработки отходов или растительного сырья [14].

Для поддержания промышленного темпа роста микроводорослей в полностью закрытом светоизолированном ангаре (при диаметре труб 60 мм) требуется **около 5.0 – 5.5 кВт электрической мощности LED-светильников на каждый 1 кубический метр суспензии**. Чтобы не тратить лишние киловатты на обогрев воздуха, автоматика должна использовать строго комбинированный спектр светильников:

- **60-70% — Красный свет (длина волны 660 нм):** Самый энергоэффективный спектр для хлорофилла. Обеспечивает основной фотосинтез, рост биомассы и запуск синтеза жирных кислот.
- **15-20% — Синий свет (длина волны 450 нм):** Необходим для поддержания деления клеток и предотвращения затухания культуры.
- **10-15% — Белый/Зеленый свет:** Нужен в небольшом количестве, так как он обладает большей проникающей способностью и способен «пробивать» более глубокие слои затененной суспензии внутри трубы, куда красный и синий уже не доходят.

Если светильники монтируются вплотную к трубам (в виде световых панелей-заборов), тепло от диодов можно частично утилизировать для подогрева самого реактора зимой [15].

Системы снегоуборки для теплиц в холодных регионах — это критически важный узел безопасности, особенно если внутри развернуто дорогостоящее оборудование фотобиореактора (ФБР) или LED-освещение. В промышленных масштабах ручная очистка исключена. Налипание снега не только блокирует остатки естественного света, но и создает колоссальную снеговую нагрузку (до 150–240 кг/м²), способную разрушить каркас.

Удаление снега с тепличных комплексов реализуется через **некоторые основные инженерные подходы, такие как активные гидравлические системы** (снеготаяние обратной водой). Это самый энергоэффективный метод для теплиц, интегрированных с ТЭЦ или промышленными предприятиями, где есть избыток низкопотенциального тепла, (**сплинкерная система**). Вдоль конька крыши теплицы прокладывается магистральный трубопровод с форсунками. При снегопаде автоматика подает в систему теплую воду (+25...+35 °С) из обратного контура охлаждения реактора или ТЭЦ. Вода распыляется по кровле, растапливает нижний слой снега, после чего вся снеговая шапка лавинообразно сползает вниз. Вода вместе с талым снегом собирается в дренажные лотки у основания теплицы, фильтруется и уходит обратно в систему подогрева.

Также широко применяются термические системы внутреннего подогрева кровли. Если внешняя сплинкерная система невозможна из-за

риска мгновенного обледенения форсунок при экстремальных температурах (ниже -25°C), применяется внутренний прогрев. Прямо под лотками и коньком кровли (внутри теплицы) прокладываются трубы водяного отопления («шатровый обогрев»). В момент снегопада автоматика резко повышает температуру теплоносителя в этих трубах до $+50...+60^{\circ}\text{C}$. Внутреннее тепло прогревает материал кровли (стекло или многокамерный поликарбонат). Снег на крыше начинает подтаивать снизу, образуется водяная пленка, и под собственной тяжестью при правильном угле наклона крыши (от 25° до 45°) снежная масса скатывается вниз.

Механизированные автоматические скребки (снегосбрасыватели) применяются на промышленных многопролетных (блочных) теплицах со стеклянной кровлей (типа Venlo). В ендовах (лотках между пролетами крыши) устанавливаются направляющие рельсы. По ним перемещается автоматическая каретка со специальными гибкими полимерными или резиновыми скребками, повторяющими форму крыши. По сигналу от датчика давления/веса на кровле или оптического датчика толщины снега, каретка запускается и механически счищает свежий пушистый снег в межкровельные лотки, откуда он удаляется по обогреваемым водостокам.

Особенности проектирования теплицы под ФБР в холодных широтах. При строительстве комплекса для водорослей в северных регионах защиту от снега закладывают еще на этапе геометрии здания:

- Вместо стандартных $15-20^{\circ}$ для южных регионов, угол кровли увеличивают до **$30-45^{\circ}$** , что способствует самопроизвольному сходу снега.

