

# Система облучения для автоматизированной многоярусной фитоустановки типа «City Farm»

В. Г. ТЕРЕХОВ,

ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва  
E-mail: terekhov@vnisi.ru

## Аннотация

Современная светотехника готова вносить свой вклад в создание новых автоматизированных и, в ближайшем будущем, полностью компьютеризированных производств, основанных на использовании искусственного облучения для технологических целей.

Речь идёт о выращивании растений по технологии светокультуры в многоярусных фитоустановках со спектральными характеристиками и уровнем облучения, учитывающими вид растения и задачи выращивания. При этом основной вид растений для этих установок – салатно-зеленные культуры, потребление которых в России значительно отстаёт от рекомендуемых норм, особенно в холодное время года.

В статье рассмотрены основные характеристики облучателей со светодиодами и систем освещения на их основе для выращивания салатно-зеленных растений в автоматизированных многоярусных фитоустановках в условиях светокультуры. Примером подобных фитоустановок служит созданная во ВНИСИ им. С.И. Вавилова работающая в автоматическом режиме исследовательская установка, не имеющая аналогов в России.

Принципиальное отличие используемых в этой установке облучателей – применение в них мультиком-

понентных светодиодных композиций на основе белых и цветных элементов, позволяющих варьировать в широких пределах спектральные характеристики в области ФАР. Установка в целом отличается современным аппаратурным оформлением и наличием компьютерного управления.

**Ключевые слова:** многоуровневая фитоустановка, фитооблучатель со светодиодами, облучательная установка, компьютерное управление, ФАР, светокультура, салатно-зеленные растения.

## Введение

Появление и динамичное развитие СД техники явилось основой для создания принципиально новых исследовательских и производственных комплексов и установок автоматизированного многоярусного выращивания растений, получивших название «City Farm». По сути, речь идёт о новой прогрессивной технологии выращивания растений (в первую очередь, салатно-зеленных культур), применение которой решает важный вопрос рационального использования дорожающих площадей защищённого грунта, обеспечивает высокий уровень автоматизации технологического процесса и сокращает парк необходимых машин и механизмов по сравнению с типовой тепличной технологией. Применение

многоярусных фитоустановок (МФУ) возможно непосредственно в городских условиях, что сокращает логистические расходы. Поэтому МФУ весьма перспективны не только в мегаполисах нашей страны, но и в большом количестве малых городов и посёлков, позволяя снабжать население, особенно, в холодное время года свежей и богатой витаминами овощной продукцией<sup>1</sup>.

МФУ для выращивания растений по технологии светокультуры имеют существенные отличия от традиционных сооружений защищённого грунта (теплиц) и заслуживают приводимого ниже специального рассмотрения не только для анализа необходимых светотехнических решений для МФУ производственного типа, но и – обсуждения (с учётом первых полученных результатов) возможности реализации исследовательских программ фотобиологического направления.

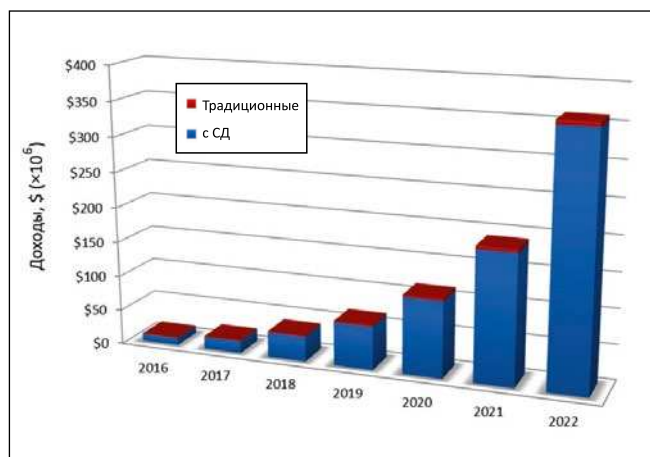
## Технологическое облучение в многоярусных фитоустановках

Фитооблучатели с СД (СДФО) для МФУ, состоящих из компактных модулей (ярусов), не имеют конкурентов. Люминесцентные ртутьсодержащие лампы не могут использоваться в фитоустановках по экологическим соображениям, а НЛВД неприменимы из-за высокой концентрации мощности и высокой температуры на колбе лампы.

