

ДОСВЕТКА В ТЕПЛИЦАХ. КАКОЙ ДОЛЖНА БЫТЬ.

Эта статья продолжает тему, затронутую в статье «Светодиодный свет для теплиц» (опубликована на ресурсах www.enova-l.ru и <http://rusteplika.ru>). Освещаются аспекты современной тепличной досветки.

ЧТО ДАЛА ПРИРОДА

Основным и наиважнейшим свойством растений является фотосинтез. Суть фотосинтеза состоит в том, что растения используют солнечный свет для того, чтобы преобразовать воду и углекислый газ в кислород и сахара (органику). Т.е. преобразуют солнечную энергию в химическую. Это свойство и использует человек при выращивании различных культур растений.

Безусловно, наиболее благоприятным типом освещения для растений является естественное освещение, характерное ареалам обитания той или иной рассматриваемой культуры. Эволюция делала и делает свое дело.

Единственным источником естественного освещения является солнце. Оно излучает свет, часть которого рассеивается в атмосфере и создает рассеянное излучение. Т.е. следует различать свет, падающий непосредственно от солнца и свет «неба» - солнечного света рассеянного атмосферой. В тени свойства света также меняются за счет частичного и избирательного отражения или поглощения различных спектральных составляющих. Естественное освещение меняется в зависимости от времени суток, состояния атмосферы, погодных условий и времени года. Главная особенность естественного освещения – непостоянство интенсивности и спектрального состава его излучения, которое подвержено влиянию закономерных и случайных факторов.

Природа света носит корпускулярно-волновой характер. Т.е., свет обладает одновременно свойствами частицы и электромагнитной волны. Частица света фотон может иметь различную частоту электромагнитной волны ν , величина которой определяет энергию фотона E :

$$E=h\nu,$$

где $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Дж×сек – постоянная Планка.

Как правило, источники света излучают фотоны различных частот, которые в совокупности формируют спектр излучения данного источника света. Для удобства при рассмотрении спектра видимого света оперируют не частотой фотона, а его длиной волны. В данном случае длина волны измеряется в нанометрах. Диапазон фотосинтетической активной радиации (ФАР – излучение, которое усваивается растениями в процессе фотосинтеза) примерно совпадает с диапазоном видимой части света. «Синие» фотоны имеют по сравнению с «красными» более короткую длину волны. Т.е. имеют частоту выше и энергию больше. Разница энергий на границах ФАР составляет почти двукратный размер.

ЧТО ГОВОРИТ НАУКА

Исследования в области фотосинтеза базируются на работах К. А. Тимирязева и на теории фотоэффекта, сформулированной А. Эйнштейном. Согласно этим представлениям считалось, что интенсивность фотосинтеза зависит не от количества поглощенной энергии, а от числа поглощенных фотонов. Как следствие, был сделан вывод, что поглощенная энергия в красном участке спектра используется более эффективно, поскольку энергия «красных» фотонов гораздо меньше по сравнению с «синими». Именно поэтому за границей получила популярность система оценки тепличного света, основанная на измерении фотосинтетического фотонного потока (ФФП), т.е. количества фотонов испускаемых источником света за единицу времени в той части спектра, которая пригодна для фотосинтеза (400-700 нанометров (по некоторым оценкам 320-750 нанометров)). На практике уровень ФФП измеряется в мкмоль/сек (1 моль = 6.023×10^{23}). Оборудование для точного измерения ФФП было и остается достаточно дорогим для общедоступного применения. В СССР, а затем в России широко использовались такие способы оценки, как измерение в люксах и измерение уровня фотосинтетической активной радиации (ФАР), выраженной в ваттах. Измерение в люксах не корректно, поскольку эта единица измерения ориентирована на особенности человеческого зрения и не подходит для объективной оценки тепличных источников света*. С точки зрения вышеописанных представлений измерения ФФП или ФАР не давали полноты картины об эффективности источника света, поскольку не отражали качественный состав спектра излучения этого источника.

В 2014 году были получены доказательства, что механизм фотосинтеза использует вибронную квантовую когерентность [3]. Суть этого явления состоит в том, что энергия поглощенных фотонов используется растением с очень высокой эффективностью близкой к 100%. Это означает, что энергия любого фотона («голубого» или «красного») используется в полной мере без потерь. Это в свою очередь означает, что интенсивность фотосинтеза все-таки зависит не столько от числа поглощенных фотонов, сколько от количества поглощенной энергии. Звучит разумно, поскольку трудно заподозрить природу в неспособности эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Современные исследования указывают на то, что растения для улавливания света используют сложный молекулярный комплекс. Молекулы хлорофилла и другие поглощающие свет антенные пигменты способны улавливать фотоны с различными длинами волн из всего диапазона ФАР. В особую группу следует выделить «зеленые» фотоны, которые практически не поглощаются по причине почти полного отражения от поверхности листа.

