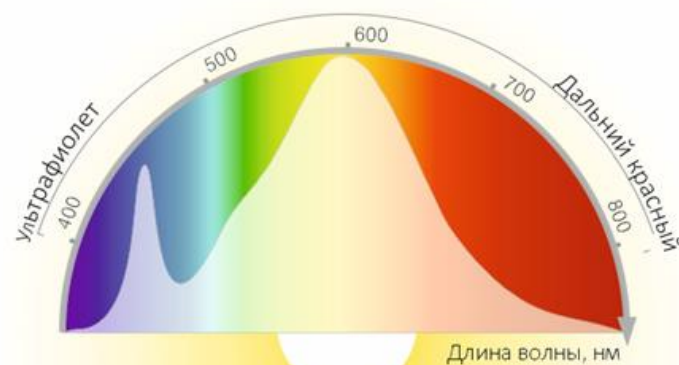


ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ РАСТЕНИЙ В КУЛЬТИВАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЁННОГО ГРУНТА

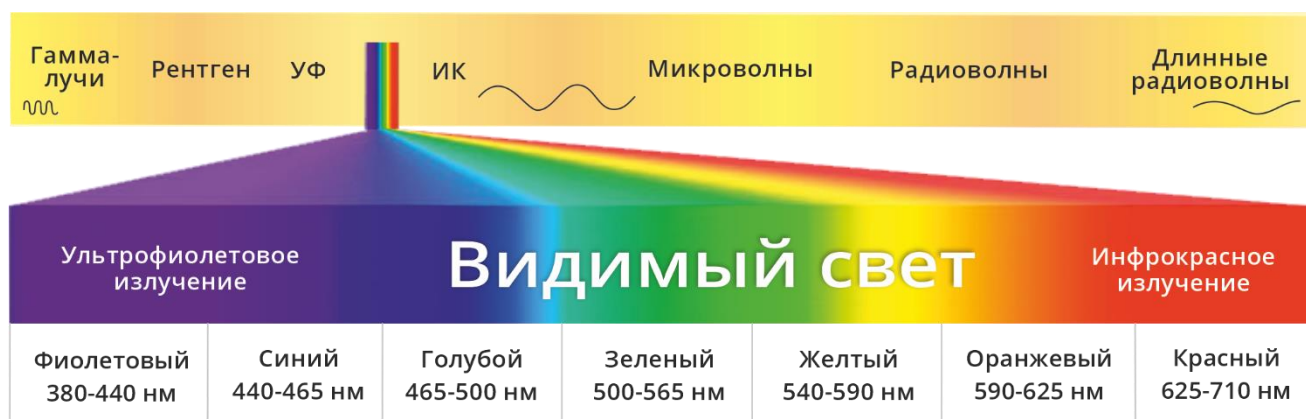


Минск 2022

Солнечный свет и растения

Солнечный свет можно рассматривать как часть глобального электромагнитного излучения, включающего: радио- и звуковые волны, длинноволновое инфракрасное (ИК, 700 – 3000 нм); видимое (ФАР, 380 – 710 нм), коротковолновое ультрафиолетовое (УФ, 200 – 380 нм) и рентгеновское излучения. Видимое излучение – электромагнитные волны, воспринимаемые человеческим глазом. Чувствительность человеческого глаза к электромагнитному излучению зависит от длины волны излучения, при этом максимум чувствительности приходится на 555 нм. Поскольку при удалении от точки максимума чувствительность падает до нуля постепенно, указать точные границы спектрального диапазона видимого излучения невозможно. Обычно в качестве коротковолновой границы принимают участок 380 - 400 нм, а в

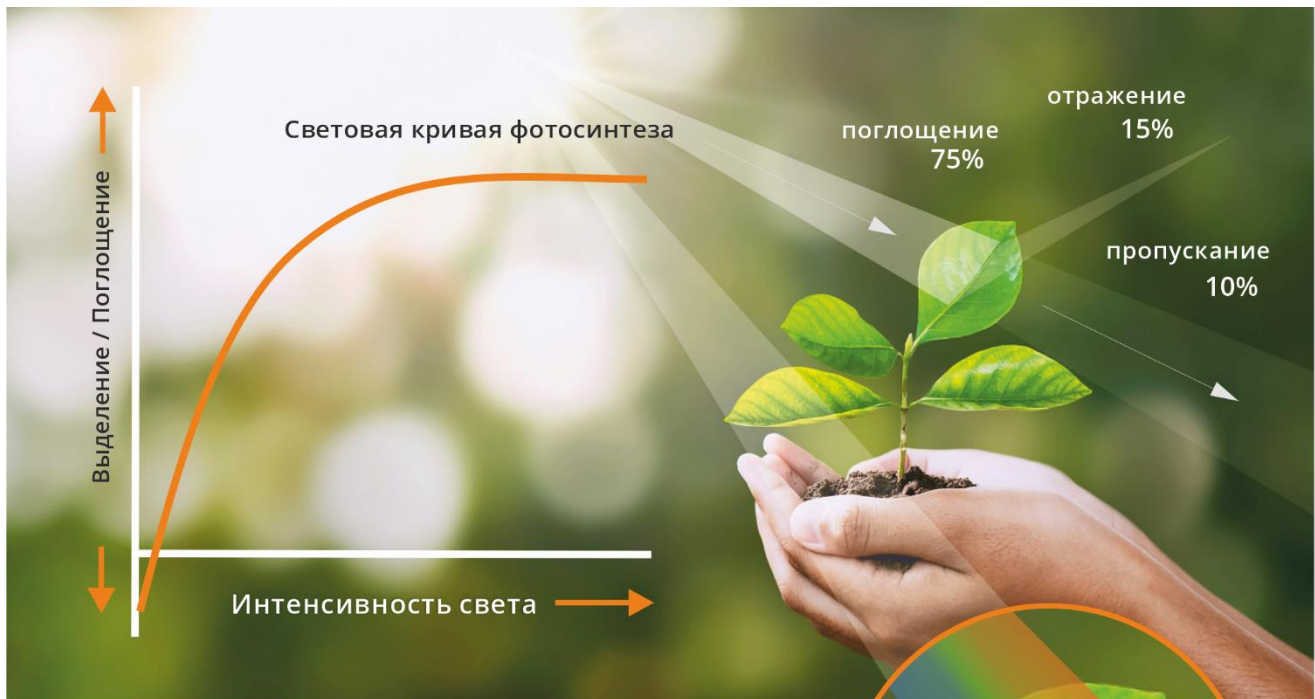
качестве длинноволновой – 760 - 780 нм. Электромагнитное излучение с такими длинами волн также называется видимым светом, или просто светом (в узком смысле этого слова). При разложении луча белого цвета в призме образуется спектр, в котором излучения разных длин волн преломляются под разными углами. Цвета, входящие в спектр, то есть такие цвета, которые могут быть получены с помощью света одной длины волны (точнее, с очень узким диапазоном длин волн), называются спектральными цветами. Указанные границы диапазонов носят условный характер, в действительности же цвета плавно переходят друг в друга, и расположение видимых наблюдателем границ между ними в большой степени зависит от условий наблюдения.



Поток солнечной радиации через единицу поверхности называется энергетической облученностью (интенсивностью радиации) и в системе СИ измеряют в Вт/м², а суммарную радиацию (дозу облучения) – в Дж/м². В международной практике часто применяют понятие фотосинтетической фотонной облученности, выраженной через плотность потока фотонов (PPFD – Photosynthetic Photon Flux Density) – количество фотонов, проходящих через единицу площади поверхности в единицу времени. Так как количество фотонов измеряется большими числами, то условно принято за единицу количества фотонов применять число Авогадро (6,022 x 10²³ моль⁻¹). Таким образом фотонную облученность измеряют в производных величинах: мкмоль/м², а дозу облучения – моль/м². Дневную дозу облучения в международной практике называют DLI (Daily Light Integral).

В практике овощеводства защищённого грунта применяют также такое понятие, как

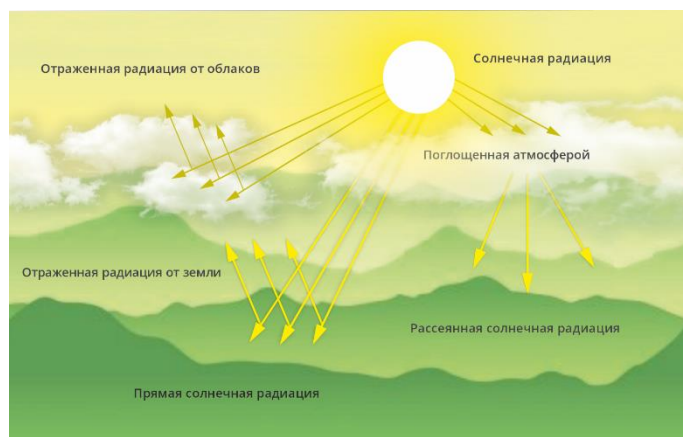
освещенность. Освещенность – это величина, равная отношению светового потока, выражаемого в люменах (лм), падающего на поверхность, к её площади. Освещенность измеряется в люксах (лк), 1 лк = 1 лм/м². Существенным недостатком использования единицы измерения освещенности «люкс» при определении интенсивности света в условиях светокультуры является низкая чувствительность приборов к синему и красному диапазонам спектра, наличие которых в общем световом потоке необходимо для нормального роста и развития растений. В то же время зеленый свет, имеющий меньшую физиологическую значимость для растений, чем синий и красный, представляются в световой системе единиц как наиболее важный. Таким образом, измерения в люксах «занижают» долю энергии, излучаемую в «синей» и «красной» областях спектра.



Солнечный свет поступает на Землю в виде прямой радиации (почти параллельных лучей) и рассеянной радиации после рассеивания атмосферой и отражения от облаков. Вместе они образуют суммарную солнечную радиацию. Суммарную фотосинтетическую активную радиацию (ФАР) можно приблизительно рассчитать по формуле:

$$Q = 0,43 \cdot S + 0,57 \cdot D,$$

где Q – суммарный объём ФАР;
 S – суммарная прямая радиация;
 D – суммарная рассеянная радиация.