Возможности создания любого спектра в области ФАР (400–700 нм) при высоком уровне параметров излучения, достаточно простое и эффективное регулирование спектра и уровня облучения привели к динамичному развитию фитонаправления в научных и производственных программах ведущих производителей СД – CREE (США), Opto Semiconductors (ФРГ), Lumileds (Нидерланды) и др. – и светотехнических фирм – Signify (Нидерланды), Valoya (Финляндия), МСК «БЛ ГРУПП» (Россия), Current-GE (США), IGROX (Италия) и др.

Характерно, что в глобальном прогнозе по темпам развития в мире СДФО для защищённого грунта спе-

Рис. 1. Развитие в мире систем вертикального многоярусного облучения типа «City Farm» со светодиодами и «традиционными» ИС



<sup>1</sup> Отметим, что в 1980–90-х гг. работы по созданию МФУ в России велись [1], но не были завершены, в основном, из-за отсутствия тогда излучателей уровня современных СД источников излучения.

Рис. 2. Примеры фитооблучателей со светодиодами:  
а – серия «WAVE» (18–105 Вт), фирма IGROX; б – серия «L» (14÷35 Вт), фирма Valoya

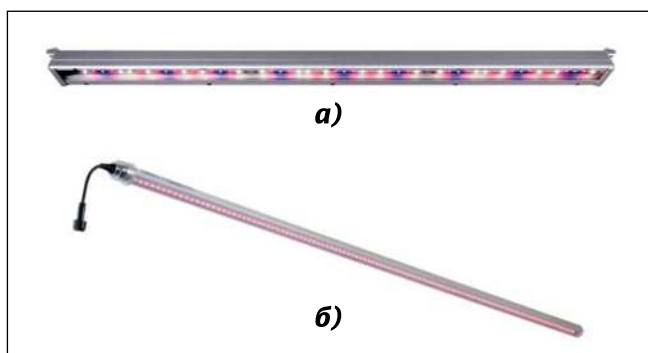


Рис. 3. Фитооблучатели со светодиодами серии «GALAD Арклайн Фито LED» мощностью 30 и 60 Вт, предназначенные для МФУ



циалисты *Strategies Unlimited* (США) считают, что объём облучения СДФО в «City Farm» к 2022 г. увеличится ~ в 7 раз (рис. 1) [2]. Данные оценки разделяются и в России: так, уже в 2017 г. вопросы облучения СДФО в МФУ нашли отражение в новых нормативных документах [3].

Характеристики СДФО разных фирм достаточно разнообразны; это связано в основном с тем, что требования к спектрам фитооблучения для конкретных видов растений находятся в стадии формирования; также далеки от унификации габариты модулей МФУ, не совсем ясны ещё и реальные данные о стабильности излучательных характеристик СДФО в процессе эксплуатации.

Тем не менее можно в общем считать, что основные параметры СДФО для МФУ следующие:

- электрическая мощность: 30–70 Вт;
- спектры излучения: бинарный (*RB* – красно-синий с разной долей каждого компонента) или приближённый к «белому» с разной долей «зелёного» компонента;
- фотосинтетическая фотонная эффективность (*EPPF*): 2,0–2,7 мкмоль/Дж (в зависимости от типа спектра), при этом её максимальное значение – для бинарного (*RB*) типа спектра;
- габаритная длина: ~ 120 см (что связано с наиболее распространённой шириной модуля МФУ);
- удельная электрическая мощность (на единицу длины): 0,25–

0,75 Вт/см (содержит косвенную информацию о температуре СД кристалла и его возможном ресурсе);

- степень защиты оболочки: *IP54*, *IP66*.

СДФО для МФУ предлагается в двух исполнениях (рис. 2):

- в виде протяжённого узкого облучателя с алюминиевым корпусом, поликарбонатным рассеивателем и пассивным охлаждением;
- в виде узкой трубки диаметром 26–28 мм из поликарбоната, как лампа прямой замены («ретрофит») ЛЛ.

В последнее время второй вариант получает большее распространение.

Во ВНИСИ им. С.И. Вавилова совместно с КЭТЗ в 2018 г. для МФУ разработана серия СДФО «GALAD Арклайн Фито LED» мощностью 30 и 60 Вт (рис. 3) в двух спектральных вариантах: с *EPPF* 2,1 мкмоль/Дж у варианта с «белым» излучением ( $T_{кц} = 3700$  К) и 2,5 мкмоль/Дж у варианта с *RB* спектром. Габариты СДФО: 1201×115×67 мм, степень защиты: *IP65*.

