

УДК 631.544.4:628.938

UDC 631.544.4:628.938

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СВЕТОВОГО РЕЖИМА, ПОВЫШАЮЩИЕ ПРОДУКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА РАСТЕНИЙ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА**

**ENERGY-SAVING CONCEPT FOR CREATING LIGHT CONDITIONS INCREASING PHOTOSYNTHESIS PRODUCTIVITY OF PROTECTED SOIL CROPS**

Степанчук Геннадий Владимирович  
к.т.н., доцент

Stepanchuk Gennadiy Vladimirovich  
Cand.Tech.Sci.

Ключка Евгения Петровна  
инженер  
*ФГОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия», г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Kluchka Evgenia Petrovna  
engineer  
*FSEI HPE «Azov-Black Sea State Agroengineering Academy», Zernograd, Rostov region, Russia*

Статья посвящается установке переменного облучения для выращивания растений в защищенном грунте. Облучательная установка формирует световой режим при помощи движущих облучателей и угла наклона рабочей поверхности. Параметры облучательной установки дают рациональное пространственное и поверхностное распределение оптического излучения. Это позволяет снизить энергоемкость процесса выращивания тепличных растений, увеличить коэффициент равномерности облучения, повысить качество сельскохозяйственной продукции

The article is devoted to the plant of alternating illumination for crop growing in the protected soil. The unit forms light conditions by the moving illuminators and by proper gradient angle of the working surface. Characteristic of the unit allows us to produce efficient space and surface distribution of the optical radiation. It let us reduce energy intensity of the hothouse crops growing, increase uniformity coefficient of irradiation, improve the quality of agricultural products

Ключевые слова: ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ПЕРЕМЕННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ, ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ПРОДУКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА, РАСТЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Keywords: ENERGY-SAVING IN ELECTRICAL ENGINEERING TECHNOLOGIES, ALTERNATING IRRADIATION, ILLUMINATING PLANTS, PHOTOSYNTHESIS PRODUCTIVITY, PROTECTED SOIL PLANTS

Процесс выращивания растений в искусственных условиях – один из наиболее энергоемких в сельскохозяйственном производстве. Цель тепличного производства создать условия для выращивания растений с наименьшими энергетическими затратами, при этом повысить качество и количество сельскохозяйственной продукции.

В научной и патентной литературе описано большое количество облучательных установок. Выявлено, что в имеющихся вегетационных облучательных установках традиционно используется постоянный способ облучения, при стационарном положении источника. Способы светотехнического расчета установок для облучения растений предусматривают создание нормируемой горизонтальной облученности. Однако при этом не учитывается пространственного и поверхностного распределения оптического

облучения.

С точки зрения уменьшения энергетических затрат на облучение растений защищенного грунта, целесообразен поиск таких технических решений, которые бы учитывали свойства отдельно каждого биологического объекта и фитоценоза в целом.

Рациональное формирование пространственного распределения оптического излучения возможно с помощью светоотражающих поверхностей (экранов), светотехнического оборудования (различные типы светильников) и применение определенного способа облучения. При стационарно положении источника света используется постоянный, импульсный, комбинированный способы облучения. Движущие источники света создают переменный способ. Следует отметить, в ходе процесса фотосинтеза используется лишь 1...3% поглощенной оптической энергии. Процесс фотосинтеза протекает как при непрерывном, так и при переменном облучении. Но при подаче энергии оптического излучения только во время световой стадии фотосинтеза можно существенно снизить потери оптической энергии и расход электроэнергии на цели облучения [1].

Ориентация листьев в пространстве и положение облучателя по отношению к ним влияют на способность растения поглощать и усваивать с наибольшим КПД энергию оптического излучения. Необходимо, чтобы листья верхних ярусов как можно меньше затеняли листья второго яруса. Ориентация листьев в пространстве влияет на освещенность самих листовых пластинок, что формирует поверхностное распределение оптического излучения в фитоценозе и влияет на структуру фотосинтетического аппарата, урожай и его качество [2].

Имеются опытные данные о зависимости структуры и эффективности функционирования фотосинтетического аппарата при изменении ориентации листьев, что имеет большое значение для продукционных процессов растений [3,4].