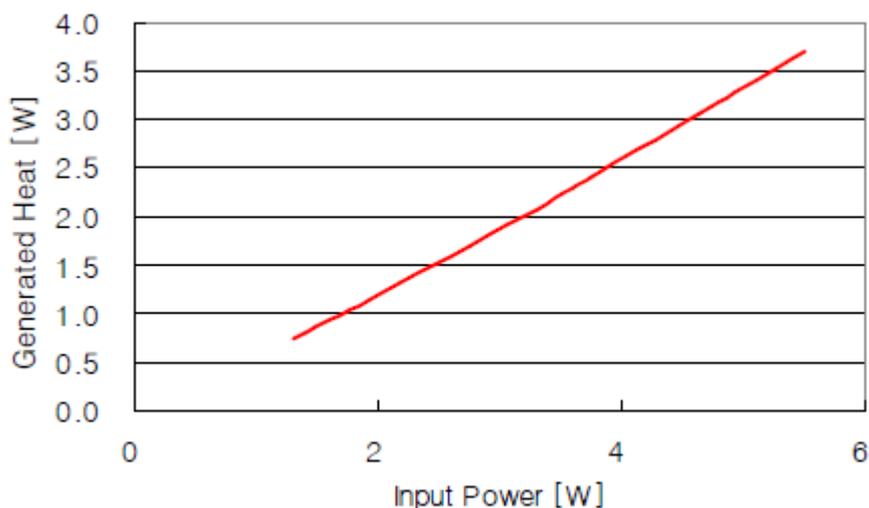
Получается, что корректней измерять уровень ФАР в ваттах, а не ФФП в мкмоль/сек. А качество спектра оценивать по степени сходства с естественным освещением. В любом случае, для полноценного роста растений нужны синие и красные спектральные составляющие. С этим согласятся как теоретики, так и практики. Система фотосинтеза растений обладает большой гибкостью по адаптации к условиям окружающей среды, в том числе и к спектральному составу спектра. Но такая адаптация происходит за счет изменения биохимической структуры. И если Вы попытаетесь сильно изменить естественные условия произрастания культуры, то можете получить результат,

которого не ждали. Например, «пластмассовые» помидоры или огурцы без вкуса и запаха. Такой результат частично может быть обязанным применению натриевых ламп высокого давления (НЛВД).

Проводить измерения ФАР в ваттах не только удобней, но и дешевле. Цена такого прибора сопоставима с ценой люксметра. Для светодиодных светильников достаточно просто проводить теоретический расчет уровня полезного излучения в ваттах, поскольку все излучение светодиода полностью приходится на область ФАР (400-700 нанометров). Чего нельзя сказать про НЛВД и другие типы тепличных источников света.

Простоту теоретического расчета покажем на примере белого светодиода LH934A от фирмы SAMSUNG. Производитель предоставляет на этот светодиод данные о зависимости рассеиваемой (тепловой) мощности от мощности потребления (см. Рисунок 1). Мощность излучения светодиода в области ФАР рассчитывается как разница между мощностью потребления и рассеиваемой мощностью. Таким образом, выбирая режим работы светодиода путем фиксации мощности потребления, разработчик в состоянии рассчитать мощность излучения. Это очень важно, поскольку потребитель может самостоятельно достаточно просто оценить возможности того или иного светодиодного светильника.

Рисунок 1. Зависимость рассеиваемой мощности от мощности потребления.



Белый светодиод имеет сплошной спектр, как у естественного солнечного света. Его качественный состав наиболее близок к солнечному излучению по сравнению с другими тепличными источниками света. Для светодиода со цветовой температурой 5000К спектр представлен на рисунке 2.

Фитосветильники, которые используют красные и синие светодиоды имеют дискретный состав спектра (см. Рисунок 3). Легко заметить, что спектр таких фитосветильников в отличии от НЛВД (см. Рисунок 4) имеет высокий уровень «синих» спектральных составляющих (пропорции «синих» и «красных» составляющих могут в принципе регулироваться). Это является безусловным плюсом. Но этот спектр все-таки сильно отличается от солнечного. Каким образом такая разница может отразиться на качестве роста растений – вопрос, который требует дополнительных исследований.

Рисунок 2. Спектр белого светодиода со цветовой температурой 4000К и 5000К.

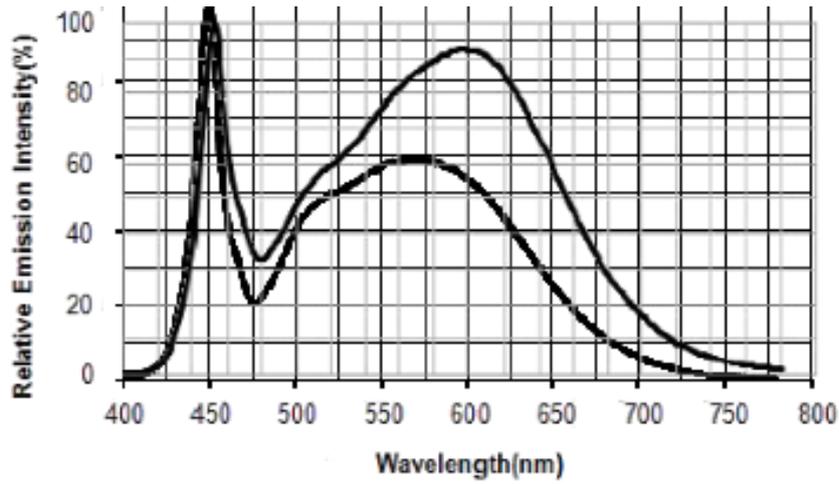


Рисунок 3. Спектр фитосветильников со цветными светодиодами.