Для обобщенной оценки суммарной ФАР можно применить практичный подход:
 суммарная ФАР \approx 50% солнечной радиации.

Около 75% ФАР улавливается листьями растений, примерно 15% отражается и приблизительно 10% проходит сквозь листья. Это распределение световой энергии не изменяется в различные часы дня. Энергия преобразуется при биохимических процессах или отдается в окружающий воздух. Не более 5% солнечной энергии используется для фотосинтеза. Интенсивность фотосинтеза сильно зависит от облученности фитоценоза фотосинтетической активной радиации (фотосинтетическая облученность). Эта зависимость выражается логарифмической кривой, получившей название световой кривой фотосинтеза.

Фотосинтетический аппарат растений приспособлен к использованию незначительной облученности (у большинства растений фотосинтез начинается уже при облученности 5 Вт/м²). Полное дневное освещение в полдень летнего солнечного дня достигает на поверхности Земли примерно 450 Вт/м² ФАР или 2000 мкмоль/м² ФАР (около 100 000 лк и более).

Можно выделить три характерных участка кривой фотосинтеза:

01 Прямолинейный участок до уровня облученности 100 ... 150 Вт/м² или 500 ... 750 мкмоль/м²•с ФАР (20000 ... 30000 лк). На этом участке скорость фотосинтеза растет пропорционально росту облученности.

02 Криволинейный участок до уровня облучённости 250 ... 300 Вт/м² или 1250 ... 1500 мкмоль/м²·с ФАР (50000 ... 60000 лк). На этом участке скорость фотосинтеза замедляется, но продолжает увеличиваться, хотя и не пропорционально росту облучённости.

03 Прямолинейный участок. На этом участке дальнейшее увеличение облучённости не вызывает изменения скорости фотосинтеза. Последнее состояние называют состоянием светового насыщения. У растений умеренной зоны световое насыщение наступает при облучённости 100...200 Вт/м² или 500...1000 мкмоль/м²·с ФАР (20000...40000 лк).

Облучённость, при которой интенсивность фотосинтеза равна интенсивности дыхания, называют световой компенсационной точкой.

Около 75% света поглощается растениями. Наиболее высокий уровень поглощения наблюдается в сине-фиолетовой области, наиболее низкий – в зелёной области спектра. Уровень поглощения света по спектральным диапазонам в первом приближении оценивается приблизительно следующим образом:

«синяя» область – B (400 – 500 нм)	≈ 90%
«зелёная» область – G (500 – 600 нм)	≈ 60%
«красная» область – R (600 – 700 нм)	≈ 80%

Свет, как физический фактор внешней среды, играет ключевую роль в контроле и регуляции внутриклеточных процессов растительного организма на протяжении всей его жизни, выполняя в клетке две основные функции – энергетическую и информационную. Первая реализуется в процессе фотосинтеза, в ходе которого энергия света трансформируется в химическую энергию связей органических соединений. Вторая функция света заключается в запуске разнообразных регуляторных реакций, при этом кванты света выступают в качестве носителя информации. В случае регуляторных реакций свет поглощается специализированными фоторецепторами, поглощение света которыми инициирует в клетке сигнальные каскады, модулирующие активность ферментов, экспрессию генов, а также различные физиологические параметры клетки.

В высших растениях функционирует несколько сложных фоторецепторных белковых систем для восприятия света различного спектрального состава: красного/дальнего красного (фитохромы), синего/УФ-А (криптохромы, фототропины, ZTL/FKF1/LKP2) и УФ-В света (UVR8). Изменения светового режима роста растений вызывают обширное перепрограммирование характера экспрессии генов в растениях за счет передачи сигналов от

фоторецептора через сложные сети вторичных мессенджеров к различным эффективным системам. За счет этого фоторецепторные системы оказывают огромное влияние на процессы, ассоциированные с ростом и развитием растений, а также на формирование их биологически полезных свойств. С помощью изменений спектрального состава облучательных установок, применяемых в теплицах, можно варьировать полезные характеристики растительных тканей, важные как для обеспечения интенсивного роста и развития растений в теплице, так и улучшающих качество будущей растительной продукции (за счет увеличения содержания питательных веществ или соединений с органолептическими и фармакологическими свойствами).

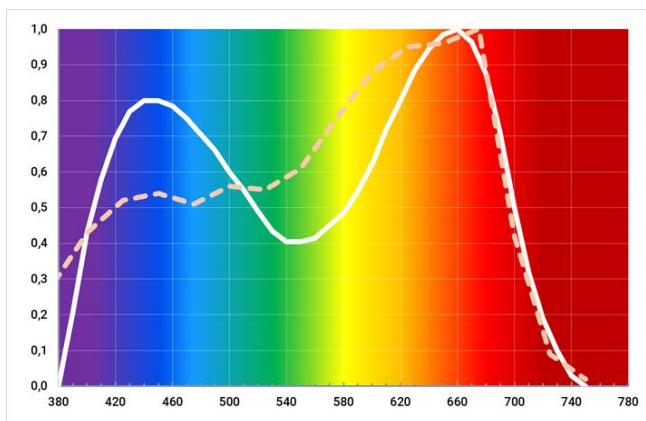
Наиболее быстро фотосинтез идет в красных и сине-фиолетовых лучах, потому что они лучше поглощаются пигментами листа растения. Зависимость эффективности химического (биологического) действия света от длины его волны называют спектром действия, поэтому зависимость интенсивности фотосинтеза от длины световой волны – спектром действия фотосинтеза. Максимальная интенсивность фотосинтеза наблюдается при освещении красными лучами. Интенсивность и спектральный состав света влияют на химический состав продуктов фотосинтеза. При высокой освещенности больше образуется углеводов, при низкой – органических кислот. Красный свет стимулирует образование углеводов и растяжение клеток, тормозит образование боковых корней. Синий свет стимулирует дыхание, образование аминокислот и белков, стимулирует деление клеток, но тормозит их растяжение. У растений, выращенных на синем свету, хлоропласты имеют хорошо развитые граны, а у растений, выращенных при красном свете, граны недоразвиты.

В настоящее время разработаны модели спектров действия: фотосинтеза листа, синтеза хлорофилла, фотоморфогенеза, фототропизма. В Европейском Союзе с 01.03.2018 введён в действие стандарт DIN5031-10-2018 «Физика оптических излучений и светотехника. Фотобиологически активное излучение. Размеры, условные обозначения и спектры действия».

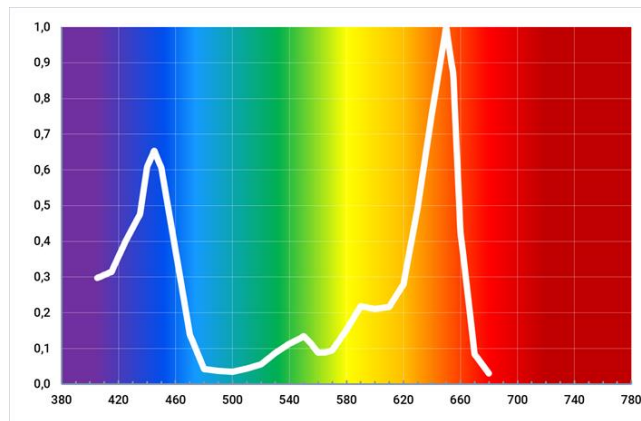
Экспериментальные зависимости указывают на особую роль «фиолетово-синей» и «красной» областей спектра в обеспечении фотосинтеза и, следовательно, жизнедеятельности растения в целом. Однако этот вывод носит лишь фундаментальный качественный характер. Попытки построить на полученной экспериментальным или расчётным путём функции спектральной фотосинтетической эффективности оптического излучения для растений оказались неудачными. Сегодня можно утверждать, что прямая

корреляционная связь между интенсивностью, точнее, количественной мерой фотосинтеза, и накоплением общей и тем более полезной биомассы (урожаем) в большинстве случаев у растений отсутствует. Исследования показывают, что «двугорбая» функция

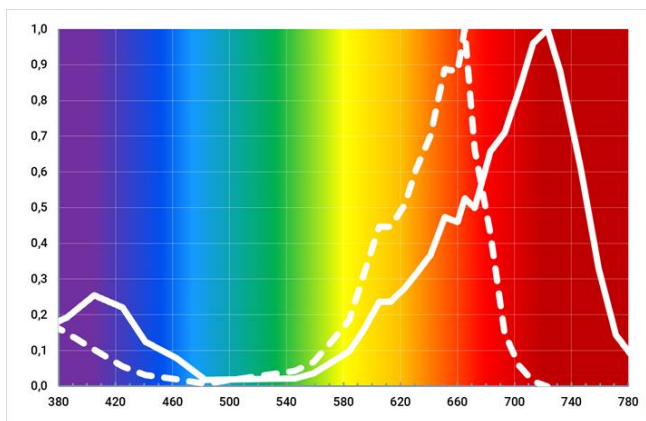
фотосинтетической эффективности при переходе от листа к растению и, затем, к сообществу растений (фитоценозу) всё более приближается к П-образной, т.е. равно энергетической («солнечной»).



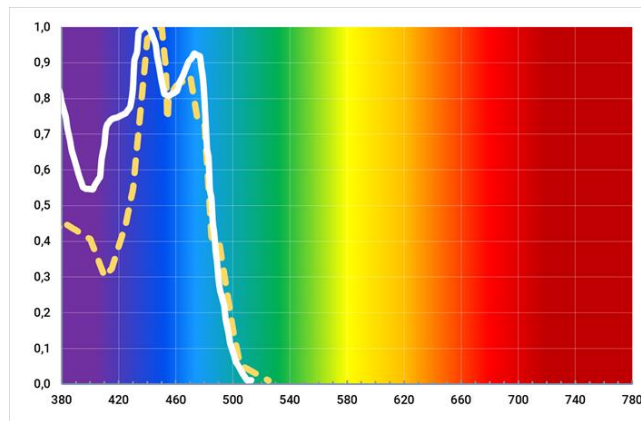
Спектр действия фотосинтеза



Спектр действия синтеза хлорофилла



Спектр действия фотоморфогенеза



Спектр действия фототропизма

Кроме того, рост и развитие растения, как сложного организма, определяется не только фото-энергетическими процессами (фотосинтез), но и фото-регуляторными (важнейший – фотоморфогенез), регулирующими обмен веществ (метаболизм) растений. Существующие различия в реакции на спектральный состав воздействующего оптического излучения накладывают видовые особенности растений, а также прочие важнейшие параметры окружающей среды (температура, влажность, содержание углекислого газа и т.д.).