Таким образом, для повышения эффективности использования энергии оптического излучения рациональной является такая структура светового поля, которая бы соответствовала геометрической структуре растения (формы кроны растения). Это возможно при движущихся источниках облучения. В отличие от стационарного положения источника света, при движении облучатель для каждого растения в определенный момент времени создает благоприятное освещение (рис. 1).

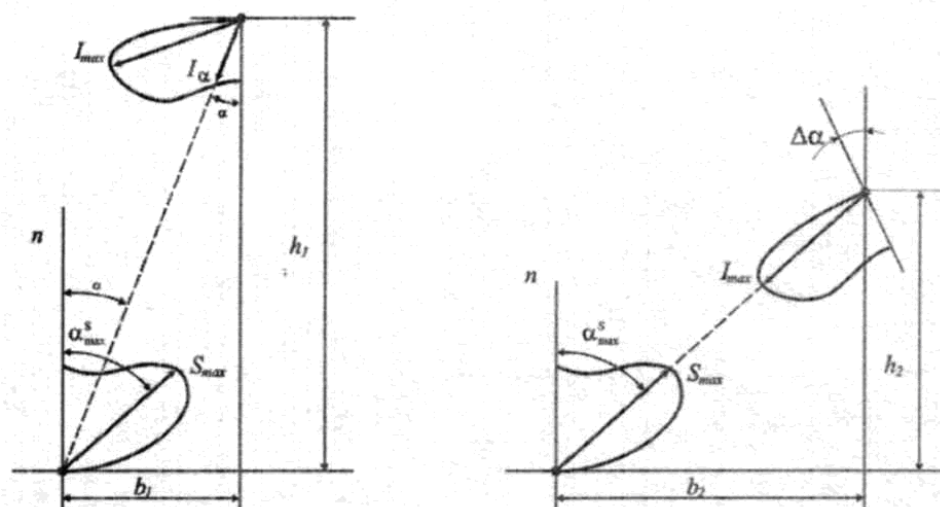


Рисунок 1 – Формирование компоновочной схемы для отдельного растения находящегося в фитоценозе

Но рассматривать каждое отдельное растение с точки зрения формирования освещенности в фитоценозе не совсем правильно. Поэтому важную роль в формировании структуры светового поля играет наклонная технологическая поверхность при боковом расположении облучателя относительно рабочей плоскости. Наклонная рабочая поверхность создает ступенчатую структуру фитоценоза, тем самым увеличивая облучаемую площадь растительного покрова, неоднородного по своей структуре, увеличивая проникающую способность оптического излучения вглубь фитоценоза, более рациональное использование отраженных лучей (рис. 2).

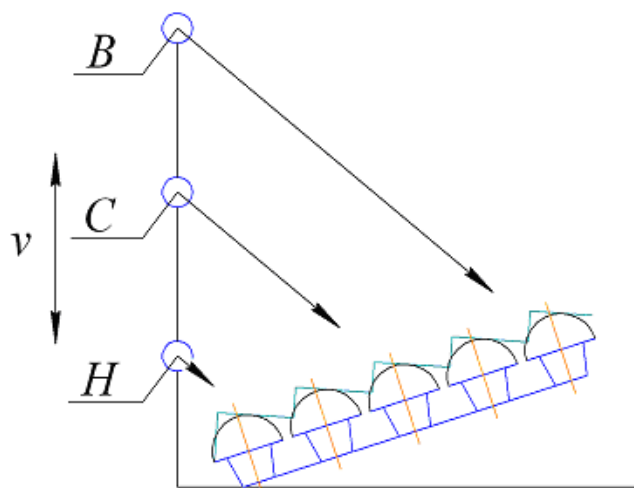


Рисунок 2 – Поверхностное распределение энергии оптического излучения

Таким образом, с целью поиска путей снижения энергоемкости, процесса выращивания растений защищенного грунта, необходимо рассмотреть конструкцию облучательной установки, в которой при создании светового режима используется: переменное облучение и многостеллажная технология с наклонной рабочей поверхностью [5,6].