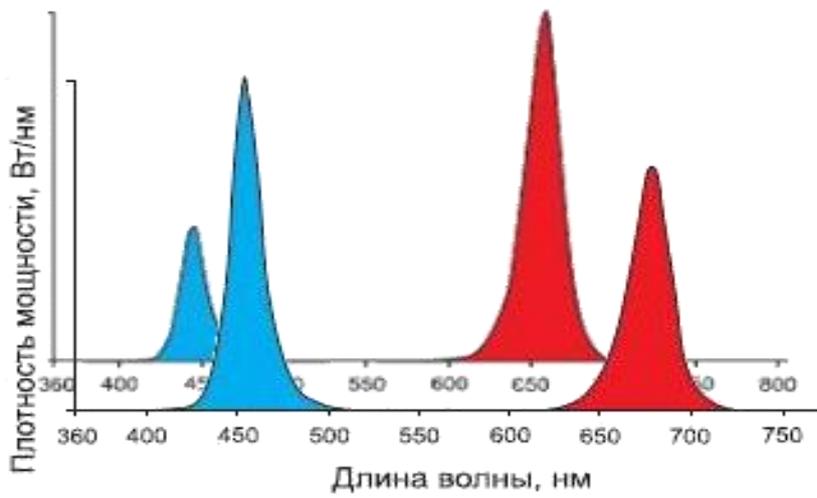
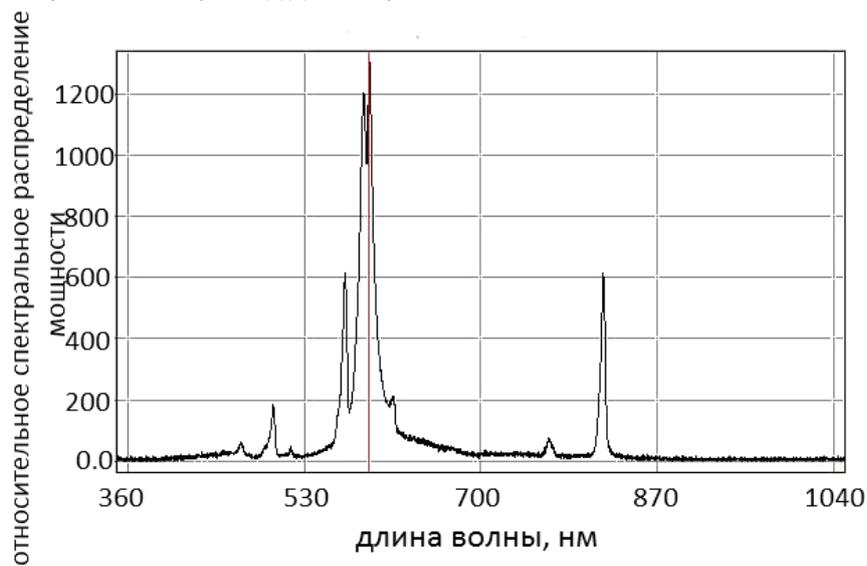


Рисунок 4. Спектр НЛВД ДНаз Рефлак.

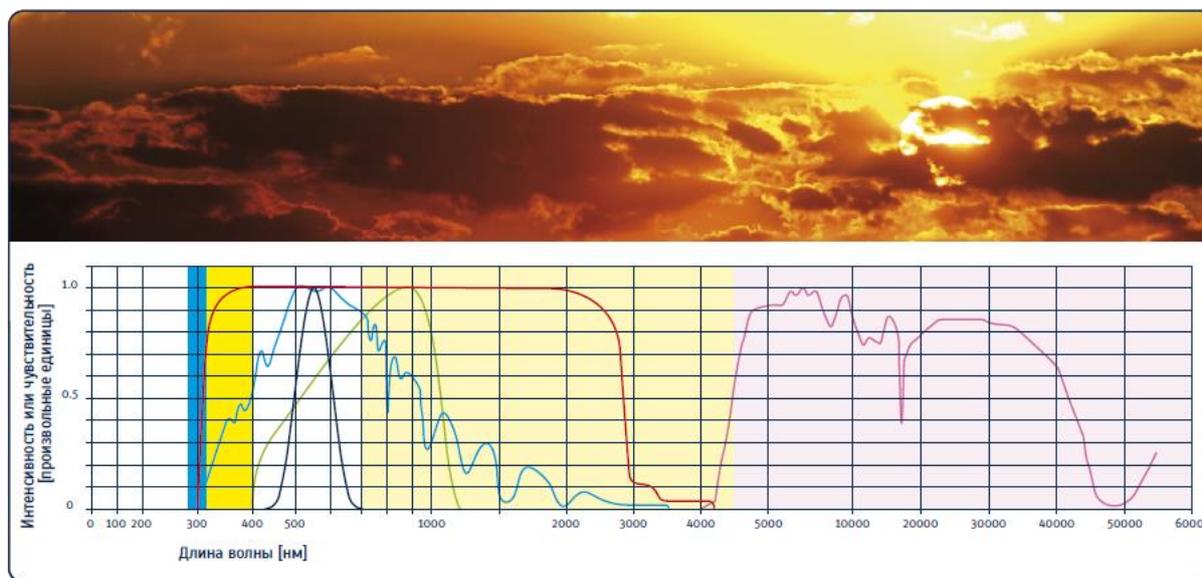


*Характерный пример. Модели белых светодиодов выпускаются с широким набором цветовых температур от 2000К до 7000К. Мощность ФАР для всех вариантов цветовых температур для конкретной модели белого светодиода будет неизменной. В то время как уровень светового потока будет различным.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Закономерные факторы, влияющие на изменчивость естественного освещения – высота солнца над горизонтом и географическая широта. К случайным факторам относятся состояние атмосферы (ясно, дождь, туман и т.п.) и эффекты отражения и поглощения света от земли и окружающих предметов.

