
ООО «ЭНОВА Лайт» проводит разработки и серийное производство светодиодных систем ассимиляционного освещения с 2012 г. Благодаря высокому профессиональному уровню разработчиков и большому накопленному опыту последние серийно выпускаемые модели ООО «ЭНОВА Лайт» имеют рекордные для отрасли характеристики и параметры. По этой причине в статье будут иметь место неоднократные ссылки на эту продукцию в качестве типового примера лучших образцов светодиодного ассимиляционного освещения.

АССИМИЛЯЦИОННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ В ТЕПЛИЦАХ. АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ.

АКТУАЛЬНОСТЬ АССИМИЛЯЦИОННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Современные промышленные теплицы это дорогостоящие высокотехнологичные инфраструктурные объекты. Для достижения рентабельности необходимо обеспечивать их круглогодичное функционирование и максимальную отдачу их площадей. Это обеспечивается во многом за счет применения ассимиляционного освещения. При круглогодичном цикле выращивания урожайность может быть повышена в разы.

Роль и порядок применения ассимиляционного освещения от южных широт до северных различны. Но положительный эффект от его применения имеет место быть на всех широтах Российской Федерации.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС

Согласно действующим нормам в теплицах рекомендуется обеспечивать следующий световой режим:

- При разработке культурооборотов следует учитывать суточное количество естественной фотосинтетической активной радиации (ФАР), проходящее в теплицу. Если суточное количество ФАР, проходящее в теплицу, составляет менее 0,9 минимального физиологического критерия, рекомендуется предусматривать дополнительное искусственное облучение. Тип и мощность установок систем искусственного облучения выбирается в зависимости от принятой технологии выращивания овощей и рассады и климатических особенностей района строительства.
- В рассадных отделениях (теплицах) овощных теплиц минимальная суммарная (естественная + искусственная) облученность должна быть не менее $25 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ФАР. Суточное количество ФАР - не менее $250 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.
- В овощных теплицах облученность должна быть не менее $70,0 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ФАР, суточное количество ФАР для овощных культур в период плодоношения составляет не менее $900 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.
- При выращивании растений в условиях искусственного облучения для сеянцев и рассады рекомендуется принимать облученность $80 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ФАР, для овощных культур -

80-160 Вт/м² ФАР. Искусственная облученность в теплицах уточняется заданием на проектирование с учетом принятой технологии производства и световых особенностей района строительства.

Во времена СССР было принято, что минимум суточного количества ФАР, необходимый для нормального роста и развития огурца составляет 270 Вт*ч/м², а помидора 440 Вт*ч/м².

Согласно многим источникам оптимальной интенсивностью ФАР, при которой наблюдается максимальное накопление биомассы в единицу времени, фотосинтез и рост хорошо сбалансированы считается **2.4÷3.52 кВт*ч/м²** при фотопериоде 16 часов (150-220 Вт/м²). В различных источниках помимо кВт*ч/м² можно встретить другую единицу измерения суммарной радиации – МДж/м² (1 кВт*ч = 3.6 МДж).

На разных широтах условия естественного облучения существенно разнятся. Посмотрите на данные для Краснодара, Улан-Удэ и Нарьян-Мара, приведенные в таблицах 1÷3. Обратите внимание на показатели суточной дозы ФАР и мощности облучения в зимние и летние месяцы.

Таблица 1. Суммарная солнечная радиация в области ФАР в течении года помесячно (кВтч/м²/день) для Краснодара (45⁰ ш., 38⁰ д.).

	Рфар. сум. кВтч/м ² /день	Средняя продолжительность светового дня, Т _{св} (час:мин)	Средняя мощность, Р _{ср} (Вт/м ²)
ЯНВАРЬ	0.62	09:13	67
ФЕВРАЛЬ	1.0	10:26	99
МАРТ	1.49	11:58	124
АПРЕЛЬ	2.1	13:33	155
МАЙ	2.78	14:53	187
ИЮНЬ	2.93	15:33	188
ИЮЛЬ	3.06	15:11	202
АВГУСТ	2.65	13:59	189
СЕНТЯБРЬ	2.03	12:29	163
ОКТЯБРЬ	1.32	10:55	121
НОЯБРЬ	0.75	09:32	79
ДЕКАБРЬ	0.51	08:49	63

Таблица 2. Суммарная солнечная радиация в области ФАР в течении года помесячно (кВтч/м²/день) для Улан-Удэ (51.83⁰ ш., 107.61⁰ д.).

	Рфар. сум. кВтч/м ² /день	Средняя продолжительность светового дня, Т _{св} (час:мин)	Средняя мощность, Р _{ср} (Вт/м ²)
ЯНВАРЬ	0.64	08:23	76
ФЕВРАЛЬ	1.18	09:58	118
МАРТ	1.93	11:56	163
АПРЕЛЬ	2.47	13:57	177
МАЙ	2.89	15:42	184
ИЮНЬ	2.86	16:37	172
ИЮЛЬ	2.58	16:07	160
АВГУСТ	2.22	14:33	153
СЕНТЯБРЬ	1.73	12:36	137
ОКТЯБРЬ	1.13	10:36	107
НОЯБРЬ	0.7	08:49	79
ДЕКАБРЬ	0.49	07:52	62

Таблица 3. Суммарная солнечная радиация в области ФАР в течении года помесячно (кВтч/м²/день) для Нарьян-Мара (67.67⁰ ш., 53.08⁰ д.).

	Рфар. сум. кВтч/м ² /день	Средняя продолжительность светового дня, Т _{св} (час:мин)	Средняя мощность, Р _{ср} (Вт/м ²)
ЯНВАРЬ	0.02	03:29	5.8
ФЕВРАЛЬ	0.22	07:57	27.7
МАРТ	0.84	11:37	72.3
АПРЕЛЬ	1.75	15:39	111.8
МАЙ	2.53	20:08	125.7
ИЮНЬ	2.84	24:00	118.3
ИЮЛЬ	2.6	23:22	111.3
АВГУСТ	1.73	17:23	99.5
СЕНТЯБРЬ	1.0	13:16	75.4
ОКТЯБРЬ	0.39	09:28	41.2
НОЯБРЬ	0.06	05:15	11.4
ДЕКАБРЬ	0.0	00:00	0

Применение дополнительного искусственного освещения дает существенный прирост суточной дозы ФАР. Это особенно актуально в зимние месяцы. В таблицах 4, 5 приведены данные для Нарьян-Мара.

Таблица 4. Суммарная радиация в области ФАР с применением досветки мощностью **40 Вт/м²** в течении года помесячно (кВтч/м²/день) для Нарьян-Мара.