- **Отказ от сотового поликарбоната в пользу стекла или пленок со специальным покрытием.** Сотовый поликарбонат имеет шероховатую поверхность и микропоры, за которые снег «цепляется». Промышленное стекло или специальные ETFE-пленки со сверхгладким гидрофобным покрытием практически не позволяют снегу закрепиться на поверхности.

Зоны, куда сползает снег (между пролетами), должны быть оснащены мощными кабельными системами обогрева или водяными регистрами, иначе там образуются ледяные пробки, которые деформируют каркас [16].

Чтобы спроектировать систему термического снеготаяния (внутренний подогрев кровли или внешняя проливка теплой водой), необходимо рассчитать удельную тепловую мощность, требуемую для плавления падающего снега в режиме реального времени. В зависимости от климатической зоны и ТЗ на автоматику, тепловую мощность системы снеготаяния закладывают по следующим нормативам:

1. **$300-400\text{ Вт/м}^2$ - Эконом-режим (для средней полосы РФ)** рассчитан на плавление легкого снега при температурах до -5°C . При сильном буряне система не будет успевать плавить снег «на лету», но создаст водяную прослойку для сползания массы (если угол кровли более 30°).

2. **$500-700\text{ Вт/м}^2$ - Стандартный промышленный уровень, который** гарантирует полную очистку кровли в реальном времени при снего-

падах до 2-3 см/ч и морозах до -15 °С при умеренном ветре. **Рекомендуется для автоматизации ФБР.**

3. **800–1000 Вт/м² - Арктический/Сибирский режим** закладывается для регионов с экстремальными ветровыми и снеговыми нагрузками (штормовой ветер, бураны, морозы ниже -20 °С).

Поскольку для трубчатого ФБР тратится около **5 кВт электрической мощности LED на 1 м³ суспензии** (из которых около **2.5 кВт превращается в чистое тепло**), это внутреннее тепло от светильников и реактора частично закрывает потребности подкровельного обогрева. Автоматика должна направлять восходящие потоки горячего воздуха от LED-панелей с помощью дефлекторов прямо на внутреннюю поверхность кровли, активируя режим снеготаяния без привлечения внешнего тепла от котельной в умеренно холодные дни.

Таким образом, в ходе работы был проведен теоретический анализ характеристик технологического процесса и конструктивных особенностей теплиц для выращивания микроводорослей в регионах с холодным климатом.

Установлено, что в холодных регионах теплицы сталкиваются с двумя критическими проблемами, такими как большие снеговые нагрузки, которые вызывают риск обрушения, и дефицит солнечной радиации зимой. Классическая очистка теплиц «изнутри» за счет избыточного отопления (растапливания) при текущих ценах на газ и электричество крайне невыгодно. Нужны комбинированные решения. Можно применять **пассивную защиту и активную импульсную и механическую уборку. Необходимо внедрять интеграцию и автоматизацию** (умная теплица). Обе системы должны работать в единой связке через климатический компьютер.

Список литературы

1. Абдулагатов И.М. Микроводоросли и их технологические применения в энергетике и защите окружающей среды/ И.М. Абдулагатов, А.Б. Алхасов, Г.Д. Догеев, Н.Р. Тумалаев, Р.М. Алиев, Г.Б. Бадавов, А.М. Алиев, А.С. Салихова // Юг России: экология, развитие. - 2018.- Т.13. - С.166-183. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-166-183
2. Киселева С.В., Чернова Н.И. Использование микроводорослевых биотехнологий в решении проблем рационального природопользования/ С.В. Киселева, Н.И. Чернова// Инновационные технологии XXI века для рационального природопользования, экологии и устойчивого развития. М.: Ноосфера. - 2004. С. 205-217.
3. Систер В.Г., Иванникова Е.М., Чирков В.Г., Кожевников Ю.А. Приготовление композиционных котельных и моторных биотоплив из альгамассы// Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». — 2013. — No 1—2 (118). — с. 103—107.