С учётом изложенного, единственно правильным методом определения спектральных характеристик оптического излучения, обеспечивающего наилучший полезный эффект для конкретных видов культур, является специальный фотобиологический эксперимент в контролируемой среде.

Свет влияет на работу устьичных клеток и является главным фактором, регулирующим

транспирацию: на фотосинтез, расходуется менее 5% поглощенного света, остальной свет превращается в тепловую энергию, расходуемую на испарение воды.

Свет влияет также и на поглощение элементов питания: в темноте оно замедляется и, постепенно, прекращается и усиливается на свету, особенно при возрастании транспирационного потока. Сокращение светлого периода суток тормозит поглощение азота и синтез аминокислот. Также при недостатке света плохо развивается корневая система. На состав продуктов фотосинтеза влияет и быстрый переход от темноты к свету и обратно. Сначала после включения света высокой интенсивности преимущественно образуются неуглеводные продукты и лишь через некоторое время – углеводы. После выключения света, наоборот, листья не сразу теряют способность к фотосинтезу. Сначала тормозится синтез углеводов и лишь потом органических кислот и аминокислот.

Представления о влиянии на жизнедеятельность растений отдельных диапазонов ФАР и прилегающих к ней УФ и ИК областей оптического излучения по мере накопления экспериментальных данных претерпевают некоторые изменения. В частности, развиваются представления о сигнальной или

регуляторной роли диапазонов оптического излучения 300 – 400 нм и 700 – 800 нм. Непосредственно не участвуя в фотосинтезе, они существенно на него влияют и оказывают воздействие на рост и развитие растений, формируя, в частности, их адаптивные реакции.

Влияние света на растения

УФ-С	200 – 280 нм	Излучение губительно для жизнедеятельности растений. Практически отсутствует в солнечном свете у поверхности Земли. Излучение вызывает фотолиз воды, образуя свободные активные радикалы и перекись водорода, а последние, в свою очередь, окисляют и разрушают органические молекулы – живые клетки начинают отмирать
УФ-В	280 – 320 нм 320 – 350 нм	Излучение может повышать холодостойкость у растений Излучение в малых дозах может усиливать пигментацию растений и приводить к ускорению роста и увеличению продуктивности растений
УФ-А	350 – 400 нм	Излучение задерживает «вытягивание» растений и стимулирует синтез некоторых витаминов, увеличивает синтез алкалоидов и эфирных масел, что может вызывать покраснение листьев салата
Синий	400 – 500 нм	Излучение принимает непосредственное участие в фотосинтезе, стимулирует образование белков и регулирует скорость развития растения. Синий свет, образуя в листьях значительное количество ингибиторов роста, тормозит рост побегов и приводит к формированию низкорослых растений, стимулируя цветение растений короткого дня, замедляет развитие растений длинного дня.
Зелёный	500 – 600 нм	Излучение по классическим представлениям не является абсолютно необходимым для обеспечения фотосинтеза растений, но благодаря своей высокой проникающей способности полезно для обеспечения фотосинтеза оптически плотных листьев и густых посевов растений. В последние годы в фотобиологических исследованиях практической направленности появляется всё больше данных о значительной роли этого диапазона спектра при выращивании растений по технологии светокультуры.
Красный	600 – 700 нм	Излучение имеет наибольшее значение в жизнедеятельности растений. Оно, безусловно, должно входить в состав общего излучения для обеспечения эффективного фотосинтеза и достижения высокой продуктивности. Однако, квазимонохроматический красный свет может приводить к аномальному росту и развитию, а в ряде случаев и к гибели некоторых видов растений.
Дальний красный	700 – 800 нм	Излучение обладает ярко выраженным регуляторным действием. Обязательно должно входить в состав излучения в количестве нескольких процентов.
Инфракрасный	> 800 нм	Излучение не может инициировать фотохимические реакции. Инфракрасное излучение некоторых длин волн поглощается молекулами воды, содержащихся в растениях, и, таким образом, может повышать температуру растений

Количество света и растения

Получение хорошего хозяйственно-полезного урожая овощей и другой растениеводческой продукции возможно при гармоничном балансе факторов абиотической среды.



Необходимо принимать во внимание не только интенсивность облучения растений, но длительность фотопериода, который будет применяться в конкретном технологическом процессе. Произведение интенсивности ФАР и длительности фотопериода составляет дозу облучения растений, то есть количество приходящей к растениям энергии в области ФАР. Одинаковые дозы облучения растений можно получить при низком уровне облученности, соответствующему слабому фотосинтезу и продолжительному фотопериоду, так и наоборот, при высоком уровне облученности, соответствующему интенсивному

фотосинтезу и сокращенному фотопериоду. Поэтому определять интенсивность облучения и продолжительность фотопериода необходимо в определенном соотношении в соответствии с агротехнологией.

Максимальные значения КПД фитоценозов в расчете на хозяйственно полезную биомассу основных светокультур овощеводства закрытого грунта находятся в диапазонах облученности:

- огурец 100-150 Вт/м²
- томаты 150-180 Вт/м²

Согласно разработкам Института Гипрони-сельпром (Россия), рекомендуется следующая оптимальная нормируемая облучённость в теплице:

40 Вт/м² (180 – 200 мкмоль/м²•с) ФАР с фотопериодом 14 часов при выращивании рассады;
100 Вт/м² (450 – 500 мкмоль/м²•с) ФАР с фотопериодом 16 часов при выращивании растений на продукцию.

В этом случае оптимальное суточное количество облучения (доза) составит:

➤ для рассады:

560 Вт•ч/м² или 2,0 МДж/м² или 9 – 10 моль/м²

➤ для выращивания растений на продукцию:

1600 Вт•ч/м² или 5,8 МДж/м² или 26–29 моль/м².

Отраслевые рекомендации для томатов:

В день для поддержания жизни растения томата необходимо ≈ 1,0 МДж/м² или 5 моль/м². Для развития каждой кисти еще дополнительно по 0,4 ... 0,85 МДж/м² или 2 ... 4 моль/м². Количество необходимого света зависит от типа томата (крупноплодный, кистевой, коктейльный или томат черри), от плотности посадки растений и плодовой нагрузки на 1 м² площади. При этом для создания резерва молодые растения с одной кистью должны получать до 3 МДж/м² или 15 моль/м² в день. Таким образом, при формировании фитоценоза томата, имеющего 8 – 9 кистей на стебле, потребность в ФАР составляет примерно 8,5 МДж/м² или 40 моль/м².

Концептуальным ориентиром при проектировании технологического освещения теплиц являются НТП 10-95 «Нормы технологического проектирования нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады» (Россия):

«6.1.1. В рассадных отделениях (теплицах) овощных теплиц минимальная суммарная (естественная + искусственная) облученность должна быть не менее 25 Вт/м² ФАР (120 мкмоль/м²•с). Суточное количество ФАР не менее 250 Вт х ч/м² ФАР (0,9 МДж/м²•дн или 4,5 моль/м²•дн).

6.1.2. В овощных теплицах облученность должна быть не менее 70 Вт/м² ФАР (320 мкмоль/м²•с), суточное количество ФАР для овощных культур в период плодоношения составляет не менее 900 Вт х ч/м² ФАР (3,2 МДж/м²•дн или 15 моль/м²•дн).

6.1.3. При разработке культурооборотов следует учитывать суточное количество естественной ФАР, проходящее в теплицу. Если суточное количество ФАР, проходящее в теплицу, составляет менее 0,9 минимального физиологического критерия, рекомендуется предусматривать дополнительное искусственное облучение.

6.1.4. При выращивании растений в условиях искусственного облучения для семян и рассады

рекомендуется принимать облученность 80 Вт/м² (350 мкмоль/м²•с), для овощных культур 80 – 160 Вт/м² ФАР (350 – 700 мкмоль/м²•с)».

Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады НТП 10-95 разработаны Государственным научно-исследовательским и проектным институтом по созданию объектов хранения, переработки плодоовощной продукции, теплиц и сооружений искусственного климата «Гипронисельпром» Минсельхозпрода (Российская Федерация), согласованы Главгосэкспертизой при Минстрое России N 24-3-1/5-122 от 27.09.1995, Госкомитетом по санэпиднадзору России N 11-13/806-115 от 15.04.1996, Главным управлением Государственной противопожарной службой МВД России N 20/2.2/1392 от 19.07.1995, Республиканской производственно-научной Ассоциацией «Теплицы России» N 10 от 04.04.1996.

Фотопериод, облучённость агрофитоценоза, пространственная структура светового поля и спектральный состав оптического излучения – основные светотехнические параметры для выращивания растений в условиях защищённого грунта.

Прямая связь между урожаем и интенсивностью фотосинтеза наблюдается не всегда. Наибольшая интенсивность фотосинтеза наблюдается у растений пустынь и полупустынь, а растения растут там крайне медленно. В тропиках условия для роста благоприятны, но интенсивность фотосинтеза низкая. Средняя скорость фотосинтеза в полевых условиях в 5 раз меньше потенциальной, а в экстремальных условиях нередко падает до нуля. Путь к повышению средней устойчивой интенсивности фотосинтеза – создание оптимальных условий микроклимата для растений.

Большое значение имеет скорость формирования и конечная площадь листьев. Если у растений формируется маленькая листовая поверхность, то урожай низкий; если много листьев, то нижним листьям может не хватать света, и интенсивность фотосинтеза будет на уровне компенсации. Для характеристики площади листьев обычно используют величину листового индекса. Индекс листовой поверхности (ИЛП) – это отношение суммарной поверхности всех листьев к площади почвы, занимаемой данными растениями. Оптимальная для посева площадь листьев зависит от расположения на стебле. Чем более вертикально расположены листья, тем меньше верхние листья затеняют нижние и тем больше, может быть, индекс листовой поверхности.