	Солнечная ФАР кВтч/м ² /день	ФАР досветки кВтч/м ² /день	Длительность досветки	Суммарная ФАР кВтч/м ² /день
ЯНВАРЬ	0.02	0.8	20	0.82
ФЕВРАЛЬ	0.22	0.8	20	1.02
МАРТ	0.84	0.8	20	1.64
АПРЕЛЬ	1.75	0.68-0.8	17-20	2.43-2.55
МАЙ	2.53	0.0-0.8	0-20	2.53-3.33
ИЮНЬ	2.84	0.0-0.68	0-17	2.84-3.52
ИЮЛЬ	2.6	0.0-0.8	0-20	2.6-3.4
АВГУСТ	1.73	0.68-0.8	17-20	2.41-2.53
СЕНТЯБРЬ	1.0	0.8	20	1.8
ОКТЯБРЬ	0.39	0.8	20	1.19
НОЯБРЬ	0.06	0.8	20	0.86
ДЕКАБРЬ	0.0	0.8	20	0.8

Увеличение суточной дозы ФАР за счет искусственного освещения обычно упирается в экономическую составляющую, которая решается за счет значительного увеличения урожайности в круглогодичном цикле. Даже в южных регионах в современных теплицах предусматривается ассимиляционное освещение (см. таблицу 6.), и это оправдано.

Наряду с применением искусственного освещения в теплицах обычно требуются системы зашторивания. В жаркие летние дни чрезмерное солнечное излучение может пагубно влиять на фитоценоз. Обычной вентиляции бывает не достаточно и не всегда оправдано. На системы зашторивания может быть возложена еще одна важная функция. А именно, увеличение эффективности использования светильниковой установки в темное время суток. Для этого они должны «уметь» обеспечивать

светоотражающую поверхность на стенах и потолке теплицы ночью и регуляцию естественного освещения днем.

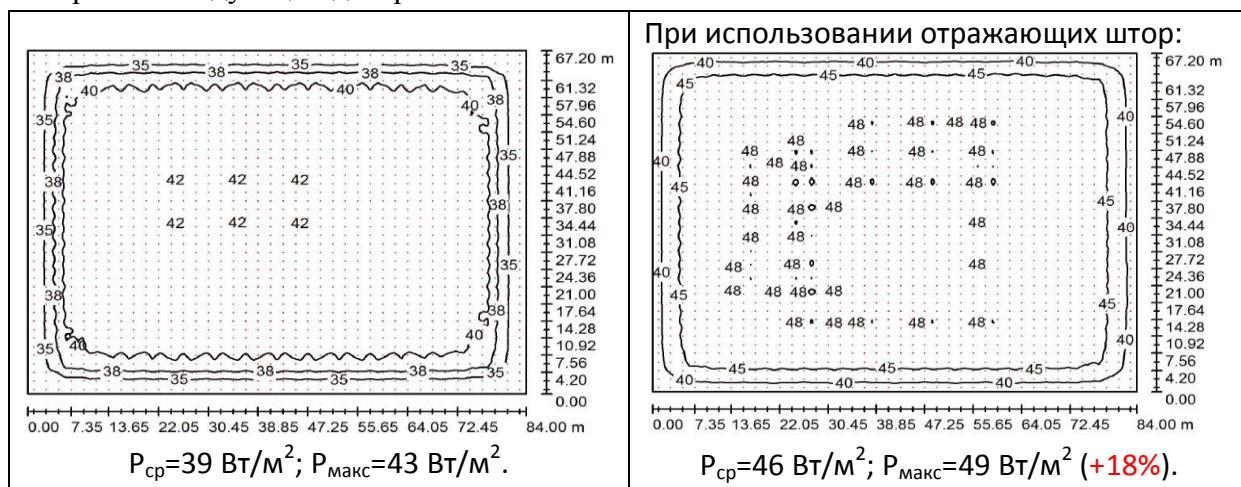
Таблица 5. Суммарная радиация в области ФАР с применением досветки мощностью **60 Вт/м²** в течении года помесячно (кВтч/м²/день) для Нарьян-Мара.

	Солнечная ФАР кВтч/м ² /день	ФАР досветки кВтч/м ² /день	Длительность досветки	Суммарная ФАР кВтч/м ² /день
ЯНВАРЬ	0.02	1.2	20	1.22
ФЕВРАЛЬ	0.22	1.2	20	1.42
МАРТ	0.84	1.2	20	2.04
АПРЕЛЬ	1.75	0.66-1.2	11-20	2.41-2.95
МАЙ	2.53	0.0-0.96	0-16	2.53-3.49
ИЮНЬ	2.84	0.0-0.66	0-11	2.84-3.5
ИЮЛЬ	2.6	0.0-0.9	0-15	2.6-3.5
АВГУСТ	1.73	0.66-1.2	11-20	2.39-2.93
СЕНТЯБРЬ	1.0	1.2	20	1.8
ОКТЯБРЬ	0.39	1.2	20	1.59
НОЯБРЬ	0.06	1.2	20	1.26
ДЕКАБРЬ	0.0	1.2	20	1.2

Таблица 6. Суммарная радиация в области ФАР с применением досветки мощностью **40 Вт/м²** в течении года помесячно (кВтч/м²/день) для Краснодара.

	Солнечная ФАР кВтч/м ² /день	ФАР досветки кВтч/м ² /день	Длительность досветки	Суммарная ФАР кВтч/м ² /день
ЯНВАРЬ	0.62	0.8	20	1.42
ФЕВРАЛЬ	1.0	0.8	20	1.8
МАРТ	1.49	0.8	20	2.29
АПРЕЛЬ	2.1	0.72-0.8	18-20	2.82-2.9
МАЙ	2.78	0.0-0.72	0-18	2.78-3.5
ИЮНЬ	2.93	0.0-0.64	0-16	2.93-3.57
ИЮЛЬ	3.06	0.0-0.52	0-13	3.06-3.58
АВГУСТ	2.65	0.0-0.68	0-17	2.65-3.33
СЕНТЯБРЬ	2.03	0.72-0.8	18-20	2.75-2.83
ОКТЯБРЬ	1.32	0.8	20	2.12
НОЯБРЬ	0.75	0.8	20	1.55
ДЕКАБРЬ	0.51	0.8	20	1.31

Эффект от таких штор демонстрируется на примере теплицы с размерами 84x67.2x5 метров на следующих диаграммах:



Положительный эффект очевиден.

В настоящее время для искусственного освещения в теплицах применяются технологии НЛВД, МГЛ и LED (светодиодное освещение). Лучшие образцы НЛВД и МГЛ имеют примерно одинаковый коэффициент полезного действия (КПД) в части излучения полезной мощности в области ФАР. КПД зависит от мощности лампы и составляет:

- для 400 Вт ламп мощность ФАР около 25%;
- для 600 Вт ламп мощность ФАР около 27%;
- для 1000 Вт ламп мощность ФАР около 30%;

Светодиодные светильники у большинства производителей имеют КПД 30÷40%. Светильники ООО «ЭНОВА Лайт» имеют КПД **60%** *. Что означают эти цифры? Означают они то, что для обеспечения уровня ФАР 70,0 Вт/м² необходимо будет затратить более (с учетом потерь) **234 Вт** электроэнергии на квадратный метр продуктивной площади теплицы при КПД светильника **30%**. Или более (с учетом потерь) **137 Вт** электроэнергии на квадратный метр при КПД светильника **60%** (см. таблицу 7).