Рисунок 5. Спектральная характеристика естественного освещения.



Участки спектра солнечного излучения. Синим цветом обозначено длинноволновое УФ-излучение, желтым – средневолновое УФ-излучение, белым – видимый свет, кремовым – ближнее инфракрасное излучение и розовым – дальнее инфракрасное излучение. Синяя линия показывает солнечное излучение на земной поверхности, черная – чувствительность человеческого глаза, зеленая – спектральную чувствительность типичного фотоэлемента, красная – чувствительность пиранометра со стеклянным куполом и розовая – чувствительность пиранометра. Для сравнения все приведено к условному максимуму 1,0.

С восходом солнца увеличивается интенсивность света и его цветовая температура. Коротковолновые лучи света (от фиолетового до зеленого) преломляются в атмосфере Земли сильнее, чем длинноволновые (желтые и красные). Поэтому первые и последние лучи солнца – синий и зеленый. Молекулы газов и аэрозоли отвечают за большую часть поглощения излучения. Рассеивание солнечного излучения на каплях воды и кристаллах льда происходит во всем спектральном диапазоне. Молекулы в основном рассеивают излучения коротких длин волн, а аэрозоли – более длинных. Это приводит к увеличению доли коротковолновых составляющих (соответственно и к росту цветовой температуры) по мере продвижения солнца к зениту.

Густота облаков, их высота и расположение по отношению к солнцу, дымка, туман, дождь, снег оказывают значительное влияние на освещенность объектов, контрастность и спектральные характеристики света. Например, при наличии кучевой облачности освещенность незатененных объектов, освещенных солнцем, увеличивается на 25%, а освещенность в тени возрастает в два с половиной раза. Контрастность освещения

снижается приблизительно в два раза в сравнении с освещением в безоблачную погоду. При сплошной облачности наблюдается значительное уменьшение освещенности и контрастности освещения.

Таблица 1. Спектральные характеристики естественного освещения.

| Фазы дневного освещения | Цветовая температура излучения, К |
|---|-----------------------------------|
| Прямые солнечные лучи при восходе и заходе солнца | 2200 |
| Прямой солнечный свет через час после восхода солнца | 3500 |
| Прямой солнечный свет ранним утром и в предвечернее время | 4000...4300 |
| Солнечный свет в полдень летом | 5400...5800 |
| Рассеянный дневной свет в тени летом | 7000 |
| Рассеянный дневной свет в пасмурную погоду | 7500...8400 |
| Свет от голубого неба | 9500...30000 |

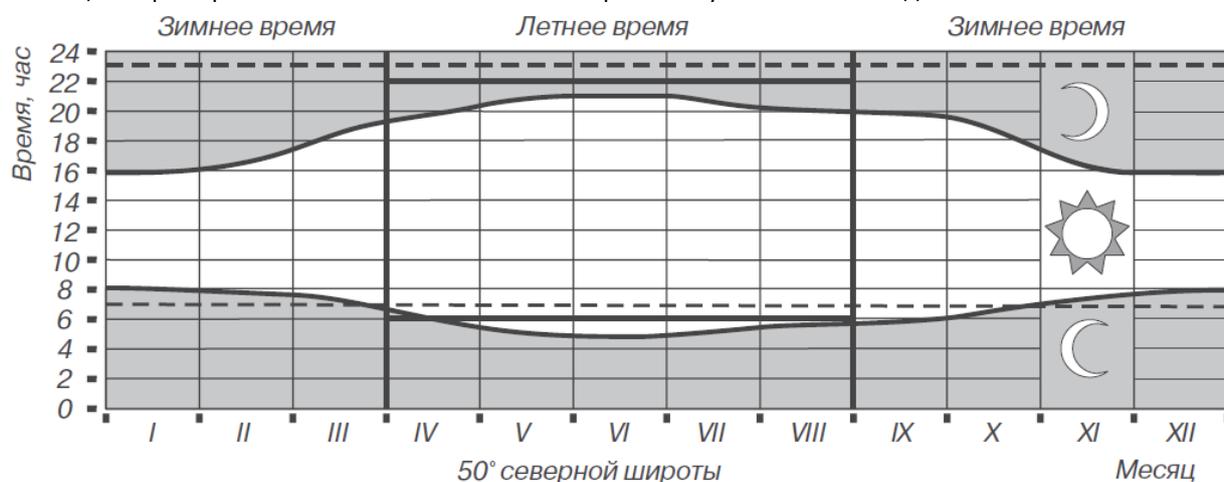
Данные приведены для средней полосы (широта 55⁰)

Таблица 2. Пример освещенности земной поверхности в безоблачную погоду в различные периоды года и часы дня, %.

| Месяцы | Время суток, час | | | | | | | | |
|-------------------|------------------|----|----|----|-----|----|----|----|----|
| | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 |
| Июнь | 1 | 3 | 6 | 89 | 100 | 89 | 58 | 24 | 1 |
| Май – июль | 1 | 19 | 54 | 79 | 91 | 79 | 51 | 17 | 0 |
| Апрель – август | 0 | 10 | 40 | 64 | 75 | 67 | 39 | 8 | 0 |
| Март – сентябрь | 0 | 1 | 24 | 47 | 58 | 49 | 23 | 1 | 0 |
| Февраль – октябрь | 0 | 0 | 7 | 26 | 35 | 26 | 7 | 0 | 0 |
| Январь – ноябрь | 0 | 0 | 2 | 12 | 19 | 13 | 2 | 0 | 0 |
| Декабрь | 0 | 0 | 1 | 8 | 13 | 8 | 0 | 0 | 0 |

Данные приведены для средней полосы (широта 55⁰)

Таблица 3. Пример изменение светлого и темного времени суток в течении года.