Как правило ИЛП колеблется от 2,0 до 3,7. Однако у пшеницы доходит до 7. У сахарного тростника, как и у других тропических злаков, теоретически может достигать 15. У растений, имеющих прилегающие

к земле розетки листьев, максимальная интенсивность фотосинтеза в посевах достигается уже при ИЛП, равном 1,0 – 1,5. В то же время растения с узкими листьями, расположенными на побеге более или менее вертикально и равномерно, имеют высокую интенсивность фотосинтеза при ИЛП, равном 4 ... 5, а у пшеницы – до 8...10. Высокоурожайные сорта сахарной свеклы имеют приподнятые над землёй воронкообразные розетки листьев, а низкоурожайные – расплывчатые по земле.

Увеличение площади листьев благоприятно для урожая лишь до определённого предела. В среднем для умеренной зоны оптимальной считается до 5 м² листьев на 1 м² пашни, для влажных тропиков – 10 м². При дальнейшем её увеличении начинается взаимное затенение листьев, ухудшается поступление света к нижним листьям, что приводит к уменьшению

чистой продуктивности фотосинтеза. Слишком большое увеличение листовой поверхности в сельскохозяйственном посевах или посадке может привести к уменьшению хозяйственно-полезного урожая, так как листья будут затенять друг друга, да и чем больше листьев, тем больше ассимилянтов тратится на их образование.

Листовой индекс – один из важных показателей, определяющих количество света, поглощаемого растениями данной популяции. Формирование оптимальной листовой поверхности в посевах – основной метод управления урожаем.

Ещё один путь повышения урожайности – увеличение процента использования фотосинтетической активной радиации. В естественных условиях растения используют 2 – 5% поглощенной энергии на фотосинтез, в искусственных – до 10%.

Рекомендуемые дозы облучения растений

Разновидность растений	Дневная доза облучения (DLI)		Облучённость	
	МДж/м ²	моль/м ²	Вт/м ²	мкмоль/м ² •с
Микроклональное размножение растений	0,5 – 1,0	2,5 – 5,0	10 – 20	50 – 100
Микрозелень, зеленные культуры, рассада	1,0 – 2,0	5,0 – 10,0	20 – 40	100 – 200
Ягодные культуры	2,0 – 4,0	10,0 – 20,0	40 – 80	200 – 400
Овощные культуры (томат, огурец, перец)	4,0 – 8,0	20,0 – 40,0	80 – 120	400 – 600

В мировой практике все виды культивационных сооружений создают с учётом максимального использования солнечной радиации. Солнечная радиация является основным климатическим фактором, определяющим виды и типы культивационных сооружений в данной местности, набор культур по периодам и срокам их выращивания. Солнечная радиация имеет определённую интенсивность, спектральный состав и суточную продолжительность в зависимости от зоны выращивания овощных культур в культивационных сооружениях.

На территории России наблюдается в основном широтное распределение суммарной солнечной радиации: суммы убывают по мере продвижения с юга на север. На основе многолетних исследований проведено зонирование территории России по притоку естественной ФАР, проникающей в теплицы в осенне-зимний период. В соответствии с вычисленными месячными суммами суммарной ФАР в декабре-январе (самые критические месяцы в году по притоку

солнечной радиации) Россия условно разделена на 7 световых зон по возрастающей сумме ФАР.



Величина фотосинтетической облучённости растений в теплице складывается из двух составляющих: естественной и искусственной ФАР. В теплицах, расположенных в южных регионах мира, вклад естественной составляющей ФАР будет выше, чем для теплиц, расположенных в средней полосе, а тем более в

северных регионах. Неправильно подобранные световые режимы облучения могут привести к недобору урожая растений при недостатке искусственного света либо к необоснованному удорожанию себестоимости растительной продукции при его избытке.

Световые зоны России

I	Архангельская обл.	Вологодская обл.	Ленинградская обл.	110 - 220 кал/см ²
	Магаданская обл.	Новгородская обл.	Псковская обл.	5 - 10 МДж/м ²
	Республика Карелия	Республика Коми		
II	Ивановская обл.	Кировская обл.	Костромская обл.	400 - 580 кал/см ²
	Нижегородская обл.	Пермская обл.	Республика Марий Эл	15 - 25 МДж/м ²
	Республика Мордовия	Тверская обл.	Удмуртская Республика	
	Чувашская Республика	Ярославская обл.		
III	Белгородская обл.	Брянская обл.	Владимирская обл.	610-970 кал/см ²
	Воронежская обл.	Калининградская обл.	Калужская обл.	25 - 40 МДж/м ²
	Красноярский край	Курганская обл.	Курская обл.	
	Липецкая обл.	Московская обл.	Орловская обл.	
	Республика Башкортостан	Республика Саха (Якутия)	Республика Татарстан	
	Республика Хакасия	Рязанская обл.	Свердловская обл.	
	Смоленская обл.	Тамбовская обл.	Томская обл.	
IV	Алтайский край	Астраханская обл.	Волгоградская обл.	1000 - 1380 кал/см ²
	Иркутская обл.	Камчатская обл.	Кемеровская обл.	40 - 60 МДж/м ²
	Новосибирская обл.	Омская обл.	Оренбургская обл.	
	Пензенская обл.	Республика Алтай	Республика Калмыкия	
	Республика Тува	Самарская обл.	Саратовская обл.	
	Ульяновская обл.			
V	Краснодарский край (кроме Черноморского побережья)	Республика Адыгея	1450 - 1670 кал/см ²	
	Республика Бурятия	Ростовская обл.	Читинская обл.	60 - 70 МДж/м ²
VI	Краснодарский край (Черноморское побережье)	Республика Дагестан	1770 - 2080 кал/см ²	
	Кабардино-Балкарская Республика	Республика Ингушетия	75 - 85 МДж/м ²	
	Карачаево -Черкесская Республика	Ставропольский край		
	Республика Северная Осетия –Алания	Чеченская Республика		
VII	Амурская обл.	Приморский край	Сахалинская обл.	2370 - 3450 кал/см ²
	Хабаровский край			100 - 145 МДж/м ²

Ориентировочно солнечная радиация и сумма ФАР при средних условиях облачности на 60° с. ш.

Энергия за период		Ед. изм.	Месяц											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
месяц	Всего	МДж/м ²	37	94	261	374	590	634	596	432	237	104	36	18
	ФАР	МДж/м ²	17	42	117	168	266	285	268	194	107	47	16	8
		моль/м ²	75	190	529	757	1195	1284	1207	875	480	211	73	36
день	Всего	МДж/м ²	1,2	3,4	8,4	12,5	19,0	21,1	19,2	13,9	7,9	3,4	1,2	0,6
	ФАР	МДж/м ²	0,5	1,5	3,8	5,6	8,6	9,5	8,7	6,3	3,6	1,5	0,5	0,3
		моль/м ²	2	7	17	25	39	43	39	28	16	7	2	1

Ориентировочно солнечная радиация и сумма ФАР при средних условиях облачности на 55° с. ш.

Энергия за период		Ед. изм.	Месяц											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
месяц	Всего	МДж/м ²	80	164	342	439	599	642	613	507	308	145	74	51
	ФАР	МДж/м ²	36	74	154	198	270	289	276	228	139	65	33	23
		моль/м ²	162	332	693	889	1213	1300	1241	1027	624	294	150	103
день	Всего	МДж/м ²	2,6	5,9	11,0	14,6	19,3	21,4	19,8	16,4	10,3	4,7	2,5	1,7
	ФАР	МДж/м ²	1,2	2,6	5,0	6,6	8,7	9,6	8,9	7,4	4,6	2,1	1,1	0,7
		моль/м ²	5	12	22	30	39	43	40	33	21	9	5	3

Ориентировочно солнечная радиация и сумма ФАР при средних условиях облачности на 47° с. ш.

Энергия за период		Ед. изм.	Месяц											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
месяц	Всего	МДж/м ²	126	166	303	460	607	692	685	598	440	281	117	92
	ФАР	МДж/м ²	57	75	136	207	273	311	308	269	198	126	53	41
		моль/м ²	255	336	614	932	1229	1401	1387	1211	891	569	237	186
день	Всего	МДж/м ²	4,1	5,9	9,8	15,3	19,6	23,1	22,1	19,3	14,7	9,1	3,9	3,0
	ФАР	МДж/м ²	1,8	2,7	4,4	6,9	8,8	10,4	9,9	8,7	6,6	4,1	1,8	1,3
		моль/м ²	8	12	20	31	40	47	45	39	30	18	8	6

Ориентировочно солнечная радиация и сумма ФАР при средних условиях облачности на 43⁰ с. ш.

