

Генрих Сарычев, д. т. н., академик АЭН РФ | svetosar@mail.ru |

Галина Гаврилкина, к. т. н. | gavrilkina@mail.ru | Андрей Туркин, к. ф.-м. н. | andrey@turkin.su | Юрий Репин

Светодиоды и интенсивная светокультура растений

Продолжающийся прогресс светодиодной техники с проявлением все более реальных возможностей использования ее преимуществ вызвал серию публикаций по проблемам интенсивной светокультуры [1–6]. Авторы настоящей публикации, ранее работавшие в этой сфере [7–8], считают, что по целому ряду объективных причин наступил некий пограничный момент, когда реальное внедрение светодиодной техники в тепличное хозяйство может дать ощутимые положительные результаты.

Самым распространенным и общепринятым способом оценки возможности внедрения новой техники является сравнение ее со «старым аналогом» по критерию окупаемости T_{OK} :

$$T_{OK} = \frac{C_{Н.П.} \times n_{Н.П.} - C_{С.П.} \times n_{С.П.}}{C_{С.П.} \times n_{С.П.} - C_{Н.П.} \times n_{Н.П.}} \times t \quad (1)$$

где: $C_{Н.П.}$ и $C_{С.П.}$ — стоимости нового и старого изделий; $P_{Н.П.}$ и $P_{С.П.}$ — мощности нового и старого изделий; $n_{Н.П.}$ и $n_{С.П.}$ — число изделий в осветительной установке (ОУ); $C_{эл}$ — стоимость электроэнергии; t — время работы ОУ в год.

Строго говоря, числитель должен учесть разницу в сроке службы старого и нового изделия, разные затраты на утилизацию отработавших облучателей и другие различия по обслуживанию ОУ. Здесь для упрощения указанные детали мы опускаем, оценивая новые изделия по минимуму преимуществ.

Наиболее просто (1) работает, когда в новой и «старой» установке одинаковое число изделий $n_{Н.П.} = n_{С.П.}$. Тогда:

$$T_{OK} = (C_{Н.П.} - C_{С.П.}) / C_{эл} t (P_{С.П.} - P_{Н.П.}) \quad (2)$$

В [1], где авторы начали новый, весьма своевременный диалог, была допущена одна неточность: только при условии равной производительности (продуктивности) установок $n_{Н.П.} = n_{С.П.}$.

Напомним, что метод оценки производительности тепличной ОУ при постоянной величине фотосинтетически активной радиации (ФАР) в видимой области спектра (400–700 нм) был предложен нами в 2001 г. [8].

Уточненные (см. далее) выражения по определению продуктивности N (кг/м²) работают во всем диапазоне экспериментов, проведенных в Красноярске [9]:

$$N_{ТОМАТЫ} = 0,12\epsilon_c + 0,08\epsilon_3 + 0,21\epsilon_k \quad (3)$$

$$N_{ОГУРЦЫ} = 0,05\epsilon_c + 0,38\epsilon_3 + 0,28\epsilon_k \quad (4)$$

где: ϵ_c — облученность в синей области спектра (400–500 нм); ϵ_3 — облученность в зеленой области спектра (500–600 нм); ϵ_k — облученность в красной области спектра (600–700 нм).

Эксперименты [9] проведены при облученности в области ФАР, равной 100 Вт/м², фотопериодический режим облучения — 14–16 ч в сутки с густотой посадки огурцов 10 растений/м², томатов —

6 растений/м². Остальные подробности агротехники можно найти в [9] и в весьма авторитетной библиографии в той же работе.

Следует заметить, что абсолютная величина урожайности N зависит от уровня общей агрокультуры; однако соотношения N в функции спектрального распределения $\epsilon_c/\epsilon_3/\epsilon_k$ будут оставаться близкими к (3)–(4) в одном хозяйстве.

Современные теплицы используют только разрядные лампы, причем большая их часть — натриевые лампы высокого давления (ДНАТ) [1, 2]. Эти лампы обладают высокой световой отдачей (до 140 лм/Вт) и большим сроком службы, приближающим их к светодиодам (СД).

Поэтому быть СД в теплицах или не быть — решается в сравнении СД с ДНАТ. В таблице 1 представлены некоторые технико-экономические характеристики указанных групп облучателей.

Из таблицы 1 следует, что самым дорогим излучением в СД является один «зеленый» ватт, имеющий минимальный поток в ФАР. В этой таблице мы не приводим данные по ресурсам «конкурентов», а также затраты на утилизацию ламп и электронных компонентов обоих типов облучателей, так как приемлемые сроки окупаемости новых предложений должны укладываться в сроки <5 лет (т. е. заведомо ниже ресурса конкурентов).

Заметим, что оценки по стоимости облучателей с ДНАТ не вызывают сомнения,

Таблица 1. Техничко-экономические характеристики некоторых групп облучателей

Тип облучателя	Параметры	Потребляемая мощность P, Вт	Поток в ФАР F, Вт	Соотношение потоков F _c /F ₃ /F _k , Вт	Цена, тыс. руб.	Изготовитель/Поставщик
Тепличные облучатели с ДНАТ серии ЖСП (с лампой)						
ДНАТ 250		250	79,1	8,5/48/22,6	2–3	ООО «Рефлекс»
ДНАТ 400		400	136,7	14,7/83/39	3–4	
ДНАТ 600		600	190	20,5/115/54,5	4–5	
Светодиоды						
$\lambda = 455\text{--}465$ нм		1	0,45	0,45/-/-	0,154	«Прософт»
$\lambda = 520\text{--}525$ нм			0,12	-/0,12/-	0,132	
$\lambda = 625\text{--}630$ нм			0,50	-/-/0,50	0,158	