Достоинства новой разрабатываемой облучательной установки:

- режим облучения подбирается, с учетом поступающей естественной радиации, при котором сокращается время работы облучателей;
- движущиеся облучатели дают более рациональное использование светотехнического оборудования на единицу технологической площади подвергающейся облучению (уменьшается количество облучателей, увеличивается облучаемая площадь и количество облучаемых растений);
- переменное облучение является не только источником оптического излучения, но и раздражителем, воздействующим на адаптационные механизмы растений к постоянно меняющимся световым условиям;
- боковое расположение облучателей по отношению к растениям и наклонное положение рабочей поверхности создает рассеивающееся, диффузное облучение наиболее выгодное для неоднородной структуры фитоценоза;
- угол наклонной поверхности повышает равномерность облучения.

При традиционном расчете учитывается горизонтальная освещенность. При этом необходимо знать значение направленной к освещаемой поверхности силы света, расстояние от излучателя до освещаемой поверхности и угол падения света (угол между лучом силы света и нормалью к расчетной площади) [7,8].

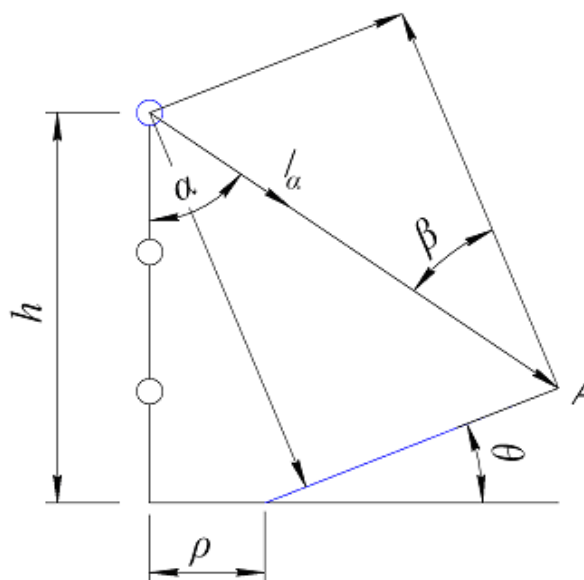


Рисунок 3 – Расчет освещенности для наклонной поверхности

Расчетное уравнение освещенности для наклонной плоскости в точке *A* имеет вид [7,8] (рис. 3).

$$E_A = E_{гориз} (\cos \Theta \pm \frac{\rho}{h} \sin \Theta) \quad (1)$$

- где  $E_A$  – освещенность наклонной поверхности в точке *A*, лк ;
- $E_{гориз}$  – освещенность горизонтальной поверхности, лк ;
- $\Theta$  – угол наклона расчетной поверхности по отношению к плоскости, перпендикулярной оси симметрии облучателя (горизонтальная плоскость);
- $h$  – высота облучателя над горизонтальной плоскостью, м ;
- $\rho$  – кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость к наклонной плоскости, м .

Из формулы (1) видно, что если освещенность в точке  $A$  будет минимальной  $E_A$ , а освещенность рассчитанная на горизонтальной поверхности будет максимальная  $E_{гориз}$ , то их отношение к друг к другу дает коэффициент равномерности освещения.

$$z = \frac{E_A}{E_{гориз}} = (\cos \Theta \pm \frac{p}{h} \sin \Theta) \geq 0,8...1 \quad (2)$$

Отсюда следует, что коэффициент равномерности наклонной плоскости является функцией зависимости  $z = f(\Theta, h, p)$  от угла наклона технологической поверхности, высоты подвеса облучателя и расстояния от облучателя до наклонной поверхности.

Проанализируем кривую распределения силы света натриевой лампы высокого давления ДНаТ-400, она является конусной с полушироким типом светораспределения (максимальная сила излучения в пределах углов  $\alpha = 35^\circ \dots 50^\circ$ ) (рис. 4) [9].

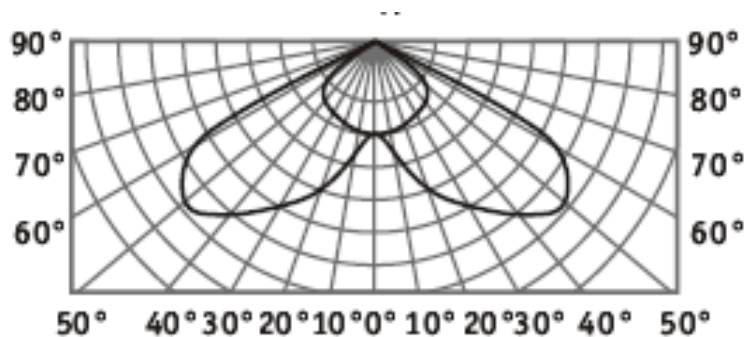


Рисунок 4 – Конусная кривая распределения света ДНаТ-400

При расчете параметров стеллажа необходимо учитывать данные особенности источника излучения ДНаТ-400 (рис. 5).