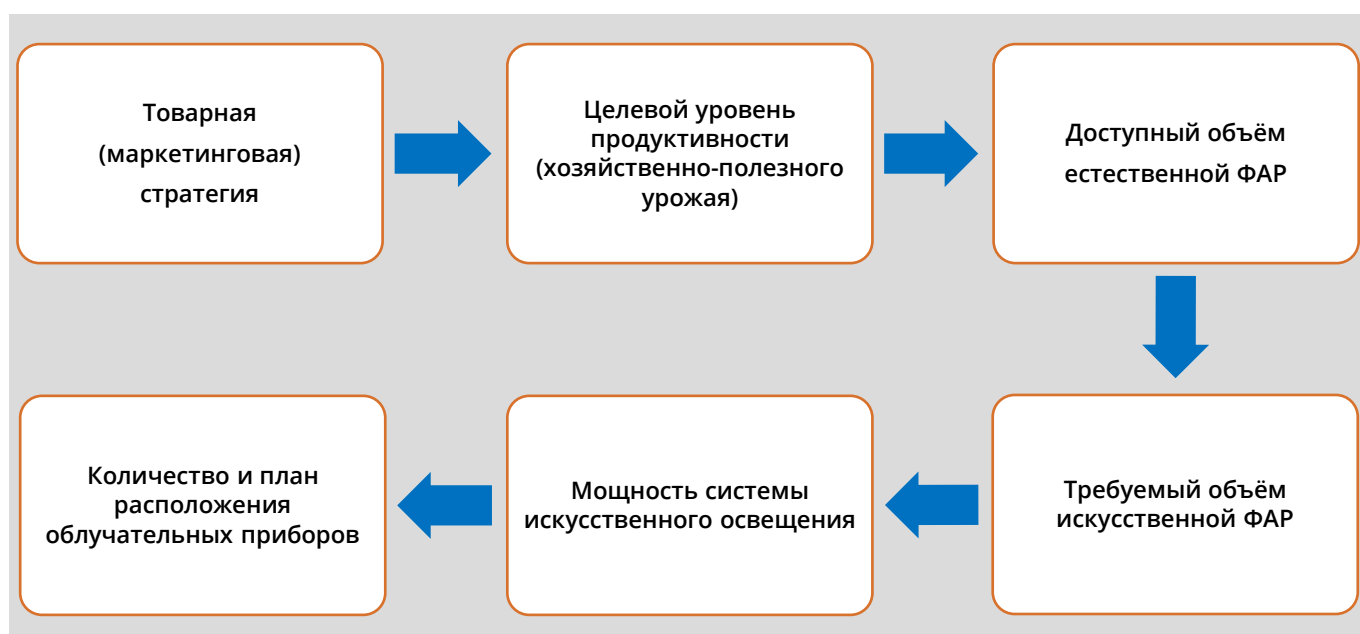
Энергия за период		Ед. изм.	Месяц											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
месяц	Всего	МДж/м ²	144	188	321	491	678	719	718	629	445	309	162	124
	ФАР	МДж/м ²	65	85	144	221	305	324	323	283	200	139	73	56
		моль/м ²	292	381	650	994	1373	1456	1454	1274	901	626	328	251
день	Всего	МДж/м ²	4,6	6,7	10,4	16,4	21,9	24,0	23,2	20,3	14,8	10,0	5,4	4,0
	ФАР	МДж/м ²	2,1	3,0	4,7	7,4	9,8	10,8	10,4	9,1	6,7	4,5	2,4	1,8
		моль/м ²	9	14	21	33	44	48	47	41	30	20	11	8

Рекомендуемая удельная мощность облучательных установок теплиц

Расчет оптимальной мощности облучательной установки теплицы является важной инженерной задачей. Точные расчеты на основе фундаментальных и прикладных наук пока затруднительны. На практике используют эмпирические данные, полученные во время опыта использования искусственного освещения или на основе промышленных экспериментов в теплицах. План производства хозяйственно-полезного урожая является основанием для расчёта потребности в ФАР. Это возможно при использовании эмпирических данных по энергоёмкости хозяйственно-полезного продукта. План производства товарной продукции может быть ориентирован на летнее или зимнее выращивание, а также предусматривать

круглогодичное производство. На основании географического положения теплицы, данных метеонаблюдений в данном регионе и коэффициента светопропускания теплицы производится расчёт дозы облучения агрофитоценоза в теплице естественной (солнечной) ФАР в течение календарного года.

Расчёт необходимого объёма искусственной ФАР выполняется на основе разницы требуемого уровня и получаемого объёма естественной (солнечной) ФАР. Максимальная продолжительность работы облучательной установки в течение суток определяется возможной продолжительностью дня и ночи для выращиваемых растений (растения короткого или длинного дня)



Выращивание растений в стеклянных или плёночных теплицах

Параметры			Уровень мощности			
			сниженный	средний	повышенный	
Шаг (spacing) S между линиями светильников, м			2,0	1,5	1,0	
Удельная мощность потребления, Вт/м ²			100	130	200	
Горизонтальная энергетическая облучённость, Вт/м ²			45	60	90	
Горизонтальная фотонная облучённость, мкмоль/м ² *с			225	300	450	
Daily light integral (DLI) Доза облучения	Фотопериод, часов	12	МДж/м ²	1,9	2,6	3,9
			моль/м ²	9,7	13,0	19,4
		14	МДж/м ²	2,3	3,0	4,5
			моль/м ²	11,3	15,1	22,7
		16	МДж/м ²	2,6	3,5	5,2
			моль/м ²	13,0	17,3	25,9
		18	МДж/м ²	2,9	3,9	5,8
			моль/м ²	14,6	19,4	29,2
		20	МДж/м ²	3,2	4,3	6,5
			моль/м ²	16,2	21,7	32,4

Выращивание растений в закрытых культивационных сооружениях без солнечного света

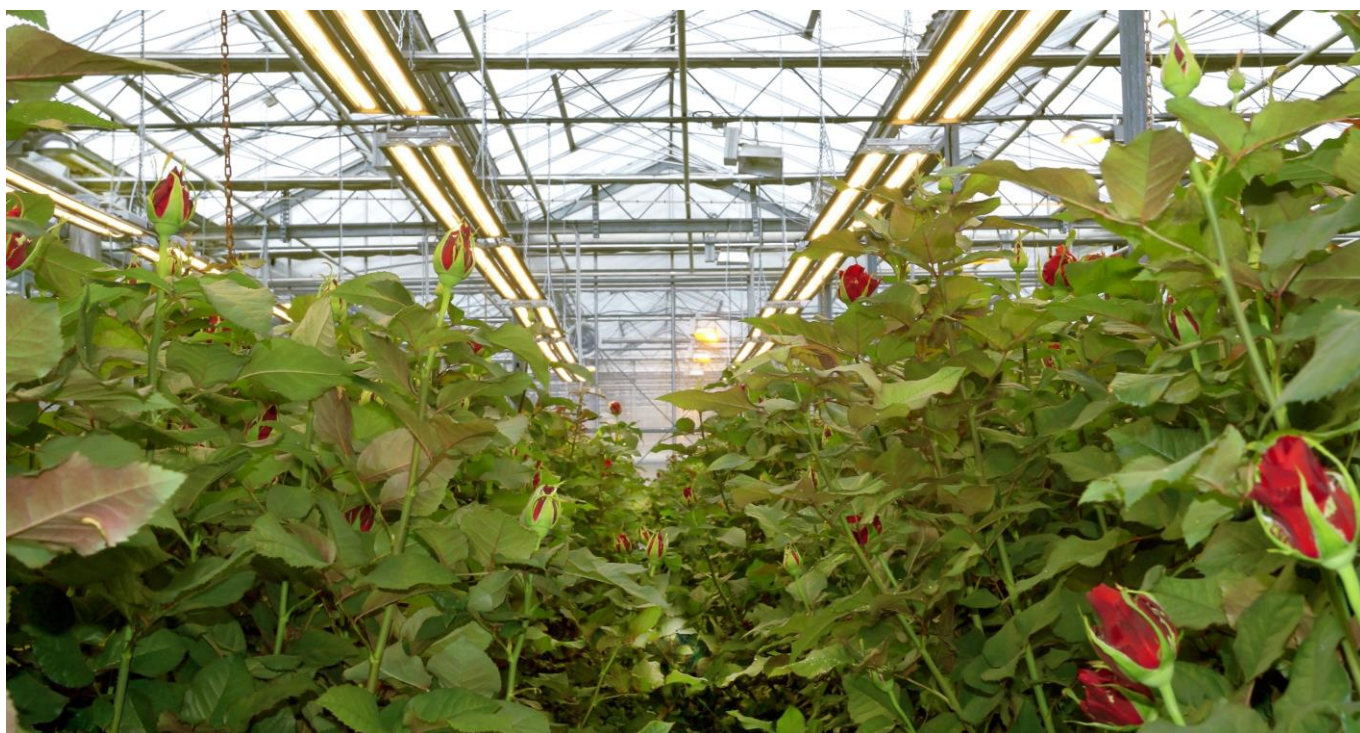
Параметры		Уровень мощности		
		сниженный	средний	повышенный
Шаг (spacing) S между линиями светильников, м		1,0	0,65	0,5
Удельная мощность потребления, Вт/м ²		200	300	400
Daily light integral (DLI) Доза облучения	МДж/м ²	3,4	5,2	7,0
	моль/м ²	17	26	35
Фотопериод, часов		12	12	12
Горизонтальная энергетическая облучённость, Вт/м ²		80	120	140
Горизонтальная фотонная облучённость, мкмоль/м ² *с		400	600	800

Светильник FLORA LED

Область применения

Светильник светодиодный FLORA LED предназначен для создания энергоэффективного искусственного освещения в культивационных сооружениях защищённого грунта (теплицах, фитотронах и т.п.):

- ❖ в дополнение к естественному дневному свету;
- ❖ для управления световым периодом (фотопериодическое освещение);
- ❖ для полной замены дневного света искусственным освещением (выращивание без дневного света).



Конструкция



Корпус изготовлен из высококачественного алюминия.

Защитное стекло изготовлено из стабилизированного к ультрафиолету оптического поликарбоната.

Светодиоды – высокоэффективные светодиоды: NICHIA (Япония) и «Seoul Semiconductor» (Южная Корея).

Источник питания – производства компании «Mean Well» (Тайвань) AC - DC.

Боковые крышки изготовлены из прочного полимерного материала.

Крепление позволяет устанавливать светильники в теплице на: лотки, тросы, шинопроводы.