Таблица 2. Параметры комбинированных облучателей

Тип изделия	Параметры	Потребляемая мощность, Вт	Соотношение потоков $F_c/F_3/F_k$, Вт	Стоимость, руб.	Область применения
Комбинированный облучатель на базе ДНаТ 250		300	8,5/48/76	11 000	Теплицы
Комбинированный облучатель на базе ДНаТ 400		473	14,7/83/73	14 000	

Таблица 3. Параметры и цена комбинированных светильников

Тип ОП	Параметры	Потребляемая мощность ОП Р, Вт	Световой поток Ф, лм	Цветовая температура $T_{цв}$, К	Соотношение цен комбинированных ОП/ОП с СД, руб.	Область применения
Светильник на базе ДНаТ 70		110	6 800	4000	5 500/23 700	Освещение сельтебных территорий
Светильник на базе ДНаТ 250		350	26 300		20 550/73 050	Уличное освещение
Светильник на базе ДНаТ 400		600	47 600		37 000/124 600	Освещение площадей, больших территорий

они проверены и рынком, и практикой эксплуатации; стоимость СД взята из практики закупки мелких партий чипов, смонтированных в виде модуля на различных структурах (шестигранник, «звездочка» и др.), а также анализом стоимости СД-светильников различных фирм («Галад», «Световые технологии» и др.). Вся последняя выставка «Интерсвет» (ноябрь 2013 г.) — сплошные СД; хотя очевидно, что в любой комбинации в светильнике с СД 1 Вт подведенной электрической мощности стоит сейчас 150 руб. и выше, а 1 Вт электрической мощности в светильнике аналогичного назначения с разрядной лампой — 10–15 руб.

Даже весьма оптимистичные построения СД-аналогов облучателей на ДНаТ (снижение зеленой составляющей излучения, сильная прибавка красной компоненты ФАР, приближение урожайности конкурентов) не оставляет сейчас никаких шансов СД-облучателям. СД стоят дорого, и срок окупаемости при их применении не может быть менее 7–9 лет. Гигантская разница в стоимости сравниваемых облучателей сейчас может быть скомпенсирована созданием комбинированных облучателей [4] либо использованием дополнительного светодиодного облучения.

В качестве примера приведем логику создания комбинированного облучателя, который должен заменить облучатель на базе ДНаТ 400 в теплице по выращиванию томатов.

Комбинированный облучатель можно строить и на МГЛ и на ДНаТ. Для начала выбираем ДНаТ 250.

По (3) $N_{\text{ТОМАТЫ}} = 9,6 \text{ кг/м}^2$ для облучателя с ДНаТ 250. Дефицит по сравнению с ДНаТ 400 составляет $5,8 \text{ кг/м}^2$. Этот дефицит может быть скомпенсирован добавкой красной составляющей излучения в 27 Вт лучистой энергии. Это означает, что к мощности 250 Вт (ДНаТ 250) нужно добавить 53–55 Вт мощности с помощью светодиодов (таблица 1).

Таким образом, комбинированный облучатель должен быть мощностью около 300 Вт, иметь производительность $15,4 \text{ кг/м}^2$ и стоимость порядка 11 000 руб. (стоимость облучателя с ДНаТ 250 + стоимость СД-добавки).

Воспользовавшись (2) и приняв $t = 5475 \text{ ч}$ и $Ц_{\text{эл}} = 3,3 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$, получаем $T_{\text{ОК}} = 4,4 \text{ года}$.

Некоторые характеристики комбинированных светильников (облучателей) приведены в таблице 2.

Нам представляется, что при массовом внедрении таких облучателей использование многочиповых модулей (например, линейчатых) может серьезно снизить стоимость СД-части облучателя, а $T_{\text{ОК}}$ приблизить к одному-двум годам. Это, на наш взгляд, не только сигнал к попыткам серьезного сравнительного фотобиологического эксперимента, но и к более общим подходам к внедрению СД-технологий.

В таблице 3 приводятся параметры комбинированных светильников с существенно более качественными цветовыми характеристиками и более низкими ценами, чем светильники с СД.

Таким образом, сложившаяся «классическая» система сравнения старых (как правило, разрядных) и нарождающихся технологий должна быть дополнена: оба направления находятся на путях сраживания и «помощи» друг другу в этот еще очень длительный переходный период.

Литература

1. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Применение светодиодных светиль-

ников для освещения теплиц: реальность и перспективы // СТА. 2010. № 2.

2. Прикупец Л. Б., Емелин А. А. Использование облучателей на основе светодиодов для светокультуры салата: экономический аспект // Теплицы России. 2013. № 2.

3. Пат. на изобретение № 2468571 (РФ) Светодиодный облучатель для растениеводства / Г. С. Сарычев, В. В. Сысун // Бюл. 01.08.2011.

4. Решение о выдаче пат. на изобретение № 2012126133 J07 (040362) (РФ) Комбинированный осветитель / Ю. В. Репин, Г. С. Сарычев, В. В. Сысун // Бюл. 25.06.2012.

5. Пиньо П., Йокинен К., Халонен Л. Освещение теплиц — настоящее и будущие задачи // Lighting Res. Technol. 2012. № 44.

6. G. D. Massa, Hyeon-Hye Kim, R. M. Wheeler, C. A. Mitchel. Plant Productivity in Response to LED Lighting // Hort Science. 2008. Vol. 43(7).

7. Сарычев Г. С. Светотехническое оборудование для теплиц // Теплицы России. 1999. № 2.

8. Сарычев Г. С. Продуктивность ценозов огурцов и томатов в функции спектральных характеристик ОСУ // Светотехника. 2001. № 2.

9. Тихомиров А. А., Лисовский Г. М., Сидько Ф. Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск. «Наука». Сибирское отделение. 1991.