Таблица 7. Энергетические затраты на средних широтах.

Потребляемая мощность ассимиляционного освещения, Вт/м ²		УРОЖАЙНОСТЬ, КГ/М ²		
ЭЛ-008МТ	ДНаЗ	СВЕТОКУЛЬТУРА ОГУРЦА		
		Длинноплодный	Среднеплодный ГЛАДКИЙ	Среднеплодный пупырчатый
77÷111	230	190		
60-87	180	170	165	145
53-77	160	150	145	125
43-63	130		120	
38-56	115		96.7	
СВЕТОКУЛЬТУРА ТОМАТА				
		Интерплантинг БИФ-томат	СЛИВКА средний на ветке	РОЗОВЫЙ БИФ-томат
53-77	160	100	90	70
43-63	130	92	85	62
38-56	115	92		

* При производстве светильников ООО «ЭНОВА Лайт» применяет самые эффективные светодиоды и оригинальную технологию. Высокая цена таких светодиодов останавливает большинство производителей от их применения. По причине того, что они не способны обеспечить в этом случае конкурентную цену своей продукции. Тем не менее, именно светильники ООО «ЭНОВА Лайт» имеют самую низкую цену одного ватта ФАР, высокую надежность и длительный срок службы.

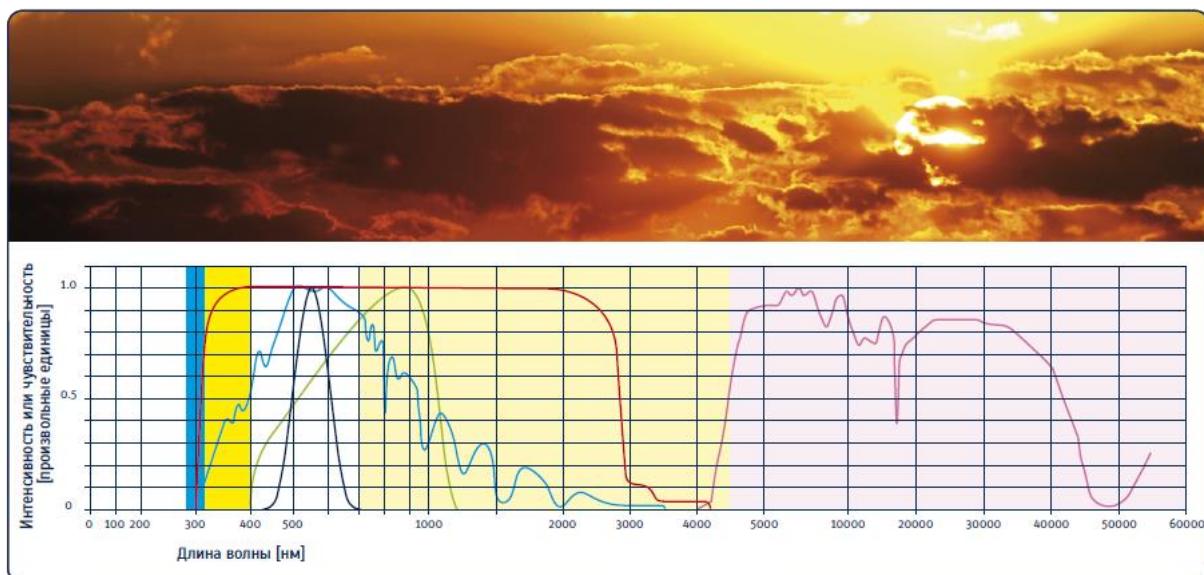
Эта существенная разница кардинально меняет затраты на генерационные мощности и затраты на выращивание продукции. Снижение энергопотребления дает мультипликативный эффект на снижение себестоимости тепличного хозяйства и его продукции в целом.

Повышение энергетической эффективности осветительной установки коренным образом отражается на конкурентных возможностях тепличного хозяйства. Как в краткосрочной перспективе, так и в долгосрочной. Способствует внедрению альтернативных источников энергии, где это возможно и оправдано.

На выбор той или иной технологии существенное влияние оказывает экономическая составляющая проекта. А также такие эксплуатационные параметры как, надежность и срок службы. Касательно надежности и срока службы получить объективную информацию бывает достаточно трудно, но возможно. При вовлечении в процесс специалистов. Тем не менее, именно эти параметры во многом влияют на экономические параметры проекта, его жизненный цикл и возможность последующих модернизаций.

Следует отметить следующее. Эффективность осветительной установки теплицы зависит не только от КПД источника излучения ФАР, но и от спектрального состава излучения этого источника.

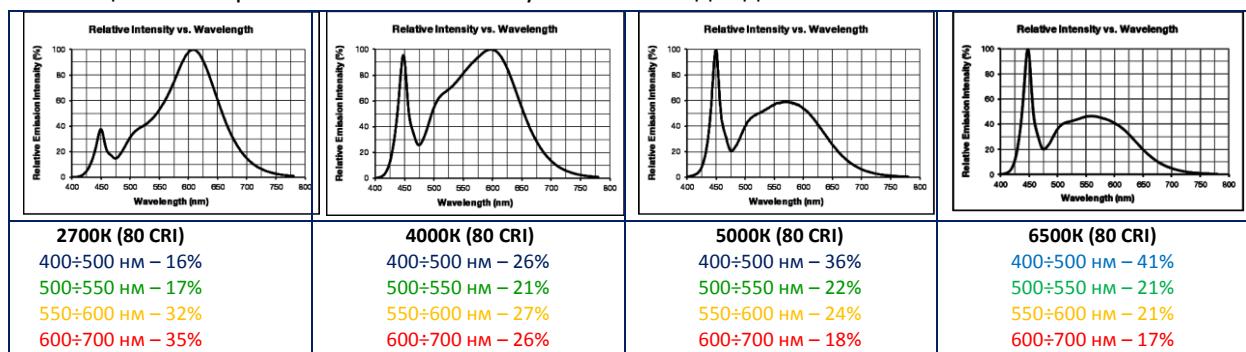
СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ



Спектральный состав источника света играет одну из главенствующих ролей в развитии и плодоношении фитоценоза. Каким он должен быть? Сказать, что он должен быть максимально приближен к естественному солнечному излучению, значит сказать почти ничего. Конечно, растения максимально приспособлены к условиям естественного произрастания. Это касается и условий освещения. Но, спектральный

состав солнечного освещения постоянно меняется. Он зависит от высоты восхождения солнца, от погоды, от затененности и т.д. В течении суток цветовая температура излучения может меняться в пределах от 2000 К до 7000 К. Принципиально важно для искусственных источников ассимиляционного освещения соответствовать следующим требованиям. Во-первых, *спектр излучения должен содержать все составляющие без исключения, приходящиеся на область фотосинтетической активной радиации (ФАР, 400-700 нанометров (по разным оценкам 320÷380-710÷750 нанометров)).* Во-вторых, спектр должен иметь сплошной характер (не иметь узкополосных дискретных составляющих). Лучшее процентное соотношение спектральных составляющих для различных культур может варьироваться. Но универсальным решением будет источник света со цветовой температурой около 5000 К. С этой точки зрения наилучшими источниками излучения являются **белые светодиоды**. Белые светодиоды, как правило, выпускаются с различными световыми температурами в пределах 2000÷6500К (см. таблицу 8).