Как видно из вышеприведенных таблиц в зависимости от времени года изменяется не только продолжительность светлого времени суток, но и суточный уровень ФАР.

Температура на поверхности солнца составляет около 5770 К. Мощность энергии, излучаемой нашим светилом, составляет около 63 МВт с каждого квадратного метра его поверхности, всего около 3.72×10^{20} МВт. Плотность энергии солнечного излучения, которое достигает атмосферы Земли, составляет в среднем 1.367 кВт/м^2 . Эта величина называется солнечной постоянной, флуктуации которой не превышают 0.1%. Максимальная интенсивность излучения приходится на диапазон от 400 до 800 нм (см. рисунок 5). На долю ФАР приходится примерно 50% от всего солнечного излучения, достигающего поверхности Земли. В безоблачный день поток солнечной энергии, достигающий земной поверхности в местный полдень, обычно находится в интервале от 700 до 1300 Вт/м^2 в зависимости от широты, долготы, высоты над уровнем моря и времени года.

Рисунок 6. Средняя солнечная радиация на территории России (с апреля по сентябрь).



В настоящее время создана база климатологических данных и атлас ресурсов солнечной энергии. Фактологическая основа: данные наземных метеостанций РФ и базы данных NASA SSE. Данные этих служб носят интегральный характер и накапливаются годами. Имеют место быть месячные, сезонные и годовые отклонения от этих усредненных параметров. Помимо этого, количество наземных станций для территории России явно недостаточно для точных оценок по всей территории страны. Погрешность может составлять $0.5 \text{ кВт} \times \text{ч/м}^2 \times \text{день}$. Сами наземные метеостанции ведут постоянный мониторинг солнечной радиации и вблизи их расположения возможно получить довольно исчерпывающую и точную информацию.

Существует еще один интегральный источник информации. По рекомендациям Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) в качестве стандартного периода для оценивания климатических переменных, характеризующих текущий или современный климат используется период в 30 лет (в настоящее время это 1961-1990

годы). Термин «норма» по умолчанию означает среднее значение переменной величины за указанный период, а отклонение этой величины от «нормы» называют «аномалией». Доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации и аномалиях периодически публикует РОСГИДРОМЕТ.

Несмотря на то, что для некоторых территорий информация по солнечной радиации имеет достаточно большую погрешность, тем не менее, она позволяет сделать приблизительную оценку эффективности осветительной установки для теплицы с конкретными географическими координатами. На основании этих данных ООО «ЭНОВА Лайт» предоставляет своим клиентам бесплатную услугу по расчету эффективности досветки.

КАКОЙ УРОВЕНЬ ДОСВЕТКИ НЕОБХОДИМ?

Сразу следует отметить, что необходимый уровень досветки может охватывать диапазон от единиц до нескольких десятков ватт на квадратный метр в области ФАР. Все зависит от многих факторов, присущих проекту той или иной конкретной теплицы, выбора практики ее использования (сезонное или круглогодичное выращивание, культивируемые виды и сорта растений). С помощью светильников ЭЛ-008MT-240 производства ООО «ЭНОВА Лайт» достигим уровень облученности 530 Вт/м^2 , что с лихвой хватает для организации полностью искусственного освещения.

В первую очередь необходимо выяснить, какой уровень освещенности необходим для культивирования тепличных растений. В этом нам поможет опыт эксплуатации круглогодичных интенсивных производств растительной продукции [6]. Почему именно такой опыт? Потому, что в условиях таких фитокомплексов можно зафиксировать все факторы, влияющие на фотосинтез, на оптимальном уровне. Следовательно, получить объективную оценку о минимально достаточном уровне освещенности для прорастания в закрытом грунте. В условиях теплиц таких условий эксперимента достичь невозможно, поскольку все факторы подвержены постоянным изменениям.

Вспомним, что определяющими параметрами освещения для фотосинтеза являются как мощность излучения, так и длительность его воздействия в течении суток (интегральный параметр - моль/м²/день (DLI) или кВт×ч/м²×день (средняя солнечная радиация в области ФАР)).

Для запуска фотосинтеза необходимо обеспечить минимальный уровень облучения. Этот уровень носит не постоянный характер. Он непосредственно зависит от положения компенсационной точки. Под компенсационной точкой понимается та освещенность, при которой процессы фотосинтеза и дыхания растения уравниваются друг друга. Положение компенсационной точки зависит от многих факторов. В частности есть сильная зависимость от температуры. Для каждой выращиваемой культуры существуют оптимальные для произрастания диапазоны температур (дневные, ночные, стадийные (в смысле стадий роста)), влажность, баланс питания, состав атмосферы и т.д.