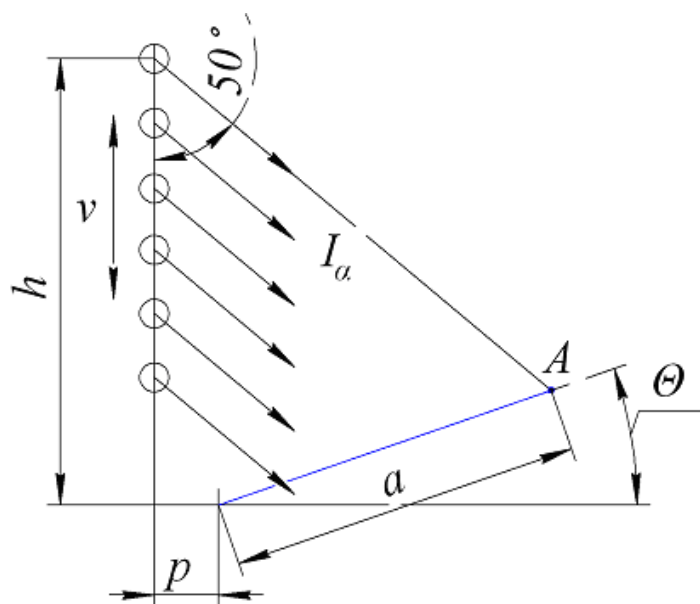


Рисунок 5 – Распределение освещенности по технологической поверхности при движении облучателя

От каждого параметра облучательной установки зависит пространственное положение наклонной технологической поверхности, а так же ширина лотка  $a$ . Графическим путем была выявлена следующая закономерность:

- если увеличивать высоту подвеса облучателя – то увеличивается коэффициент равномерности освещенности;
- если увеличивать расстояние от проекции оси симметрии светильника к наклонной плоскости – то уменьшается ширина технологической поверхности.

Для исследуемой облучательной установки переменного облучения параметры стеллажа, выбраны из расчета жизненного пространства необходимого для выращивания рассады томатов. Теоретическими расчетами выявлено, что наилучший угол наклона технологической поверхности составляет  $\approx 19^\circ$ . Это подтверждается расчетом формулы (2):

$$\left(\cos 19,6 + \frac{10}{70} \sin 19,6\right) \geq 0,8 \quad (3)$$

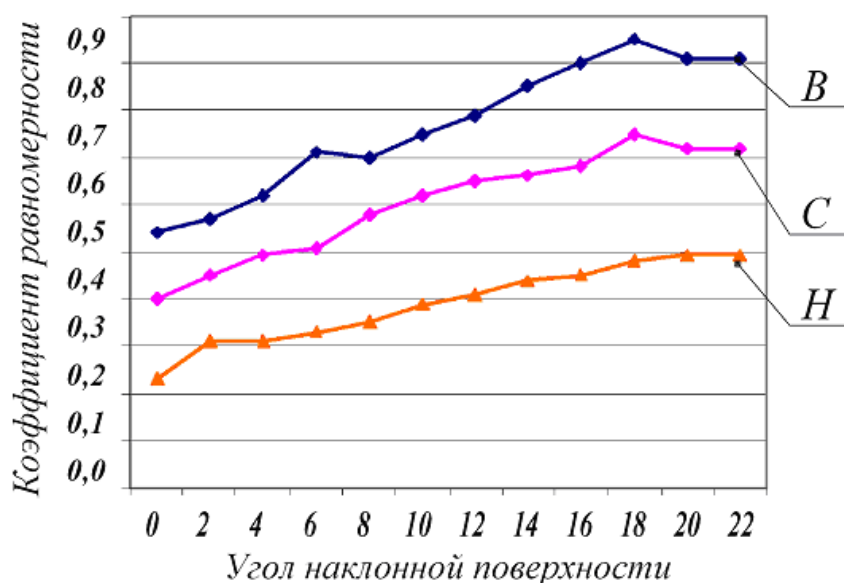
$$0,8289 \geq 0,8$$

Исходя из это предположения, принимаем варьирование угла наклонной поверхности для проведения эксперимента в пределах от 0<sup>0</sup> до 24<sup>0</sup>.