Таблица 8. Спектральные соотношения у белых светодиодов.

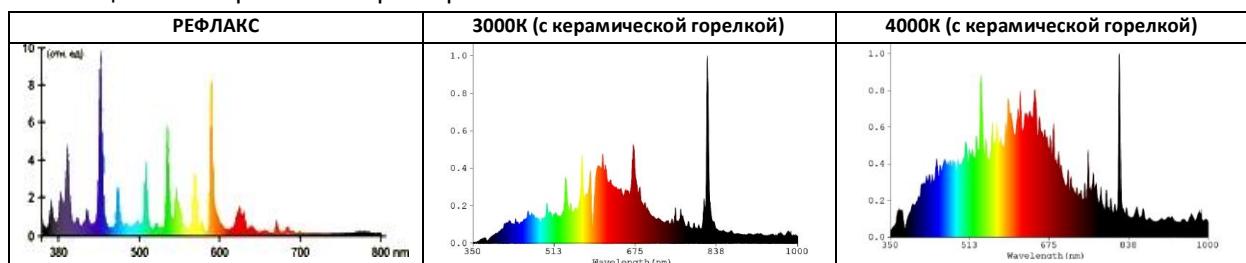


Белые светодиоды не имеют излучений вне границ области ФАР (побочных излучений). Этим отчасти объясняется их высокий КПД. В силу этого свойства они обладают интересной закономерностью. Белые светодиоды одной серии независимо от их цветовой температуры излучают одну и ту же мощность в области ФАР. А количество излучаемых фотонов (фотосинтетический фотонный поток (ФФП, PPF), мкмоль/сек) в зависимости от цветовой температуры различно. Поскольку фотоны с разными длинами волн имеют разную энергию, а при разных цветовых температурах изменяется пропорциональный состав таких фотонов. Энергия синих фотонов в 1.5÷2.0 раза выше энергии красных фотонов. Таким образом, при одной и той же энергии излучения красный свет будет иметь больше излучаемых фотонов в единицу времени по сравнению с синим светом. Этим пользуются недобросовестные производители при продвижении своей продукции. Как правило, спектр их светильников тяготеет в сторону красных составляющих. Этим во многом объясняются попытки ангажированных авторов убедить потребителя в том, что источники излучения с преобладанием красных составляющих спектра являются лучшим решением для ассимиляционного освещения. Это не так. Последние исследования доказывают, что растения удивительным образом усваивают почти на 100% энергию поглощенных фотонов с любыми длинами волн внутри диапазона ФАР. И зависимость интенсивности фотосинтеза от количества поглощенных фотонов не так однозначна. В то же время необходимость всех спектральных составляющих для нормального развития фитоценоза у специалистов не вызывает сомнения. Также установлено, что

различные спектральные составляющие имеют взаимное влияние на степень их поглощения при фотосинтезе. Т.е. эффективность тех или иных спектральных составляющих при фотосинтезе не так однозначна, как это считалось ранее.

Также, вышеперечисленным требованиям могут удовлетворять МГЛ лампы. В зависимости от технологии изготовления их спектр может иметь различные параметры (см. таблицу 9). В силу различных причин их применение ограничено.

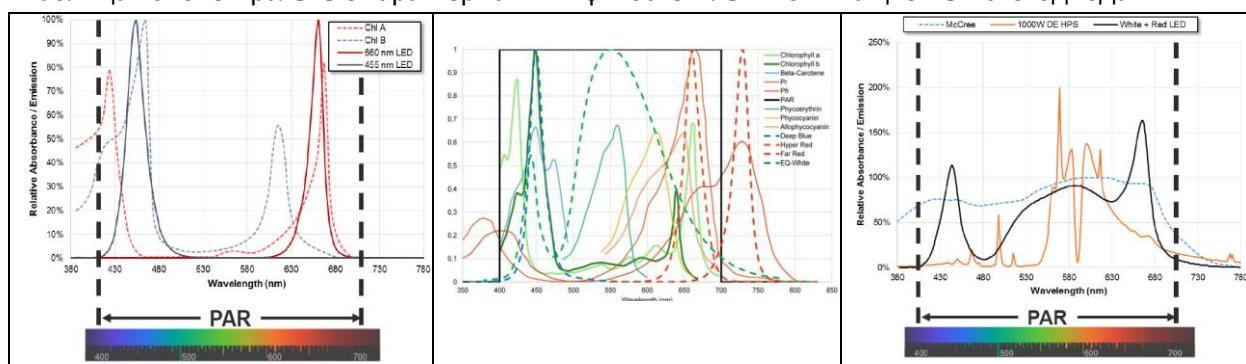
Таблица 9. Спектральные характеристики МГЛ.



До сих пор достаточно популярными остаются светильники на базе монохромных светодиодов с узкополосным излучением определенного цвета (цветных светодиодов). Такие светильники, как правило, бывают двухцветными и трехцветными. Их часто называют «фитосветильниками». Предпосылками для создания таких светильников были следующие соображения. Во-первых, это создание излучения в соответствии с зонами максимального усвоения световой энергии хлорофилом (см. таблицу 10). Для стимулирования различных процессов роста могут добавляться дополнительные узкополосные источники излучения (например, дальний красный (730 нм)). Во-вторых, теоретически считалось, что энергетическая эффективность цветных светодиодов может быть выше, чем у белых светодиодов. Из-за отсутствия потерь в люминофорах. На практике все оказалось не совсем так:

- *процесс воздействия света на фитоценоз гораздо более сложен.* Влияние узкополосных излучений на качество развития растений практически слабо изучено. При использовании такого типа искусственного освещения из процесса исключается целый ряд механизмов фотосинтеза (см. таблицу 10). По этой причине такие осветительные установки безусловно ущербны для фитоценоза;
- *энергетическая эффективность лучших образцов белых светодиодов выше энергетической эффективности цветных светодиодов.* Темпы и уровень развития этих технологий различны.