Следует отметить, что ОУ для МФУ имеют ряд характерных отличий от традиционных ОУ для теплиц, связанных, в частности, с тем, что расстояние от ФО до плоскости посадки не превышает 60 см, а в конце вегетации салатно-зеленных культур последние могут отстоять от ФО на 10–20 см. Поэтому весьма важно, чтобы температура поверхности ФО не превышала 80 °С, а тепловая составляющая баланса ФО не вызывала перегрев корневой зоны следующего (верхне-

го) яруса МФУ. Светораспределение СДФО должно обеспечивать равномерное распределение облучённости по технологической площади.

Уровни облучения и спектральные характеристики облучения в МФУ целесообразно выбирать на основе результатов фотобиологических исследований (в нашем случае на базе работ [4, 5]). Иногда, при существенных отличиях растений от исследованных, целесообразно проведение дополнительных экспериментов для выработки «светотехнического рецепта» эффективного выращивания конкретных растений<sup>2</sup>.

В общем энергорасходе МФУ доля технологического облучения, как и у теплиц со светокультурой, превышает 90 %, и потому фактор энергоэкономичности облучения может быть отнесён к числу важнейших.

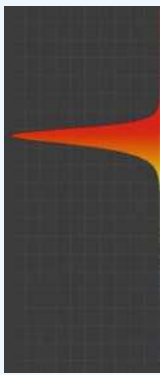
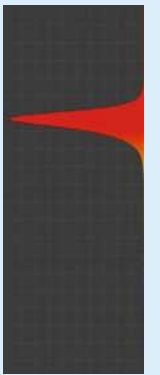

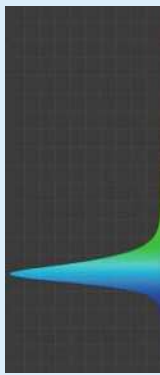


Исходным пунктом построения СДФО служит правильный выбор параметров используемых СД. В частности, возможно большей световой отдачей (лм/Вт) для квазимонохроматических СД, определяющей уровень *EPPFD* СД.

Комплексным показателем энергоэффективности ОУ для ФУ (в т.ч. МФУ) может [6] являться отношение  $EPPFD_{oy} = PPF D_{cp} / P_1$  (мкмоль/Дж), где  $PPFD_{cp}$  – средняя *PPFD* на исследуемой поверхности, мкмоль/(с·м<sup>2</sup>),  $P_1$  – удельная установленная электрическая мощность ОУ, Вт/м<sup>2</sup>.

Отдельного рассмотрения заслуживает вопрос присутствия в спектре ФО излучения в дальнем красном диапазоне (700–780 нм) – за пределами ФАР. Это излучение для фотосинтеза не используется и не оказывает на растение энергетического воздействия, но, возбуждая активную форму растительного пигмента фитохрома  $\Phi_{730}$ , регулирует фотоморфогенез растения. Влияние этого спектрального диапазона на рост и развитие растений в настоящее время исследуется, что делает желательным его наличие в спектре излучения ФО, предназначенных для исследовательских программ.

<sup>2</sup> При этом светотехнические параметры ФО и ОУ должны приводиться в фотосинтетических фотонных единицах в соответствии с ГОСТ Р 57671–2017 «Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия».

Номинальные параметры светодиодов, используемых в МФУ во ВНИСИ им. С.И. Вавилова\*

Номер канала	Тип СД (фирма CREE)	Доминантная длина волны, нм	Ток, мА	Напряжение, В	Интенсивность излучения	Спектр	
1	XPE BGR-L1-0000-00F01	620–630	350	2,2	1,1		
2	XPE BRD-L1-0000-00801	650–670	350	2,2	PPF, мкмоль/с		
3	XPE EPR-L1-0000-00C01	720–740	350	2,2			
4	XPE BBL-L1-0000-00Z01	465–485	350	3,2		35,2	
5	XPG DWT-U1-0000-00FE5	400–700 (4000 К)	350	3,2	$\Phi_{\lambda, \nu}$ ЛМ	120	
6	XPG DWT-B1-0000-00LE3	400–700 нм (5000 К)	350	3,2		150	

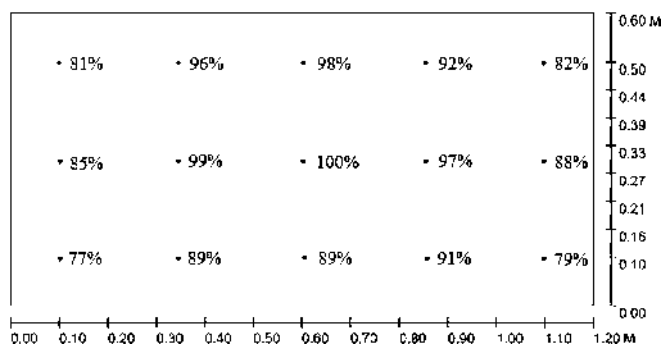
\* По данным производителя, на сайте [www.cree.com](http://www.cree.com).