Для получения урожая необходимо обеспечить получение определенного уровня лучистой продуктивной энергии (ФАР) в течении суток (кВт×ч/м²×день).

Итак, согласно результатам исследований различных организаций, имеем следующие результаты (по разным причинам результаты связаны с применением НЛВД):

1. 15-30 Вт/м² – низкая интенсивность ФАР (минимально допустимая): рост вегетативных органов происходит, но не образуются полноценные генеративные органы.

2. 40 Вт/м² – согласно разработкам Института Гипронисельпрома такая ФАР с фотопериодом 14 часов (**0.56 кВт×ч/м²×день**) является оптимальной нормой облученности в теплице для выращивания рассады.

3. 65-90 Вт/м² – на высокоэффективных фитокомплексах круглогодичного интенсивного производства растительной продукции разработки Агрофизического института достигается высокая урожайность [6]. Разработчик сообщает, что на установках можно получать несколько урожаев в год (томат – 4, перец – 3, огурец – 4÷6, сельдерей листовой, укроп, петрушка – 12÷14, листовая горчица – 16÷18, кресс-салат – 20÷24). Продукция имеет высокие качественные показатели по содержанию витаминов, минеральных элементов и по другим характеристикам пищевой ценности. Содержание нитратов в ней значительно ниже установленных санитарных норм (табл.), полностью отсутствуют пестициды и другие загрязнители.

Коэффициент равномерности облученности 0.55÷0.75. Длительность облучения не указана. Видимо зависит от выращиваемой культуры (12÷16 часов).

4. 100 Вт/м² – согласно разработкам Института Гипронисельпрома такая ФАР с фотопериодом 16 часов (**1.6 кВт×ч/м²×день**) является оптимальной нормой облученности в теплице для выращивания на продукцию.

5. 150-220 Вт/м² – согласно многим источникам считается оптимальной интенсивностью ФАР, при которой наблюдается максимальное накопление биомассы в единицу времени. Фотосинтез и рост хорошо сбалансированы при фотопериоде 16 часов (**2.4÷3.52 кВт×ч/м²×день**).

6. 280-300 Вт/м² – верхний разумный предел применения досветки. В зависимости от метода управления искусственным освещением реализуется соответствующий алгоритм отключения досветки.

7. 400 Вт/м² (**фотопериод 16ч.-6.4 кВт×ч/м²×день**) и более – насыщенная интенсивность ФАР, при которой достигается выход фотосинтеза на плато светового насыщения, т.е. максимальный фотосинтез. Растения приобретают низкорослую форму.

Далее необходимо определиться с практикой использования теплицы (сезонное или круглогодичное).

При круглогодичной практике однозначно потребуется фотопериодическое освещение. Осветительная установка должна будет работать в темное время суток и должна полностью обеспечивать заданный уровень фотосинтеза. *Следует отметить, что в данной ситуации **выбор мощности осветительной установки начинает свой отсчет с минимально необходимого уровня, который не зависит от географии теплицы!!!*** От географии будет зависеть время эксплуатации осветительной установки в годовом цикле. По всей видимости минимально необходимым уровнем ФАР осветительной установки следует считать 40 Вт/м² (при фотопериоде 16 ч - **0.64 кВт×ч/м²×день**, при 20 ч - **0.8 кВт×ч/м²×день**).

До недавних пор бытовало мнение, что теплицы необходимо размещать в южных широтах, а продукцию доставлять с помощью хорошо отлаженной логистики. Сейчас в Европе благодаря развитию технологий эта концепция пересматривается в пользу размещения теплиц в непосредственной близости от потенциального потребителя. В этом случае продукция в не двусмысленном понимании попадает на прилавки буквально с «грядки». В России с ее просторами и ограниченными логистическими возможностями для многих регионов такой подход к размещению теплиц крайне актуален. Вопреки устоявшимся заблуждениям почти вся территория России имеет уровень облученности гораздо выше, чем могло бы показаться (см. рисунок 6). Некоторые северные территории в теплое полугодие имеют уровень естественного освещения сопоставимый с южными. Хотя из-за различий в микроклимате и топографии местности ошибка в выборе места расположения теплицы на сотню другую километров может привести к существенному уменьшению возможного количества солнечных дней в году.

В южных широтах летняя жара доставляет немало забот для службы эксплуатации теплицы. Необходимость проветривания понижает уровень углекислого газа вокруг растений. В полуденные часы растения могут испытывать стресс от жары. В совокупности эти факторы снижают эффективность фотосинтеза и требуют дополнительных затратных мер по компенсации негативных эффектов.

В северных широтах такая проблема постепенно сходит на нет. Но проявляется другая проблема – сильные морозы зимой. Современные теплоизоляционные материалы помогают довольно успешно решать эту проблему. В некоторых случаях заглубление теплиц до глубины, где температура грунта остается практически неизменной в течении всего года, позволит существенно снизить затраты на отопление.

Возможны различные варианты использования энергии недр как в северных, так и в южных широтах.

При слишком интенсивном облучении скорость темновых реакций фотосинтеза может не успевать за скоростью световых. В этом случае можно попробовать практику прерывистого включения досветки в темное время суток. При этом для более эффективного использования энергии света длительность темновых промежутков должна превышать длительность световых. Эффективность этого метода – научно доказанный факт.