Таблица 10. Спектральные характеристики «фитосветильников» на цветных светодиодах.



Следующее Важно. Мощные узкополосные источники излучения несут в себе потенциальную опасность для человеческого зрения. Зачастую слабо ощутимую. Риск повышается в случае нештатной работы осветительной установки.

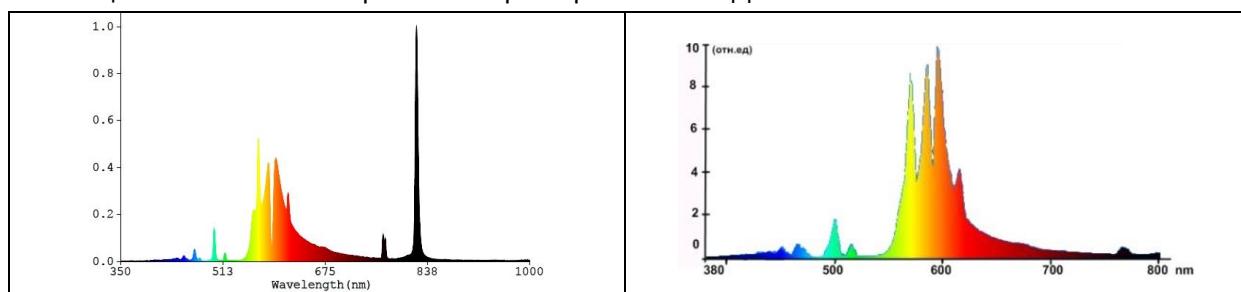
Сторонники «фитосветильников» утверждают, что энергетическая эффективность этих светильников все-таки выше. За счет того, что они не излучают «не нужный», по их мнению, зеленый свет. На самом деле зеленый свет необходим. Из-за многократных переотражений от зеленой массы растений он проникает через толщу листьев на нижние ярусы. За счет этого и, несмотря на относительно слабое однократное поглощение на поверхности листа, зеленый свет оказывает свое заметное воздействие на процесс фотосинтеза и имеет достаточно сильное суммарное поглощение.

Сейчас можно встретить светильники, в которых одновременно применяются как цветные, так и белые светодиоды (см. таблицу 10). Практическая польза и целесообразность такой комбинации достаточно спорна.

Наибольшее распространение в тепличных хозяйствах нашли натриевые светильники (НЛВД). Несмотря на многие их недостатки. Не так давно по своим технико-экономическим показателям они не имели себе альтернативы. До тех пор, пока светодиодные технологии не начали свое бурное развитие. Но и сегодня эта технология имеет важное значение. В спектре НЛВД практически отсутствуют синие составляющие (см. таблицу 11). В силу этого, при использовании для ассимиляционного освещения только этих ламп, по сравнению с белыми источниками излучения, требуется повышать расчетные значения уровня ФАР. С целью компенсации нехватки синих составляющих спектра.

Для ламп высокого давления (МГЛ, НЛВД) характерно наличие существенного уровня побочных излучений в инфракрасной области (см. таблицу 11). Эти технологии исчерпали свой потенциал, а современные лампы высокого давления практически достигли теоретического уровня КПД. Чего нельзя сказать о светодиодах.

Таблица 11. Типовые спектральные характеристики НЛВД.



Для современных теплиц интересным вариантом осветительных установок является **гибридное освещение** – НЛВД+LED (5000÷6500К). Они обладают всеми необходимыми спектральными составляющими (их пропорции – вопрос компромисса). Они экономичнее установок на НЛВД. Такие установки дают возможность очевидных манипуляций со спектром в целях регуляции фотоморфогенеза и не только. Насколько это актуально – задача анализа в каждом конкретном случае.

Спектральные недостатки различных систем ассимиляционного освещения в определенной степени компенсируются естественным солнечным излучением. Но такие системы должны работать и в темное время суток. И в этом случае недостатки

будут проявляться в полной мере. Применение осветительных установок с белым излучением, по сравнению с другими установками, дает дополнительный прирост урожайности даже в южных широтах РФ.

ЗАТЕНЕНИЕ ОТ КОРПУСОВ СВЕТИЛЬНИКОВ

Светильники и другое подвесное оборудование создают тень. Насколько существенно отрицательное влияние этой тени на фитоценоз? Рассмотрим несколько характерных особенностей.

- Попадание тени на конкретный участок фитоценоза не исключает наличие света на этом участке. В ясный солнечный день доля рассеянного света в зависимости от времени суток и других факторов составляет 5-25% (интегрально около 20%). А в пасмурную погоду доля рассеянного света уже около 95%. Т.е. в пасмурную погоду тень отсутствует, влияние навесного оборудования на снижение интенсивности ФАР пренебрежимо мало. На территории РФ в большинстве случаев доля рассеянного света в сумме видимого солнечного света, поступающего на земную поверхность в течении года составляет около 50%. А в некоторых местах может достигать 80%.

- В течении суток тень постоянно перемещается. В годичном цикле суточная траектория движения тени также меняется. Можно говорить о том, что нахождение в тени конкретного участка фитоценоза носит кратковременный характер. Степень изменения суточной дозы ФАР во многом зависит от времени года, размера и плотности размещения светильников. В любом случае положительный эффект от дополнительного освещения будет многократно перекрывать отрицательный эффект затенения.

- В летние жаркие дни тепличные хозяйства зачастую вынуждены прибегать к зашториванию теплиц. В этой ситуации тень от подвесного оборудования играет скорее положительную роль.

- При малых углах падения солнечных лучей (утром, вечером, зимним днем) тень от подвесного оборудования носит специфический характер. Может перекрываться с тенью от элементов кровли.

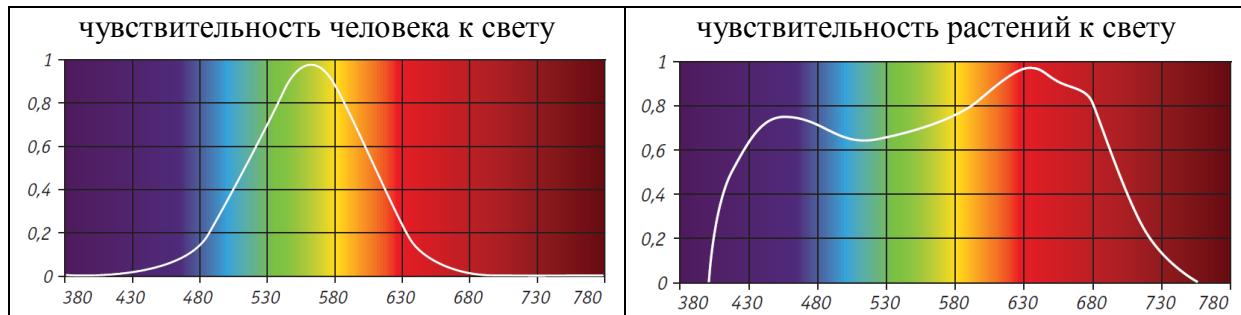
Вывод: как правило, затеняющий эффект светильников не имеет существенного значения. Но необходимо проводить анализ этого влияния в каждом конкретном случае.