Технические характеристики

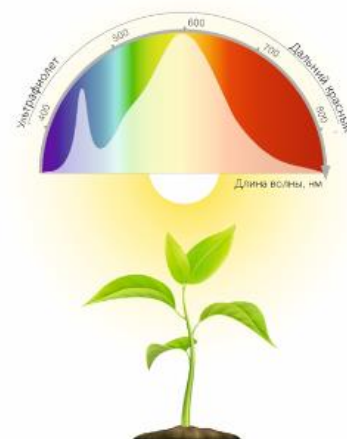
Класс светораспределения	П	Класс энергоэффективности	A+
Тип кривой силы света	Д	Класс защиты	I
Напряжение питания, В	230	Степень защиты	IP65
Частота питающего тока, Гц	50	Вид климатического исполнения	УХЛ4
Коэффициент мощности, не менее	0,95	Диапазон рабочих температур, °С	- 1 ... + 40

Обозначение светильников	Мощность потребления, Вт	Поток излучения, Вт	Поток фотонов, мкмоль/с	Размеры, мм	Вес, кг	Цена без НДС, евро
Серия светильников на светодиодах NICHIA (Япония)						
FLORA LED 50 ДСП08-1x50-004 УХЛ4	55	22	105	400x134x80	1,2	
FLORA LED 100 ДСП08-2x50-004 УХЛ4	110	44	210	700x134x80	1,9	
FLORA LED 150 ДСП08-3x50-004 УХЛ4	160	66	315	1000x134x80	2,3	
FLORA LED 200 ДСП08-4x50-004 УХЛ4	215	88	420	1300x134x80	2,7	
FLORA LED 250 ДСП08-5x50-004 УХЛ4	260	110	525	1600x134x80	3,2	
Серия светильников на светодиодах Seoul Semiconductor (Южная Корея)						
FLORA LED 60/0.4 ДСП08-1x60-004 УХЛ4	65	30	150	400x134x80	1,2	
FLORA LED 120/0.7 ДСП08-2x60-004 УХЛ4	130	60	300	700x134x80	1,9	
FLORA LED 180/1.0 ДСП08-3x60-004 УХЛ4	195	90	450	1000x134x80	2,3	
FLORA LED 240/1.3 ДСП08-4x60-004 УХЛ4	260	120	600	1300x134x80	2,7	
FLORA LED 300/1.6 ДСП08-5x60-004 УХЛ4	330	150	750	1600x134x80	4,0	

Светильник FLORA LED является источником света в диапазоне длин волн 380-780 нм, обеспечивая ход всего многообразия фотобиологических процессов, присущих растительным организмам.

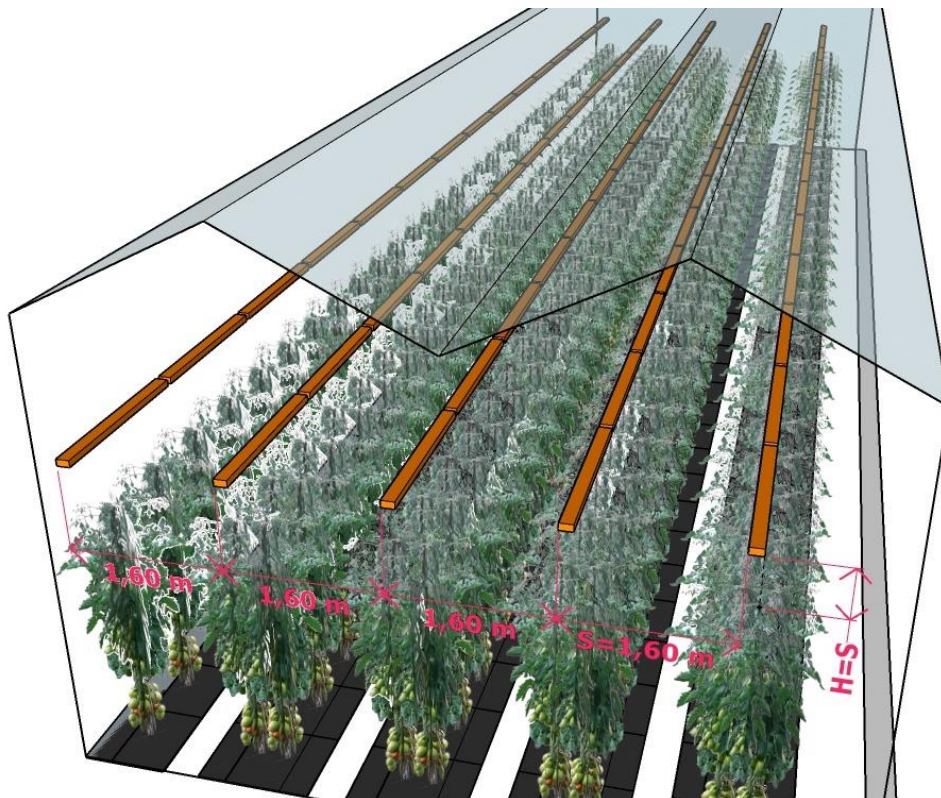
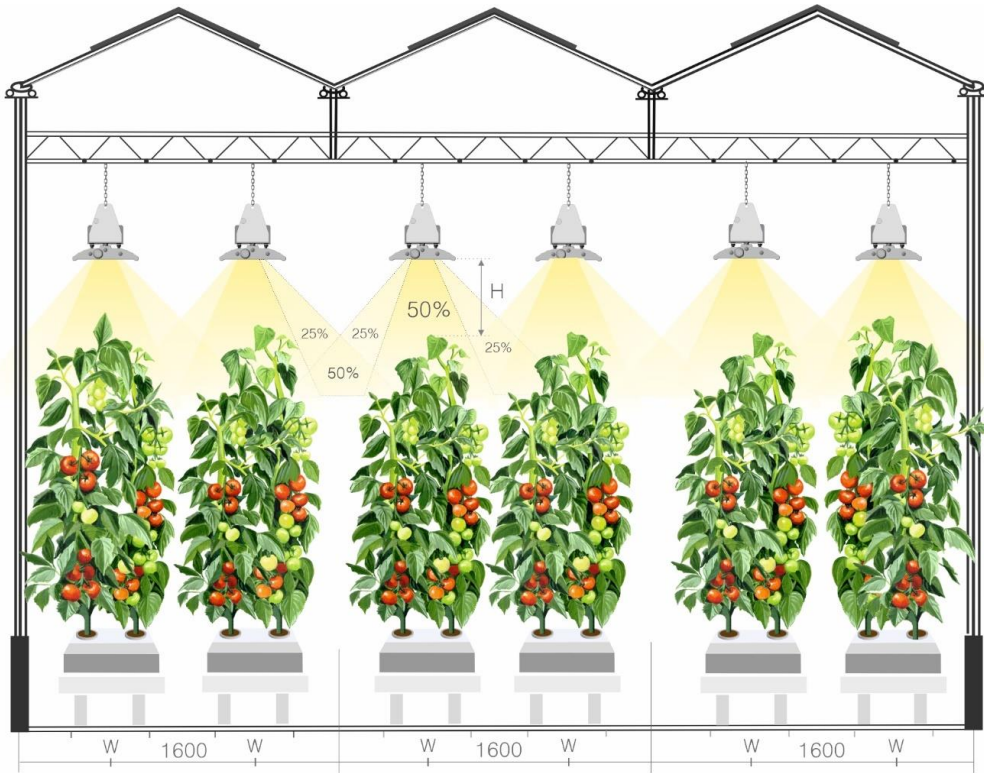
Номинальный срок службы светильника составляет 10 лет с показателями надёжности $L_{90F10} \geq 60000$ часов согласно ГОСТ Р 56230-2014 (Россия) и IEC/PAS 62717:2011 (ЕС).

Гарантийный срок эксплуатации – 36 месяцев.



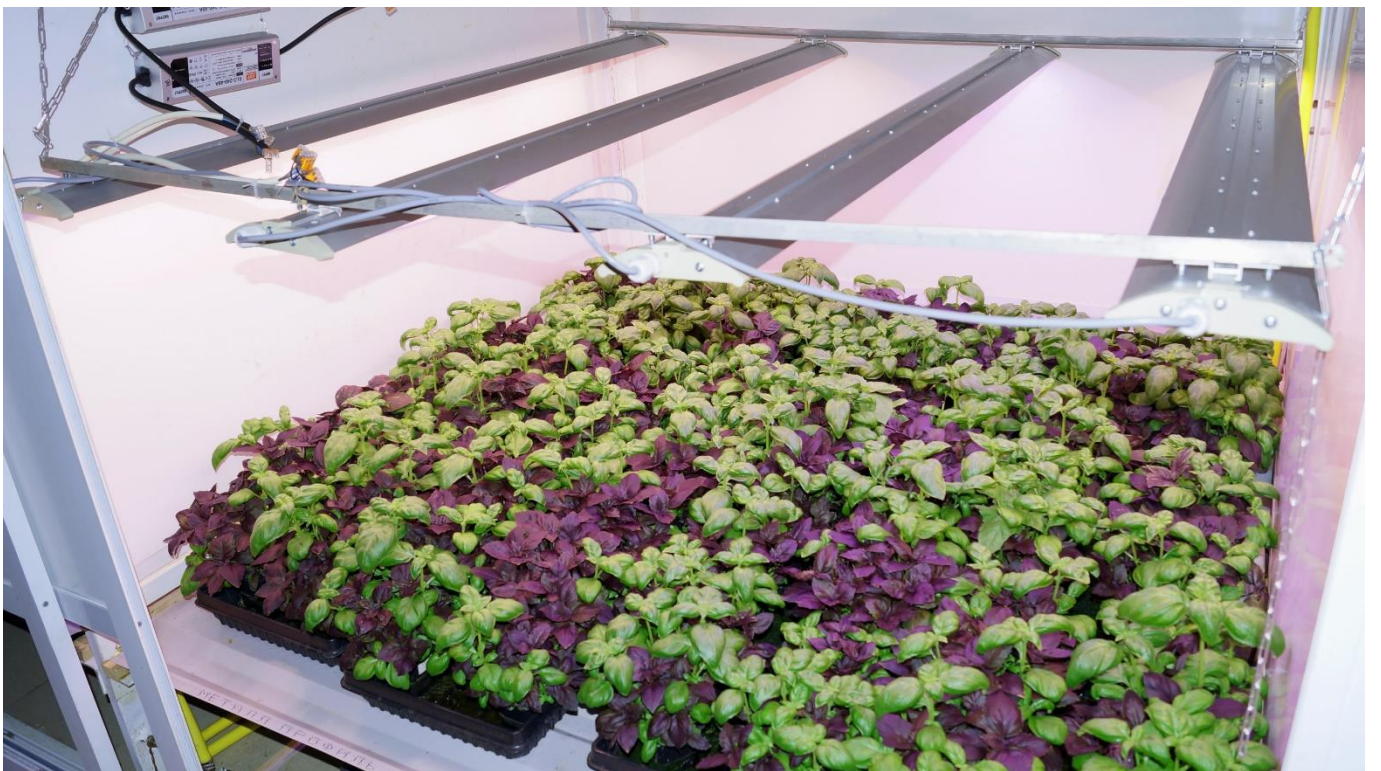
Рекомендации по установке

Светильники FLORA LED рекомендуется устанавливать в теплице линиями по оси симметрии лотков (рядов) с растениями. Для монтажа светильников в теплицах рекомендуется применять лотки, тросы, шинопроводы, используя кронштейны светильников.