В настоящее время карты ресурсов и базы данных солнечной энергии находятся в открытом доступе. На основании этих данных разработчик может определить условия облученности для различных территорий. Наихудшие условия по естественному освещению приходится на декабрь месяц в дни зимнего солнцестояния. Именно эти условия предъявляют требования к круглогодичной досветке.

Оценим, что может дать минимальный уровень досветки 40 Вт/м^2 с фотопериодом $16 \div 22$ часов для различных территорий. На основании данных геоинформационных систем (ГИС) мы получили показательные результаты (см. таблицу 4). Добавьте к этим результатам суточную дозу досветки (см. таблицу 5) и сделайте вывод. А вывод можно сделать следующий. Уровень досветки мощностью 40 Вт/м^2 позволяет реализовать круглогодичное выращивание растений в теплицах практически на всех широтах

России. Хотя в северных широтах для адекватных результатов этого уровня явно не достаточно.

Таблица 4.1 . Суммарная солнечная радиация в области ФАР в **декабре** (кВтч/м²/день).

| Местность | Широта/ Долгота | $P_{\text{фар. сум.}}$ кВтч/м ² /день | Продолжительность светового дня, $T_{\text{св}}$ (час:мин) | Средняя мощность, $P_{\text{ср}}$ (Вт/м ²) |
|-----------------|--------------------|---|--|--|
| Махачкала | 42/47 | 0.74 | 09:04 | 84 |
| Кисловодск | 43/42 | 0.76 | 08:57 | 85 |
| Мин. Воды | 44/43 | 0.6 | 08:53 | 67 |
| Краснодар | 45/38 | 0.51 | 08:49 | 63 |
| Таганрог | 47/38 | 0.5 | 08:33 | 59 |
| Воронеж | 51/39 | 0.39 | 07:53 | 50 |
| Иркутск | 52.3/104.3 | 0.44 | 07:47 | 57 |
| Новосибирск | 55/82 | 0.25 | 07:16 | 34 |
| Северобайкальск | 55.6/109.3 | 0.33 | 07:12 | 45 |
| С.-Петербург | 59/30 | 0.13 | 06:02 | 22 |
| Магадан | 59/150 | 0.13 | 06:15 | 21 |
| Якутск | 62/130 | 0.06 | 05:19 | 12 |
| Анадырь | 65.1/175.3 | 0.02 | 04:06 | 5 |
| Норильск | 69/88 | 0 | 0 | 0 |
| о. Шмидта | 81/91 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 4.2 . Суммарная солнечная радиация в области ФАР в **январе и феврале** (кВтч/м²/день).

| Местность | Январь | | | Февраль | | |
|-----------------|---|---------------------------|---|---|------------------------------|---|
| | $P_{\text{фар. сум.}}$ кВтч/м ² /день | $T_{\text{св}}$ (час:мин) | $P_{\text{ср}}$ (Вт/м ²) | $P_{\text{фар. сум.}}$ кВтч/м ² /день | $T_{\text{св}}$ (час:мин) | $P_{\text{ср}}$ (Вт/м ²) |
| Махачкала | 0.89 | 09:25 | 94 | 1.25 | 10:33 | 119 |
| Кисловодск | 0.9 | 09:20 | 97 | 1.35 | 10:30 | 129 |
| Мин. Воды | 0.74 | 09:16 | 80 | 1.12 | 10:28 | 107 |
| Краснодар | 0.62 | 09:13 | 67 | 1 | 10:26 | 99 |
| Таганрог | 0.64 | 08:58 | 71 | 1.05 | 10:18 | 102 |
| Воронеж | 0.5 | 08:24 | 62 | 0.99 | 10:00 | 99 |
| Иркутск | 0.58 | 08:18 | 70 | 1.1 | 09:56 | 115 |
| Новосибирск | 0.25 | 07:53 | 31 | 0.83 | 09:43 | 85 |
| Северобайкальск | 0.44 | 07:45 | 57 | 0.69 | 09:40 | 92 |
| С.-Петербург | 0.22 | 06:52 | 32 | 0.6 | 09:12 | 65 |
| Магадан | 0.21 | 06:55 | 31 | 0.6 | 09:15 | 65 |
| Якутск | 0.14 | 06:16 | 23 | 0.58 | 08:54 | 68 |
| Анадырь | 0.07 | 05:13 | 14 | 0.33 | 08:25 | 39 |
| Норильск | 0.005 | 03:14 | 1 | 0.17 | 07:28 | 23 |
| о. Шмидта | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 4.3 . Суммарная солнечная радиация в области ФАР в **марте и апреле** (кВтч/м²/день).

| Местность | Март | | | Апрель | | |
|------------|---|---------------------------|---|---|------------------------------|---|
| | $P_{\text{фар. сум.}}$ кВтч/м ² /день | $T_{\text{св}}$ (час:мин) | $P_{\text{ср}}$ (Вт/м ²) | $P_{\text{фар. сум.}}$ кВтч/м ² /день | $T_{\text{св}}$ (час:мин) | $P_{\text{ср}}$ (Вт/м ²) |
| Махачкала | 1.69 | 11:59 | 141 | 2.15 | 13:26 | 160 |
| Кисловодск | 1.86 | 11:59 | 155 | 2.23 | 13:29 | 165 |