## Блок-схема установки



Рис. 4. Блок-схема МФУ

Рис. 5. Уровень равномерности облучения технологической зоны



### ОУ для вертикальной МФУ во ВНИСИ

Во ВНИСИ им. С.И. Вавилова спроектирована, изготовлена и введена в действие автоматизированная вертикальная МФУ для проведения фотобиологических исследований с использованием новейших СД излучателей и методов регулирования режимов облучения растений. Другая задача исследовательской МФУ — способствовать разработке требований к основным светотехническим параметрам ФО и ОУ при светокультуре растений.

Как видно из рис. 4, МФУ содержит три светоизолированных блока (моду-

ля) с четырьмя расположенными в них друг над другом секциями площадью по  $0,72 \text{ м}^2 (1,2 \text{ м} \times 0,6 \text{ м})^3$ , в которых одновременно можно выращивать до 264 растений. В каждой секции установлено по два шестиканальных управляемых ФО на базе «GALAD Арклайн Фито-72», которые позволяют создавать практически неограниченное число комбинаций спектров излучения. Характеристики СД каждого канала приведены в таблице. Мощность каждого ФО может меняться от 12,5 до 50,0 Вт. Максимальная мощность всей ОУ — 1200 Вт, а соответствующая

<sup>3</sup> Общая технологическая площадь всей МФУ —  $8,64 \text{ м}^2$ .

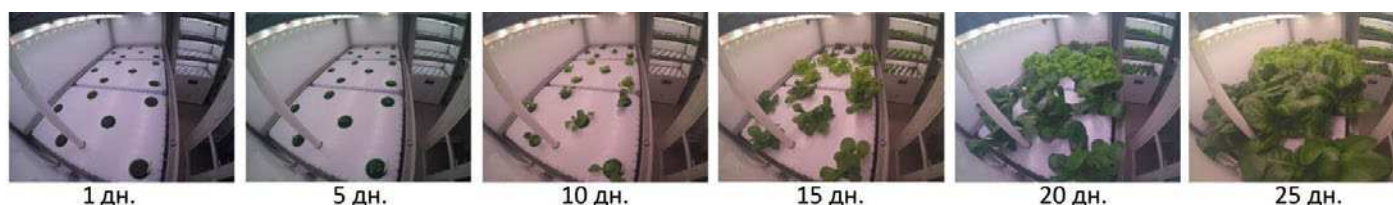


Рис. 6. Стадии вегетации салата

ей удельная электрическая мощность ОУ —  $140 \text{ Вт/м}^2$ . Максимальная  $PPFD$  на технологической площади ОУ — до  $320 \text{ мкмоль/(с} \cdot \text{м}^2)$ . Достигнута высокая равномерность облучения (рис. 5).

Измерения спектральных характеристик ОУ и уровня облучения производятся с помощью приборов фирм *Li-COR* (США) и *UPRtek* (Тайвань).

Перед проведением каждой вегетации выполняется юстировка ОУ регулированием спектральных и излучательных характеристик ФО по протоколу «DMX512» посредством специальной схемы управления, содержащей персональный компьютер с адаптером «USB — DMX 512 RDM» и программное обеспечение «RDM Controller 2.0». По результатам процедуры выбора спектра таблица значений уровней каналов вводится в контроллер управления «БРИЗ-DMX», работающий совместно с таймером реального времени «БРИЗ-РВ».

Возможности задания разных спектральных комбинаций в МФУ практически не ограничены. Методика и процедура их выбора апробированы нами в исследованиях эффективности разных диапазонов ФАР на традиционных установках в фитотроне [5].

МФУ работает полностью в автоматизированном режиме, с постоянным контролем за параметрами ключевых систем выращивания: климатической установки, растворного узла и ОУ. Дистанционная система мониторинга и управления через Интернет позволяет с помощью любого устройства (персонального компьютера, смартфона или планшета) через *web*-интерфейс в реальном времени отслеживать ход вегетации, и, при необходимости, менять параметры и режимы выращивания.