Модули светодиодные LED FARM

Область применения

Модули светодиодные LED FARM предназначены для создания энергоэффективного искусственного освещения растений при выращивании их на многоярусных (стеллажных) системах в культивационных сооружениях защищённого грунта: «городских» (вертикальных) фермах, фитотронах, теплицах.



Конструкция

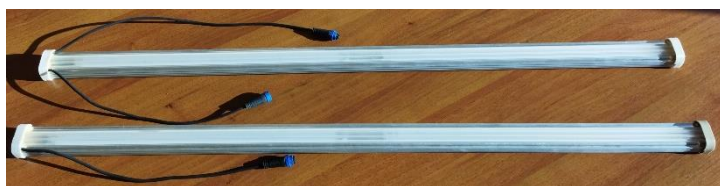
LED FARM 40.0.X

LED FARM 80.0.X



LED FARM 40.1.X

LED FARM 80.1.X



Корпус изготовлен из высококачественного алюминия. Имеет два исполнения.

Защитное стекло изготовлено из стабилизированного к ультрафиолету оптического поликарбоната.

Светодиоды – высокоэффективные светодиоды: NICHIA (Япония) и «Seoul Semiconductor» (Южная Корея).

Боковые крышки изготовлены из прочного полимерного материала.

Крепление: метизы / уголки / кронштейны.

Модули LED FARM имеют два конструктивных исполнения, отличающихся входом (выходом) питающего провода. В обозначении модуля:

X = 1 – модуль имеет только входной провод;

X = 2 – модуль имеет входной и выходной провод

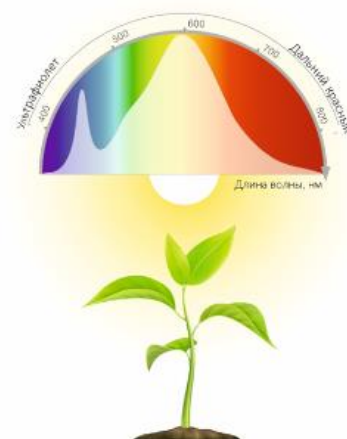
Технические характеристики

Параметр	Обозначение модуля			
	LED FARM 40.0.X	LED FARM 80.0.X	LED FARM 40.1.X	LED FARM 80.1.X
Входной ток постоянный (DC), А	1,4	1,4	1,4	1,4
Напряжение питания, В	28	56	28	56
Мощность потребления, Вт	39	78	39	78
Поток излучения, Вт	19	38	19	38
Поток фотонов, мкмоль/с	92	184	92	184
Световой поток, лм	6250	12500	6250	12500
Класс светораспределения	П	П	П	П
Тип кривой силы света (КСС)	Д	Д	специальная	специальная
Класс энергоэффективности	A+	A+	A+	A+
Класс защиты от поражения током	I	I	I	I
Степень защиты	IP65	IP65	IP65	IP65
Диапазон рабочих температур, °С	+1...+30	+1...+30	+1...+30	+1...+30
Вес, кг	0,8	1,6	0,6	1,2
Габаритные размеры, мм	585x134x33	1160x134x33	585x55x40	1160x55x40
Цена, евро				

Модули LED FARM являются источником света в диапазоне длин волн 380-780 нм, обеспечивая ход всего многообразия фотобиологических процессов, присущих растительным организмам.

Номинальный срок службы модулей составляет 10 лет с показателями надёжности $L_{90}F_{10} \geq 60000$ часов согласно ГОСТ Р 56230-2014 (Россия) и IEC/PAS 62717:2011 (ЕС).

Гарантийный срок эксплуатации – 36 месяцев.



Рекомендации по установке

Для повышения энергоэффективности фитоустановок стеллажного типа модули рекомендуется размещать в поперечном направлении стеллажной системы. При такой схеме размещения эффективно используются световые потоки модулей для облучения агрофитоценоза, снижается влияния краевой зоны с пониженной облучённостью на получение в итоге хозяйственно-полезного урожая. Такое расположение модулей также более удобно для проведения работ по установке, техническому обслуживанию и ремонту светотехнического оборудования.

Поперечное расположение модулей



Продольное расположение модулей

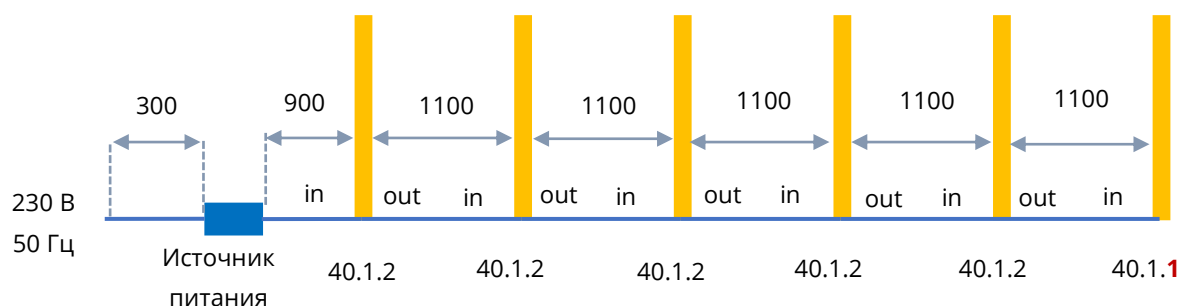


Модули LED FARM соединяются последовательно в электрическую цепь между собой и подключаются к внешней питающей сети через источник питания (драйвер) AC - DC типа XLG-240-M-A или XLG-240-M-AB. Рекомендуемые комплекты поставки:

Наименование	Комплект №1	Комплект №2
Источник питания XLG-240-M-A (XLG-240-M-AB)	1	1
Модуль LED FARM 80.0.1 или LED FARM 80.1.1	1	-
Модуль LED FARM 80.0.2 или LED FARM 80.1.2	2	-
Модуль LED FARM 40.0.1 или LED FARM 40.1.1	-	1
Модуль LED FARM 40.0.2 или LED FARM 40.1.2	-	5

В состав комплектов могут входить элементы крепления модулей на стеллажах, соединительные провода, кабельные соединители и другие материалы и комплектующие, согласованные для поставки в рамках конкретного проекта.

Длина соединительных проводов в мм в варианте базовой поставки (по умолчанию):



Шаг (spacing или S) – расстояние между соседними модулями. Рекомендуется установка модулей с шагом S = 60 см.

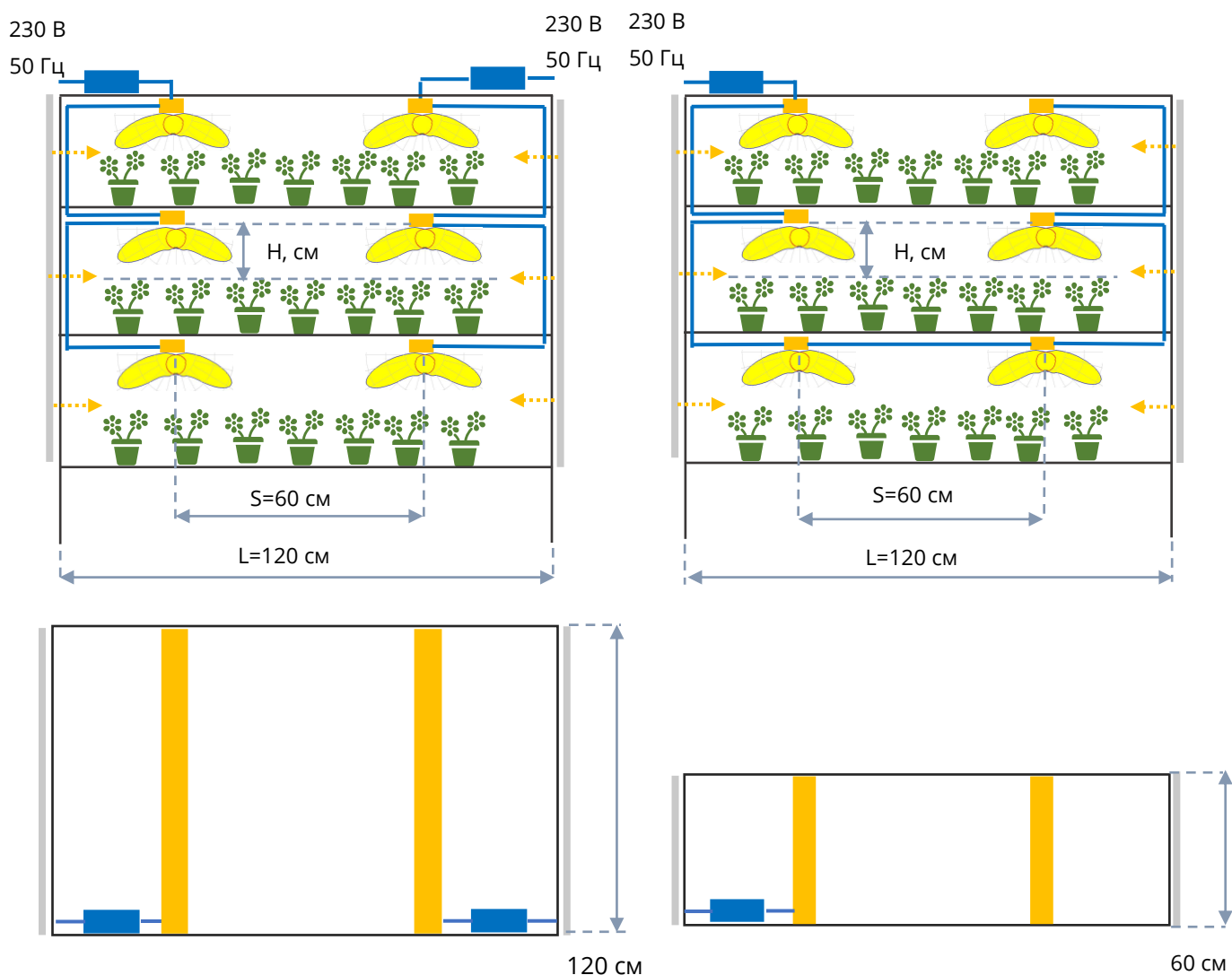
Монтажная высота (height или H) – расстояние от защитного стекла модуля до агрофитоценоза (верхней части растений). Рекомендуется установка модулей на расстоянии от верхушек растений:

LED FARM 40.0.X и LED FARM 80.0.X H = 30 см
 LED FARM 40.1.X и LED FARM 80.1.X H = 15 см



Для построения производственной линии рекомендуется применять стеллажный модуль с 3 полками длиной 120 см и шириной 120 см. На стеллажном модуле рекомендуется использовать комплект №1. Рекомендуется: источник питания размещать на верхней полке; соединительные провода размещать вдоль опор и полок.