| Местность | Март | | | Апрель | | |
|-----------------|---|---------------------------|---|---|------------------------------|---|
| | Р _{фар. сум.} кВтч/м ² /день | Т _{св} (час:мин) | Р _{ср} (Вт/м ²) | Р _{фар. сум.} кВтч/м ² /день | Т _{св} (час:мин) | Р _{ср} (Вт/м ²) |
| Мин. Воды | 1.55 | 11:58 | 129 | 2.13 | 13:30 | 158 |
| Краснодар | 1.49 | 11:58 | 124 | 2.1 | 13:33 | 155 |
| Таганрог | 1.49 | 11:58 | 124 | 2.05 | 13:40 | 154 |
| Воронеж | 1.58 | 11:57 | 132 | 1.97 | 13:57 | 141 |
| Иркутск | 1.87 | 11:56 | 157 | 2.44 | 13:59 | 173 |
| Новосибирск | 1.5 | 11:55 | 127 | 2.2 | 14:11 | 156 |
| Северобайкальск | 1.5 | 11:55 | 139 | 2.31 | 14:15 | 162 |
| С.-Петербург | 1.23 | 11:55 | 103 | 1.96 | 14:40 | 134 |
| Магадан | 1.36 | 11:55 | 114 | 2.16 | 14:45 | 147 |
| Якутск | 1.41 | 11:52 | 119 | 2.28 | 14:54 | 152 |
| Анадырь | 0.9 | 11:51 | 76 | 1.78 | 15:10 | 118 |
| Норильск | 0.72 | 11:49 | 61 | 1.72 | 16:14 | 106 |
| о. Шмидта | 0.19 | 12:44 | 15 | 1.25 | 22:00 | 57 |

Таблица 4.3 . Суммарная суточная доза досветки (кВтч/м²/день).

| Мощность Досветки (Вт/м ²) | Продолжительность досветки (час) | | | |
|---|----------------------------------|-------------|------------|-------------|
| | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 10 | 0.16 | 0.18 | 0.2 | 0.22 |
| 20 | 0.32 | 0.36 | 0.4 | 0.44 |
| 30 | 0.48 | 0.54 | 0.6 | 0.66 |
| 40 | 0.64 | 0.72 | 0.8 | 0.88 |
| 50 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 |
| 60 | 0.96 | 1.08 | 1.2 | 1.32 |
| 70 | 1.19 | 1.26 | 1.4 | 1.54 |
| 80 | 1.28 | 1.44 | 1.6 | 1.76 |
| 90 | 1.44 | 1.62 | 1.8 | 1.98 |
| 100 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 |

Данные таблиц 4 и 5 указывают на то, что в летние месяцы в южных и средних широтах возникнет необходимость выключения досветки в полуденные часы. Но полностью отказываться от досветки не придется даже в летние дни. Поддержание фотопериода на должном уровне с одновременным поддержанием достаточно высокой мощности облучения даст по-настоящему повышенную эффективность теплицы.

Если Вы перейдете на более высокие уровни досветки (60÷100 Вт/м²), то получите высокую урожайность качественной продукции в зимние месяцы. В условиях заполярного круга могут быть использованы два типа освещения растений. Первый, это полностью искусственное освещение в закрытых отапливаемых помещениях круглый год. Второй, это по окончании полярной ночи перемещение растений в отапливаемые теплицы (оранжереи). Малые габариты и вес светильников производства ООО «ЭНОВА Лайт» допускают быстрое и легкое их переподключение в нужное место в нужное время. Такое свойство наших светильников может быть полезно для фермерских теплиц. В зависимости от времени года фермер может при ограниченности мощности осветительной установки сконцентрировать свет на отдельных участках

теплицы. Чтобы избежать единовременных высоких затрат на осветительную установку фермер может изначально установить минимально необходимый уровень досветки с последующим наращиванием ее мощности по мере возможности.

Немного об уровне досветки 15-30 Вт/м². Вероятно, для некоторых культур и при определенных условиях можно будет добиться круглогодичного роста. Такой уровень досветки будет хорош для ассимиляционного освещения, который поможет несколько увеличить фотопериод, поднять урожайность и качество продукции. Более низкие уровни досветки тоже имеют право на существование. Но результат будет соответствующий.

Рассчитать параметры осветительной установки для Вашей теплицы можете с помощью калькулятора на нашем сайте www.enova-l.ru.

Продолжение следует. Нам еще есть, что сообщить Вам.

Периодически посещайте наш сайт.

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_vibronnyuyu_kvantovuyu_kogerentnost, 2014 г.
4. Измерение солнечного излучения в солнечной энергетике, Kipp & Zonen B.V. (www.kippzonen.com), 2016 г.
5. <http://gisre.ru>
6. Г.Г. Панова, И.Н. Черноусов, О.Р. Удалова, А.В. Александров, И.В. Карманов, Л.М.Аникина, В.Л.Судаков. Фитокомплексы в России: основы создания и перспективы использования для круглогодичного получения качественной растительной продукции в местах проживания и работы населения // ОБЩЕСТВО, СРЕДА, РАЗВИТИЕ. – 2015, № 4. – с. 196-203.
7. Н.Н. Протасова. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений. Физиология растений. 1987. Т. 34. Вып. 4.

А. П. Гавриленко – Ген. директор ООО «ЭНОВА Лайт»

344114, г. Ростов-на-Дону, ул. Орбитальная 78/2, к.249.
Телефон: (863)-298-3603, +7-918-558-3603.
info@enova-l.ru