ИЗМЕРЕНИЯ

В настоящее время в различных информационных источниках, посвященных ассимиляционному освещению, можно встретить следующие единицы измерения: люмены (люксы), мкмоль/с и ватты (мощность излучения в области ФАР, измеряемая в ваттах).

Такие единицы измерения, как люксы и люмены, имеют непосредственное отношение к особенностям человеческого зрения (см. таблицу 12). Они рассчитаны для оценки источников света с позиции восприятия их зрением человека. Они не подходят для полноценной оценки источника света с позиций ассимиляционного освещения фитоценоза.

Таблица 12. Чувствительность к свету.



Эта характеристика чувствительна к спектральному составу излучения и не может быть использована для сравнения эффективности различных типов источников излучения. За исключением следующего случая. Для любого источника света можно определить коэффициент пропорциональности, с помощью которого можно делать перерасчет люксов в другие единицы измерения. Например, в мощность ФАР, измеряемую в ваттах. Разные источники света имеют разные коэффициенты пропорциональности. Если Вы будете оперировать люксами (люменами), то не сможете адекватно сравнить результаты измерений с различными источниками света. Но, если сделать соответствующий пересчет с помощью коэффициентов, то в этом случае можно проводить сравнительный анализ. Таким образом, проводить измерения с помощью люксметров не только можно, но и нужно. Это самый простой, доступный и дешевый способ измерений. Но для этого необходимо знать соответствующий коэффициент пропорциональности. Измеренный в лабораторных условиях или полученный от производителя.

Моль численно равен числу Авогадро ($N_A = 6,022140857(74) \cdot 10^{23}$). Применительно к источникам света в молях измеряют количество фотонов, излучаемых этими источниками. **PPF** (*Photosynthetic Photon Flux*) – фотосинтетический поток фотонов. Определяет число фотонов излучаемых в секунду (мкмоль/с). Такой способ оценки источника света достаточно бессмыслен, поскольку практически не несет никакой информации. Этот параметр не дает информации ни о мощности излучения, ни о составе спектра. С его помощью практически невозможно сравнивать различные источники света. Он не учитывает тот факт, что фотоны с разными длинами волн имеют разную энергию. Своему происхождению этот параметр обязан тем представлениям, что интенсивность фотосинтеза зависит от количества фотонов и не зависит от их энергии. Последние исследования опровергают эту устоявшуюся точку зрения. Доказано, что энергия поглощенных фотонов усваивается практически на 100% при помощи механизма квантовой когерентности промежуточных возбуждений. Т.е. интенсивность фотосинтеза зависит не только от количества фотонов, но и от их энергии. Это коренным образом меняет подходы к анализу и обеспечению условий фотосинтеза. Делает сомнительным целесообразность применения монохромных источников света для целей ассимиляционного освещения.

Иногда в технических параметрах светильников можно встретить единственный параметр, который якобы характеризует излучательную способность этого светильника в области ФАР. А именно, **PPFD** (*Photosynthetic Photon Flux Density*) – плотность фотосинтетического потока фотонов. Число фотонов в секунду на один квадратный

метр ($\text{мкмоль}/\text{с}\cdot\text{м}^2$). Это указывает на низкую компетентность и/или недобросовестность производителя. По сравнению с PPF PPFD еще менее информативный (с точки зрения оценки светильника) параметр. И не корректный. PPFD, применительно к одиночному светильнику, зависит от высоты подвеса этого светильника. Если используется массив светильников, то зависимость PPFD от высоты их подвеса и характера взаимного расположения более сложная.

Наиболее информативным параметром является **мощность ФАР**, измеряемая в ваттах (Вт) и ее производные ($1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3.6 \text{ МДж}$). Она полностью характеризует энергетическую эффективность источника света, но не характеризует его спектральные свойства. Спектральный состав – многогранное свойство излучателя. Его трудно представить численным формализованным параметром. Особенно в ситуации, когда исследования о влиянии состава спектра на фитоценоз еще продолжаются.

Оценочная граница ФАР в рамках 400-700 нм достаточно условна и отсекает из рассмотрения часть энергии источника излучения, которую фитоценоз использует как для фотосинтеза, так и для других процессов. Эта граница указывает на более эффективные для фотосинтеза длины волн. Поэтому и существуют различные оценки границ ФАР. Исключение из рассмотрения некоторых спектральных составляющих, которые присутствуют в источнике излучения и имеют значение для фотосинтеза, мало чем обосновано. Источники излучения не всегда могут быть вписаны в те или иные границы, в силу технологических особенностей.

ВЫБОР

Самыми дешевыми светильниками являются светильники с лампами НЛВД. Самыми дорогими – светодиодные. Если сравнивать эти технологии с точки зрения энергоэффективности и/или спектральной эффективности, то НЛВД существенно уступают LED. Но цена одной световой точки в осветительной системе складывается не только из цены на светильник. В цену также входит цена генерации (электросети, собственная газогенераторная станция (ГГС) и т.д.), цены монтажа и дополнительного оборудования.

В новых проектах с собственной ГГС наилучшим и безусловным вариантом ассимиляционного освещения являются системы на белых светодиодах. Во всех отношениях, в том числе и экономическом. Например, если учитывать в сумме цену светильников и цену ГГС в перерасчете на необходимую для одного светильника мощность, то получим следующие результаты. *Цена одной световой точки на базе 600-ваттной ДНаТ (ДНаз) будет от 70500 руб., на базе 1000-ваттной ДНаТ (ДНаз) будет от 115000 руб.. И от 42000 руб. для световой точки на базе светодиодного светильника ЭЛ-008Т-240 (240 Вт) производства ООО «ЭНОВА Лайт».* Один ЭЛ-008Т-240 полностью заменяет 600-ваттные светильники ДНаТ (ДНаз) и превосходит их по техническим и эксплуатационным параметрам. Согласитесь, выбор в данном случае очевиден. Как уже упоминалось ранее, снижение энергопотребления одной световой точкой дает мультипликативный положительный эффект на все параметры тепличного объекта.