4. Knothe G. "Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties/ Knothe G. // Energy & Fuels. – 2008. - vol. 22. - no. 2. P. 1358–1364. DOI:10.1021/ef700639e
5. Abomohra A.E.-F. Lipid and total fatty acid productivity in photoautotrophic freshwater microalgae: screening studies towards biodiesel production / A.E.-F. Abomohra, M. Wagner, M. El-Sheekh, D. Hanelt // J. Appl. Phycol. 2013. P. 931–936.
6. Феофилова Е.П. Биодизельное топливо: состав, получение, продуценты, современная биотехнология (обзор)/ Е.П. Феофилова, Я.Э. Сергеева, А.А. Ивашечкин // Прикладная биохимия и микробиология. – 2010. С. 405-415.
7. Day J.G. Overcoming biological constraints to enable the exploitation of microalgae for biofuels/ J.G. Day, S.P. Slocombe, M.S. Stanley // Bioresour. Technol. – 2012. – P. 245–251.
8. Demirbas A. Competitive liquid biofuels from biomass/A. Demirbas// Applied Energy. 2011. - С.17-28.
9. Иванникова Е.М. Альтернативные топлива для дизельных двигателей/ Е.М. Иванникова, В.Г. Систер, С.А. Нагорнов// М: 2014. - 185 с.
10. Систер В.Г. Использование адаптивных свойств микроводорослей при производстве фитомассы биотопливного назначения/В.Г. Систер, Е.М. Иванникова, С.П. Плотников, В.Г. Чирков, М.Ю. Росс// Экология и промышленность России. - 2012. - № 7. - с. 18-21.
11. Систер В.Г. Приготовление композиционных котельных и моторных биотоплив из альгамассы/ В.Г. Систер, Е.М. Иванникова, В.Г. Чирков, Ю.А. Кожевников// Альтернативная энергетика и экология. - 2013. - № 1. - с. 103-107.
12. Wu Q. Biofuels production from microalgae after heterotrophic growth/ Q. Wu, X. Miao// In: [http://www.- ec.europa.eu-research-energy-pdf-36_qingyu_wu_en.pdf](http://www.ec.europa.eu-research-energy-pdf-36_qingyu_wu_en.pdf).
13. Chisti Y. Biodiesel from Microalgae/ Y. Chisti // Biotechnology Advances. - 2007. - Vol. 25. - P. 294-306.
14. Чернова Н.И. Микроводоросли в качестве сырья для получения биотоплива/ Н.И. Чернова, С.В. Киселева, Т.П. Коробкова, С.И. Зайцев// Альтернативная энергетика и экология. - № 9 (65). – 2008.
15. Prokofiev A. Prospects for the use of leds in crop production/ A. Prokofiev, A. Turkin, A. Yakovlev// Semiconductor lighting engineering. - vol. 5. - P. 60-63. – 2016.
16. Черник Д. В. Исследование воздействия снеговой нагрузки на каркас теплицы для выращивания сеянцев с ЗКС в Solidworks/ Д. В. Черник, Е. В. Авдеева, А. К. Логачев, К. Н. Черник, Н. Л. Ровных// Хвойные бореальной зоны. XL. - № 4. – 2022.