Данное теоретическое положение было подтверждено экспериментальным путем. Обмер освещенности на технологической поверхности проведен, когда полностью вся рабочая поверхность поднималась на определенный угол наклона относительно горизонта. Измерения проводись при каждом угле наклона и при разном положении облучателя (верхнем, среднем, нижнем) (рис. б). А так же на верхнем и нижнем лотке каждый в отдельности, для учета искусственного и естественного облучения.

Таблица 3 – Результаты обмера освещенности наклонной плоскости от положения облучателя (В – верхнее; С - среднее; Н – нижнее)

		Угол наклона технологической поверхности												
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
В	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	4	7	2	1	0	5	9	5	0	5	1	1	1	
С	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	
	0	5	9	1	8	2	5	6	8	5	2	2	2	
Н	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	3	1	1	3	5	9	1	4	5	8	9	9	9	





### Рисунок 6 – Равномерность освещения

Обнаружена общая закономерность, что при увеличении угла наклонной поверхности коэффициент равномерности увеличивается. Экспериментальным путем выявлено, что наиболее рациональным углом наклона рабочей поверхности для данной проектируемой установки является  $18^{\circ} \pm 5\%$ , когда при верхнем положении облучателя относительно лотка пятый участок (дальний от облучателя) получает максимальное освещение.

Таким образом, при конструировании облучательной установки с целью снижения энергопотерь используется переменное облучение и наклонное положение облучаемой поверхности относительно источника света. Основная задача исследования установить связь между реакцией растения на создаваемые световые условия и параметрами облучательной установки, к ним относятся скорость движения облучателя, задающая экспозицию облучения, и угол наклона рабочей поверхности, дающий более высокую равномерность облучения.

#### Литература

1. Мокроносов, А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты: учебник для студ. вузов / А.Т. Мокроносов, В.Ф. Гавриленко, Т.В. Жигалова; под ред. И.П. Ермакова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 448с.
2. Тооминг, Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая [Текст] / Х.Г. Тооминг. – Л., Гидрометеиздат, 1977. – 199с.
3. Росс, Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова [Текст] / Ю.К. Росс. – Л., Гидрометеиздат, 1975. – 342с.
4. Петрова, Л.Н. Ориентация листьев, структурная организация фотосинтетического аппарата, продуктивность и качество зерна озимой пшеницы [Электронный ресурс] / Л.Н. Петрова, Ф.В. Ерошенко // Научный журнал КубГАУ, №24(8), декабрь 2006 г. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/07.pdf>, свободный.
5. С1 2328652 RU F21V21/00. Устройство выравнивания степени облученности в производственных помещениях / Степанчук Г.В., Ключка Е.П., Якушева Е.Е. (Азово-Черномор. гос. агроинж. акад.). – 2006142613/28; Заявл. 01.12.2006. – 2008. – 4с.
6. AG 9/00 RU 11613 U1. Сборно-разборный стеллаж / Степанчук Г.В., Гуляев П.В., Ключка Е.П., Корчагин П.Т., Сергиенко Е.В., Петренко Э.Э. (Азово-Черномор. гос. агроинж. акад.). – 2010131786\21; Заявл. 28.08.10. Публ. 27.01.2011. – Бюл. №3, 2011. – 4с.

7. Лямцов, А.К. Электроосветительные и облучательные установки [Текст] / А.К. Лямцов, Г.А. Тищенко. – М.: Колос, 1983. – 224с.
8. Жилинский, Ю.М. Электрическое освещение и облучение [Текст] / Ю.М. Жилинский, В.Д. Кумин. – М.: Колос, 1982. – 272с.
9. Рохлин, Г.Н. Разрядные источники света [Текст] / Г.Н.Рохлин. – М.: Энергоиздат, 1991. – 720с.