Если в новом проекте предусматривается энергоснабжение от электросетей, то выбор, скорее всего, предстоит делать между светодиодными и гибридными установками (НЛВД+LED). Он зависит от многих исходных данных. В первую очередь от бюджета проекта и от степени его проработки. Гибридные установки – это компромиссный вариант. Причем чем выше эффективность светодиодных светильников (КПД и спектр) в составе гибридной установки, тем более оправданным будет выбор таких гибридных установок по отношению к другим гибридным установкам. Для таких установок по всем параметрам подойдут светодиодные светильники на белых светодиодах типа ЭЛ-008Т-60 и ЭЛ-008Т-120. В перспективе возможен поэтапный переход на полностью светодиодное освещение. Использование узкополосных синих или фиолетовых светодиодов для этих целей может быть опасно для человеческого зрения в случае нештатной работы такой гибридной установки. К тому же их применение не оправдано со следующей точки зрения. Мощность синих излучателей имеет вполне понятные ограничения по величине, поскольку необходимо соблюдать спектральные пропорции. В случае применения белых светодиодов пропорции их мощности к мощности НЛВД могут значительно варьироваться. Вплоть до перехода на полностью светодиодное освещение. Чем больше доля белого светодиодного излучения, тем лучше.

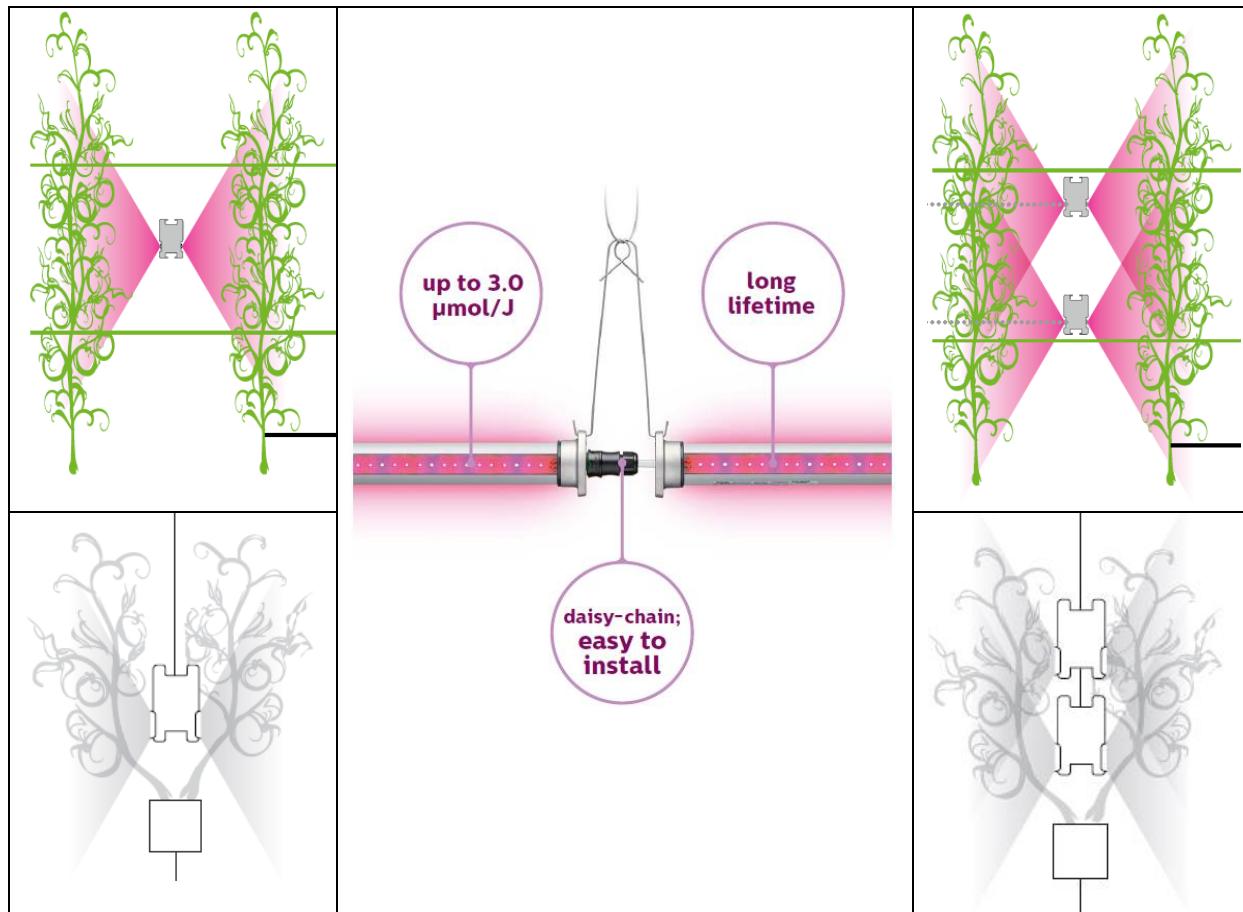
Для действующих теплиц будет оправданным следующий вариант модернизации осветительной установки. Это добавление светодиодных светильников к уже находящимся в эксплуатации НЛВД. В итоге будет сформирована гибридная установка с минимальными затратами на модернизацию. В последующем возможен постепенный переход на полностью светодиодное освещение. Очень важно при этом обращать внимание на надежность и срок службы светодиодных светильников. При низких значениях этих параметров теряется смысл применения таких светильников.

Во всех случаях следует ориентироваться на белые светодиоды. Светильники на их базе могут иметь относительно простую, дешевую и надежную конструкцию. Их технические и потребительские свойства наилучшим образом удовлетворяют современным представлениям об ассимиляционном освещении.

Необходимо учитывать тот факт, что не все светодиодные светильники способны к совместной работе в одной сети со светильниками на базе НЛВД. Светильники на НЛВД при включении могут создавать существенные импульсные броски напряжения. Защита многих светодиодных светильников не рассчитана на такой режим работы. Как пример комплексного решения задачи, светильники серии ЭЛ-008Т специально создавались для работы в таких сетях. Они обладают самовосстанавливаемой защитой с неограниченным ресурсом и соответствующими характеристиками.

Отдельно стоит отметить межрядные системы ассимиляционного освещения. В этих системах освещения главенствующую роль играют светодиоды. В силу своего относительно низкого тепловыделения. Очевидным плюсом такой досветки является непосредственная близость размещения ее к фитоценозу. Благодаря чему снижаются непродуктивные потери на освещение пустых мест. Такое освещение может быть организовано различными способами. Например, компания PHILIPS предлагает следующее решение (см. таблицу 13).

Таблица 13. модули Philips GreenPower LED Interlighting.