References

1. Abdulagatov I.M. Microalgae and their technological applications in energy and environmental protection/I.M. Abdulagatov, A.B. Alkhasov, G.D. Dogeev, N.R. Tumalaev, R.M. Aliyev, G.B. Badavov, A.M. Aliyev, A.S. Salikhova//South of Russia: ecology, development. - 2018.- T.13. - P.166-183. DOI: 10.18470/1992-1098-2018-1-166-183
2. Kiseleva S.V., Chernova N.I. The use of microalgae biotechnologies in solving problems of environmental management/S.V. Kiseleva, N.I. Chernova//Innovative technologies of the XXI century for environmental management, ecology and sustainable development. M.: Noosphere. - 2004. P. 205-217.
3. Sister V.G., Ivannikova E.M., Chirkov V.G., Kozhevnikov Yu.A. Preparation of composite boiler houses and motor biofuels from algamass//International Scientific Journal "Alternative Energy and Ecology." - 2013. - № 1-2 (118). - P. 103-107.
4. Knothe G. "Designer" Biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties/ Knothe G. // Energy & Fuels. – 2008. - vol. 22. - no. 2. P. 1358–1364. DOI:10.1021/ef700639e
5. Abomohra A.E.-F. Lipid and total fatty acid productivity in photoautotrophic freshwater microalgae: screening studies towards biodiesel production / A.E.-F. Abomohra, M. Wagner, M. El-Sheekh, D. Hanelt //J. Appl. Phycol. 2013. P. 931–936.
6. Feofilova E.P. Biodiesel: composition, production, producers, modern biotechnology (review)/E.P. Feofilova, Ya.E. Sergeeva, A.A. Ivashechkin//Applied biochemistry and microbiology. – 2010. P. 405-415.
7. Day J.G. Overcoming biological constraints to enable the exploitation of microalgae for biofuels/ J.G. Day, S.P. Slocombe, M.S. Stanley // Bioresour. Technol. – 2012. – P. 245–251.
8. Demirbas A. Competitive liquid biofuels from biomass/A. Demirbas// Applied Energy. 2011. - P.17-28.
9. Ivannikova E.M. Alternative fuels for diesel engines/E.M. Ivannikova, V.G. Sister, S.A. Nagornov//M: 2014. - 185 p.
10. Sister V.G. The use of adaptive properties of microalgae in the production of biofuel phytomass/V.G. Sister, E.M. Ivannikova, S.P. Plotnikov, V.G. Chirkov, M.Yu. Ross//Ecology and industry of Russia. - 2012. - № 7. - P. 18-21.
11. Sister V.G. Preparation of composite boiler houses and motor biofuels from algamass/V.G. Sister, E.M. Ivannikova, V.G. Chirkov, Yu.A. Kozhevnikov//Alternative energy and ecology. - 2013. - № 1. - P. 103-107.
12. Wu Q. Biofuels production from microalgae after heterotrophic growth/ Q. Wu, X. Miao// In: [http://www.- ec.europa.eu-research-energy-pdf-36_qingyu_wu_en.pdf](http://www.ec.europa.eu-research-energy-pdf-36_qingyu_wu_en.pdf).
13. Chisti Y. Biodizel from Microalgae/ Y. Chisti // Biotechnology Advances. - 2007. - Vol. 25. - P. 294-306.

14. Chernova N.I. Microalgae as raw materials for biofuels/N.I. Chernova, S.V. Kiseleva, T.P. Korobkova, S.I. Zaitsev//Alternative energy and ecology. - № 9 (65). – 2008.
15. Prokofiev A. Prospects for the use of leds in crop production/ A. Prokofiev, A. Turkin, A. Yakovlev// Semiconductor lighting engineering. - vol. 5. - P. 60-63. – 2016.
16. Chernik D.V. Study of the impact of snow load on the frame of a greenhouse for growing seedlings with ZKS in Solidworks/D.V. Chernik, E.V. Avdeeva, A.K. Logachev, K. N. Chernik, N. L. Rovnykh//Coniferous boreal zone. XL. - № 4. – 2022.

Сведения об авторах:

Баранова Марина Петровна, доктор технических наук, заведующий кафедрой системозенергетики ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», mari-na60@mail.ru

Ван Чжун Цзян, доктор наук, профессор Северо-восточного сельскохозяйственного университета, Китай, Харбин

Семенов Александр Федорович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой теоретических основ электротехники ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ»

Горелов Михаил Владимирович, кандидат технических наук, начальник управления науки и инноваций ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ».

Information about the authors:

Baranova Marina Petrovna, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of System Energy Krasnoyarsk State Agrarian University

Wang Zhong Jiang, PhD, Professor, Northeastern Agricultural University, China, Harbin

Semenov Alexander Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Theoretical Foundations of Electrical Engineering

Gorelov Mikhail Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Science and Innovation of Krasnoyarsk State Agrarian University.