Посредством специальных миниатюрных видеокамер «*HIKVISION DS-2CD1031*» и «*GoPro Session5*», установленных в модулях, производится постоянный дистанционный контроль за состоянием и развитием растений. Имеется возможность фе-

Рис. 7. Выращивание салата в МФУ во ВНИСИ им. С.И. Вавилова



нологических наблюдений за растениями на разных стадиях вегетации (рис. 6); их результаты в дальнейшем могут учитываться в регулировании спектра излучения ОУ в процессе онтогенеза.

Резюмируя сказанное, отметим, что созданная автоматизированная установка для выращивания растений в контролируемых условиях создаёт принципиально новые возможности для проведения фотобиологических исследований: сокращает сроки экспериментов, расходы на их проведение и минимизирует долю рутинного обслуживания при непосредственном участии человека.

### Заключение

С апреля 2019 г. МФУ во ВНИСИ им. С.И. Вавилова работает в режиме тестовой эксплуатации с вариацией спектральных характеристик и уровня облучения. До настоящего времени прошло несколько вегетаций разных сортов листового салата и зеленых растений. Полученные результаты по продуктивности культур на

30–40 % выше, чем на салатных линиях промышленных теплиц с технологией светокультуры, что служит прямым подтверждением высокой эффективности принятых светотехнических решений и других параметров микроклимата в МФУ (рис. 7).

Исследования проводились при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Комплексные исследования в области светокультуры растений и создание высокоэффективных светодиодных фитооблучателей, обеспечивающих повышение энергоэффективности промышленных теплиц». Соглашение о предоставлении субсидии № 14.576.21.0099 от 26.09.2017 г. Идентификатор Соглашения: 0000000007417PD20002. Уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57617X0099.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихомиров А.А., Шарунич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. – Новосибирск: Изд. Сиб. отд. РАН, 2000. – 213 с.

2. Smallwood P. Tracking the Horticultural SSL Market and Technology // Horticultural Lighting Conference, – USA, – 2017, – Denver, Colorado.

3. Боос Г.В., Прикупец Л.Б., Розовский Е.И., Столяревская Р.И. Стандартизация светотехнических приборов и установок для теплиц // Светотехника. – 2017. – № 6. – С. 69–74.

4. Прикупец Л.Б., Боос Г.В., Терехов В.Г., Тараканов И.Г. Исследование влияния излучения в различных диапазонах области ФАР на продуктивность и биохимический состав биомассы салатно-зеленных культур // Светотехника. – 2018. – № 5. – С. 6–12.

5. Прикупец Л.Б., Боос Г.В., Терехов В.Г., Тараканов И.Г. Оптимизация светотехнических параметров при светокультуре салатно-зеленных растений с использованием светодиодных излучателей // Светотехника. – 2019. – № 4. – С. 6–13

6. Прикупец Л.Б. Технологическое освещение в агропромышленном комплексе России // Светотехника. – 2017. – № 6. – С. 6–14; Prikupets L.B. Technological Lighting for Agro-Industrial Installation in Russia // Light & Engineering. – 2018. – Vol. 26. – No. 4. – P. 7–17.



**Терехов Владислав Геннадьевич**, инженер. Окончил с отличием Московский государственный университет экономики, статистики и информатики по

специальности «Прикладная информатика в экономике». Руководитель департамента по продвижению МСК «БЛ Групп» и научный сотрудник ВНИСИ им. С.И. Вавилова. Член оргкомитета Всероссийской конференции «Нитриды галлия, индия и алюминия. Структуры и приборы» и эксперт по энергосберегающим технологиям в освещении Российского союза строителей

### Новым генеральным директором АПСС стала Ольга Грекова

6 сентября 2019 г. состоялось Общее собрание членов Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС), в ходе которого в связи с окончанием срока полномочий Правления АПСС, проведены выборы генерального директора и членов правления. Новым генеральным директором ассоциации стала Ольга Александровна Грекова.

Общее собрание определило вектор развития Ассоциации на ближайшие 2 года, направленный на развитие углубленного взаимодействия и сотрудничества со всеми заинтересованными сторонами, вовлечёнными в деятельность на светотехническом рынке. Особое внимание предложено уделить аспектам взаимодействия с общественными организациями, а также смежными профессиональными сообществами. В рамках указанного вектора развития выделены семь направлений работы

Ассоциации, конкретные планы по реализации которых в настоящее время прорабатываются Правлением Ассоциации.

Единодушным решением Общего собрания Е.В. Долину, бесценно занимавшему пост генерального директора АПСС с момента её основания, вынесена благодарность, а также подписано представление в Министерство промышленности и торговли РФ о награждении Почетной грамотой «За вклад в развитие отечественной светодиодной промышленности».



russia-led-ssl.ru  
09.09.2019