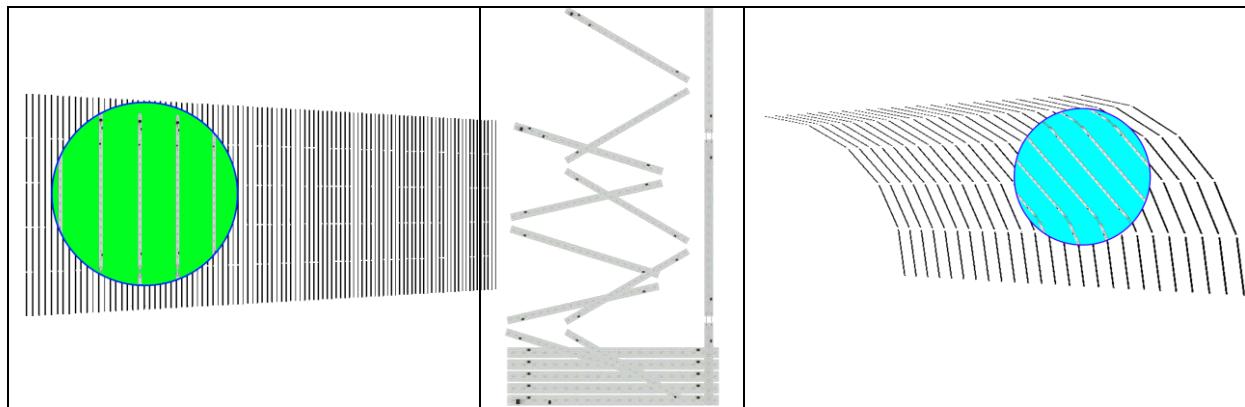
PHILIPS позиционирует эту систему как дополнительную к системе основного верхнего ассимиляционного освещения. Наряду с очевидными преимуществами такого решения имеются и существенные недостатки. Подключение этих светильников к питающей сети осуществляется последовательно путем транзитного прохождения питания через корпуса светильников. Такая схема подключения имеет большое количество контактных соединений. Это приводит к дополнительным потерям электроэнергии и к низкой надежности. Нарушение одного контакта приводит к отключению всех светильников, привязанных к этому контакту. Высокая надежность контактных соединений в этом случае носит достаточно условный характер.

По мере роста куста подразумевается наращивание системы путем добавления еще одного ряда светильников. Процедура в этом случае достаточно трудоемкая и может носить для выращиваемой культуры травматичный характер.

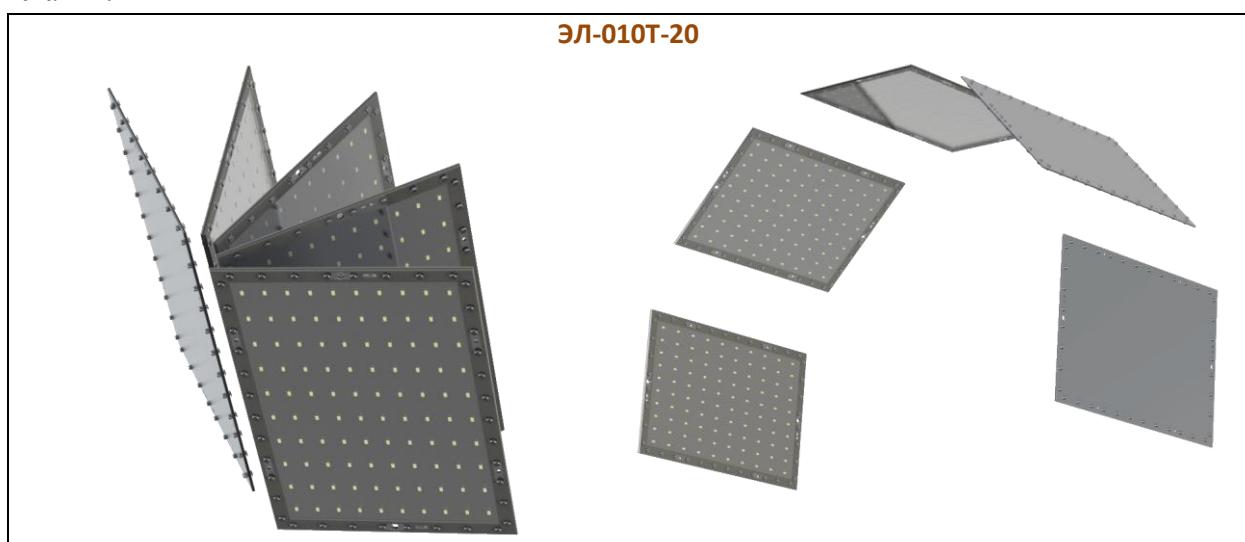
ООО «ЭНОВА Лайт» предлагает другой вариант межрядного ассимиляционного освещения. Это модель ЭЛ-012-20 (см. таблицу 14). Она может быть использована как в качестве основного и единственного источника ассимиляционного освещения, так и в качестве дополнительного к системе верхнего ассимиляционного освещения. Светильники подключаются к питающей сети параллельно. При этом обеспечивается возможность подключения без нарушения целостности питающей сети и, как следствие, исключение потерь на контактах. Конструкция светильника обеспечивает возможность регулировки по высоте в соответствии с ростом культуры. Несмотря на

внешнее сходство со светодиодными лентами эта модель принципиально отличается от них своими технико-эксплуатационными характеристиками.

Таблица 14. модули ЭЛ-012-20.



Технологии ООО «ЭНОВА Лайт» позволяют по новому взглянуть на концепцию многоярусных теплиц. Ультратонкие модели серии ЭЛ-010 позволяют создавать компактные и высокоэффективные конструкции таких теплиц. Уникальные размеры таких светильников получены за счет применения собственных ноу-хай ООО «ЭНОВА Лайт».



На выбор того или иного светильника первоочередное значение влияет его цена. Но важно не путать цену светильника с его истинной ценой. **Истинной ценой** светильника является цена одного излучаемого этим светильником ватта в области ФАР. Т.е. величина, определяемая как деление цены светильника на его излучаемую в области ФАР мощность. Более дешевый светильник может иметь более дорогой ватт ФАР. По той причине, что светильники имеют различные КПД. А это значит, что на основе светильников с меньшим КПД Вы можете получить более дорогое ассимиляционное освещение. Несмотря на то, что отпускная цена таких светильников может быть меньше.

Список литературы

1. Растения используют квантовые эффекты для усиления фотосинтеза, РИА Новости <http://ria.ru/science/20130621/944793248.html#ixzz4ECxU7rZ0>, 2013 г.

2. Квантовый биокомпьютер, <http://www.3dnews.ru/offsyanka/631421/>, 2012 г.
3. Механизм фотосинтеза использует вибронную квантовую когерентность, http://elementy.ru/novosti_nauki/432292/Mekhanizm_fotosinteza_ispolzuet_vibronnuyu_kvantovuyu_kogerentnost, 2014 г.
4. Измерение солнечного излучения в солнечной энергетике, Kipp & Zonen B.V. (www.kippzonen.com), 2016 г.
5. <http://gisre.ru>

А. П. Гавриленко – Ген. директор ООО «ЭНОВА Лайт»
Телефон: (863)-298-3603, +7-918-558-3603. E-mail: info@enova-l.ru