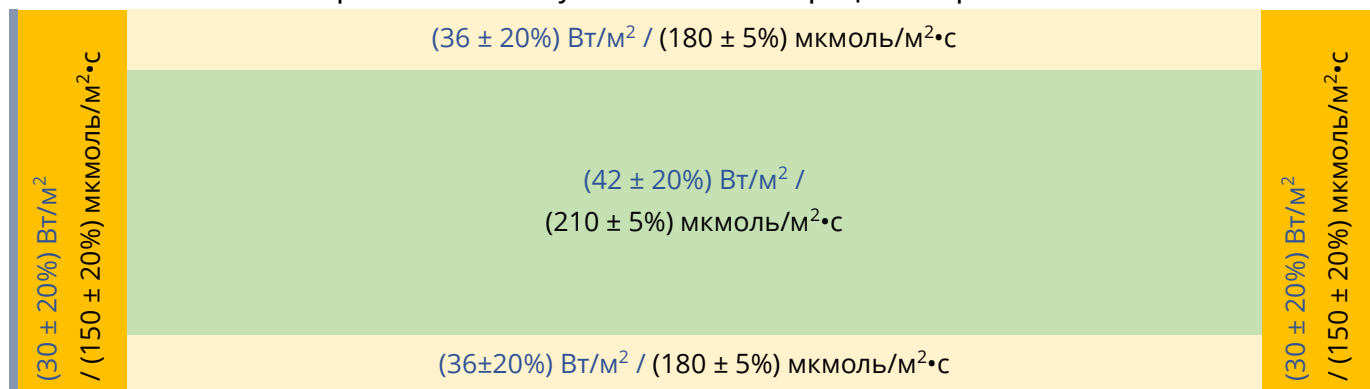
При необходимости применения стеллажей меньшей ширины рекомендуется применять стеллажный модуль с 3 полками длиной 120 см и шириной 60 см. На стеллажном модуле рекомендуется использовать комплект №2.



- Производственная линия, оснащенная модулями LED FARM с шагом 60 см, имеет следующие параметры:
- средняя облучённость зоны выращивания растений $E_e \leq 40 \text{ Вт/м}^2 / E_p \leq 200 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$
 - удельная установленная мощность $\leq 120 \text{ Вт/м}^2$

Повышение энергоэффективности культивационного сооружения возможно за счёт увеличение длины производственной линии, использования нескольких параллельно расположенных линий, использования поверхностей помещения и светоотражающих экранов для перераспределения излучения (потока фотонов) с целью повышения облучённости агрофитоценоза.

Горизонтальная облучённость в зоне выращивания растений





Термины и определения

Свет окульт ура – макротехнологический процесс выращивания растений при сочетании естественного и искусственного освещения (теплицы) или при полностью искусственном освещении

Теплица (промышленная) – сооружение с пропускающими свет конструкциями (стеклянными, реже плёночными или поликарбонатными) с комплексом технологий и технических средств, обеспечивающих управление климатом и питанием растений и высокопродуктивное выращивание овощных, ягодных, цветочных и других культур

Городская ферма – новый тип компактных сооружений защищённого грунта, расположенных достаточно близко от проживания жителей и предназначенных, как правило, для установки многоярусных стеллажных систем выращивания растений

Ест ест венное (дневное) освещение – освещение, при котором источником света является солнечное излучение

Искусст венное (элект рическое) освещение – освещение электрическими источниками света

Совмещённое освещение – действующие совместно естественное и искусственное освещение

Искусст венное освещение раст ений (в сооружениях защищённого грунта) – освещение / облучение растений с использованием электрических источников оптического излучения

Фот опериод – продолжительность светового дня (освещения)

Веget ационный период (для тепличных растений) – время между посадкой культуры и завершением сбора продукции

Облучат ельный прибор – устройство, предназначенное для облучения растений в промышленных теплицах и других культивационных сооружениях защищённого грунта и содержащее один или несколько электрических источников света и осветительную арматуру

Облучат ельный прибор со свет одиодами – облучательный прибор, в котором в качестве источника света использованы светодиоды

Уст рои ст во управления (для свет одиодов) – устройство, устанавливаемое между сетью электроснабжения и одним или несколькими светодиодами и предназначенное для подачи на светодиод нормируемого напряжения или тока. Оно может включать в себя средства для регулирования светового потока, управления спектральным составом

излучения, коррекции коэффициента мощности и снижения уровня радиопомех, а также другие средства управления

Номинальная мощность ь облучат ельного прибора (Вт) – сумма номинальной мощности источника излучения, используемая в облучательном приборе, и номинальных потерь мощности в пуско-регулирующем аппарате (устройстве управления) облучательного прибора

Эффект ивност ь облучат ельного прибора в област и фот осинт ет ически акт ивной радиации (мкмоль/с) – отношение фотосинтетического потока фотонов, излучаемого прибором, к потребляемой прибором **мощности**

Облучат ельная уст ановка (для выращивания раст ений) – совокупность облучательных приборов, поддерживающих конструкций, средств питания и управления облучением, а также элементов облучаемого пространства, участвующих в перераспределении излучения (экраны и поверхности помещения) или являющихся объектом освещения (растения), функционально связанных для обеспечения необходимых условий выращивания растений

Мощност ь облучат ельной уст ановки (Вт) – суммарная мощность, потребляемая всеми компонентами облучательной установки (облучательными приборами, средствами питания и управления и т.п.)

Удельная уст ановленная мощност ь (источников света) – отношение суммарной номинальной мощности, потребляемой всеми источниками света облучательной установки, к площади участка посадки растений

От носит ельная удельная мощност ь облучат ельной уст ановки – отношение мощности, потребляемой облучательной установкой, к произведению площади участка посадки растений и средней энергетической или фотонной облучённости этого участка

Удельное годовое пот ребление энергии облучат ельной уст ановкой за конкрет ный год (Вт *ч/м²*г) – отношение электрической энергии, потребляемой облучательной установкой в течение рассматриваемого года, к площади участка посадки растений.

Сист ема энергет ических величин – совокупность величин, количественно выражаемых в единицах энергии или мощности и производных от них.

Энергетические величины характеризуют свет безотносительно к свойствам человеческого зрения

Система фотонных величин – совокупность величин, выражаемых в единицах количества фотонов и производных от них

Поток излучения – мощность, излучаемая, передаваемая или принимаемая в виде излучения

Плотность фотонного потока – отношение числа фотонов, излучаемых, передаваемых или принимаемых за малый интервал времени, к этому интервалу

Энергетическая облучённость ($Вт/м^2$) – отношение потока излучения, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента

Фотонная облучённость ($мкмоль/м^2*с$) – отношение потока фотонов, падающего на элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента

Излучение (электромагнитное) – испускание или перенос энергии в форме электромагнитных волн и связанных с ним фотонов

Оптическое излучение – электромагнитное излучение с длиной волны от 100 нм до 1 мм

Энергия излучения, Дж – интеграл по времени от потока излучения за данный промежуток времени

Моль – единица измерения количества фотонов применительно к светокультуре растений, равная NA фотонов, где $NA \approx 6,02 * 10^{23}$ (производная единица микромоль $\approx 6,02 * 10^{17}$)

Ультрафиолетовое излучение (УФ-излучение) – оптическое излучение, длины волн монохроматических составляющих которого меньше длин волн видимого излучения. Применительно к светокультуре растений это оптическое излучение, у которого длины волн короче 400 нм. Ультрафиолетовое излучение делят на три области

Область ультрафиолетового излучения А (УФ-А) – диапазон длин волн от коротковолновой границы области видимого излучения до 315 нм. Применительно к светокультуре растений это диапазон длин волн от 315 до 400 нм

Область ультрафиолетового излучения В (УФ-В) – диапазон длин волн от 280 до 315 нм

Область ультрафиолетового излучения С (УФ-С) –

диапазон длин волн от 100 до 280 нм

Солнечное излучение – электромагнитное излучение солнца

Прямое солнечное излучение – часть заатмосферного солнечного излучения, которая в виде коллимированного пучка лучей достигает поверхности Земли после избирательного ослабления атмосферой

Рассеянное излучение неба – часть солнечного излучения, которая достигает Земли в результате рассеяния излучения молекулами воздуха, аэрозольными частицами, частицами облаков и другими частицами

Общее солнечное излучение – совокупность прямого солнечного излучения и рассеянного излучения неба

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) – оптическое излучение в диапазоне от 400 до 700 нм, используемое растениями для фотосинтеза, роста и развития

«Синяя» область ФАР – диапазон длин волн от 400 до 500 нм

«Зелёная» область ФАР – диапазон длин волн от 500 до 600 нм

«Красная» область ФАР – диапазон длин волн от 600 до 700 нм

Дальнее красное излучение – диапазон длин волн от 700 до 800 нм

Инфракрасное излучение (ИК-излучение) – оптическое излучение, длины волн монохроматических составляющих которого больше длин волн видимого излучения. Применительно к светокультуре растений это оптическое излучение, у которого длины волн лежат в диапазоне от 800 нм до 1 мм. Инфракрасное излучение делят на три области

Область инфракрасного излучения А (ИК-А) – диапазон длин волн от длинноволновой границы области видимого излучения до 1400 нм. Применительно к светокультуре растений это диапазон длин волн от 800 до 1400 нм

Область инфракрасного излучения В (ИК-В) – диапазон длин волн от 1400 до 3000 нм

Область инфракрасного излучения С (ИК-С) – диапазон длин волн от 3000 нм до 1 мм