

Экономический срок службы источников света в тепличном овощеводстве

*П.В. Терентьев, Д.А. Филатов, А.С. Куропатов, С.В. Шильников,
А.С. Соколова*

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород

Аннотация: В настоящее время основными источниками света в тепличном овощеводстве являются натриевые лампы высокого давления. Наиболее перспективными источниками искусственного освещения являются облучатели на основе светодиодов. Они могут обеспечивать свет узкого спектра в диапазонах волн, подходящих для роста и развития растений, так же обладают более низкой температурой нагрева, что позволяет приближать тепличные облучатели к растениям. Цель исследования – определить экономический срок службы натриевых и светодиодных источников света в тепличном овощеводстве с учетом влияния их деградации на урожай. Светодиоды, как и натриевые лампы, деградируют в процессе эксплуатации. Это приводит к снижению светового (фотосинтетического фотонного) потока источников света и, в конечном итоге, к снижению урожайности. Вследствие этого определена функциональная зависимость урожая от уровня светового потока и спрогнозирован экономически целесообразный срок службы источников света.

Ключевые слова: источники света, световой поток, светодиодные светильники, натриевые лампы, урожайность, энергоэффективность, экономичность.

Прогнозирование экономически целесообразного срока службы источника света при облучении растений осуществляется разработанным авторами способом. Данный способ учитывает снижение светового потока (фотосинтетического фотонного потока) источника света в процессе эксплуатации с течением времени, приводящее к росту энергоемкости системы облучения и, как следствие, росту энергоемкости продукции [1,2]. Способ позволяет планировать замену источника света для снижения

экономического ущерба от несвоевременной замены и снижения энергоемкости системы облучения растений.

Поставленная задача решается выполнением алгоритма, включающего:

- измерение светового потока источника света (фотосинтетического фотонного потока) в течение времени;
- построение функциональной зависимости изменения светового потока (фотосинтетического фотонного потока) источника света от времени эксплуатации;
- измерение урожая при изменении уровня светового потока источника света, построение функциональной зависимости урожая от уровня светового потока источника света [3]
- вычисление за расчетный период работы экономического ущерба от снижения светового потока источника света
- прогнозирование (определение) экономически целесообразного срока службы источников света путем сравнения затрат на новые источники света и экономического ущерба в процессе эксплуатации.

На основании данных производителя источника света или экспериментальным путем определяется функциональная зависимость изменения светового потока источника света Φ_i от времени эксплуатации t , имеющая общий вид (отн. ед.) [4]:

$$\Phi_i = b_0 - b_1 \cdot t - b_2 \cdot t^2 \quad (1)$$

где b_0 , b_1 , b_2 - постоянные коэффициенты, зависящие от источника света.

По функциональной зависимости, полученной до начала эксплуатации, определяют среднюю величину светового потока Φ_i за i -ый расчетный период.

Экспериментальным путем измеряют получаемый урожай при различных уровнях светового потока источника света. Затем на основе полученных данных определяют функциональную зависимость урожая Q_i от уровня светового потока Φ_i , имеющей общий вид (отн. ед.):

$$Q_i = a_0 - a_1 \cdot \Phi_i + a_2 \cdot \Phi_i^2 \quad (2)$$

где a_0 , a_1 , a_2 - постоянные коэффициенты, зависящие от культуры растений и типа источника света.

Зная величину светового потока Φ_i , по функциональной зависимости, полученной до начала эксплуатации, определяют среднюю величину урожая Q_i за i -ый расчетный период.

За расчетный период работы величину экономического ущерба Y_i от снижения светового потока источника света определяют по выражению:

$$Y_i = (1 - Q_i) \cdot Q_6 \cdot C_i \quad (3)$$

где Q_i - величина урожая за i -ый период от базового значения, отн.ед.; Q_6 - базовый урожай при номинальном световом потоке источника света, кг/м²; C_i - стоимость единицы урожая, руб./кг.

Определяют (прогнозируют) экономически целесообразный срок службы источников света на основании выполнения условия:

$$N \cdot C_{\text{и.с.}} \leq \sum_{i=1}^n Y_i \quad (4)$$

где N - количество необходимых для замены источников света, шт.; $C_{\text{и.с.}}$ - стоимость одного источника света, руб./шт [5,6].

Способ осуществляется при выращивании салата на площади 10 м² [7]. Необходимо спрогнозировать экономически целесообразный срок службы ламп ДНаЗ-400 и тепличных облучателей TL-PROM FITO со светодиодами Oslon SSL фирмы Osram. Время работы источников света за 1 сезон - 3360 часов. Один культурооборот – 672 часа.

Базовый урожай, полученный при номинальном уровне светового потока натриевого источника света (ДНаЗ-400) $5,7 \text{ кг/м}^2$ за культурооборот. Количество источников света – 12 шт. суммарной мощностью 4,8 кВт.

Базовый урожай, полученный при номинальном уровне светового потока светодиодного источника света $2,85 \text{ кг/м}^2$ за культурооборот. Количество источников света – 10 шт. суммарной мощностью 0,5 кВт.

На рис. 1 показаны функциональные зависимости натриевого источника света и светодиодного источника света.

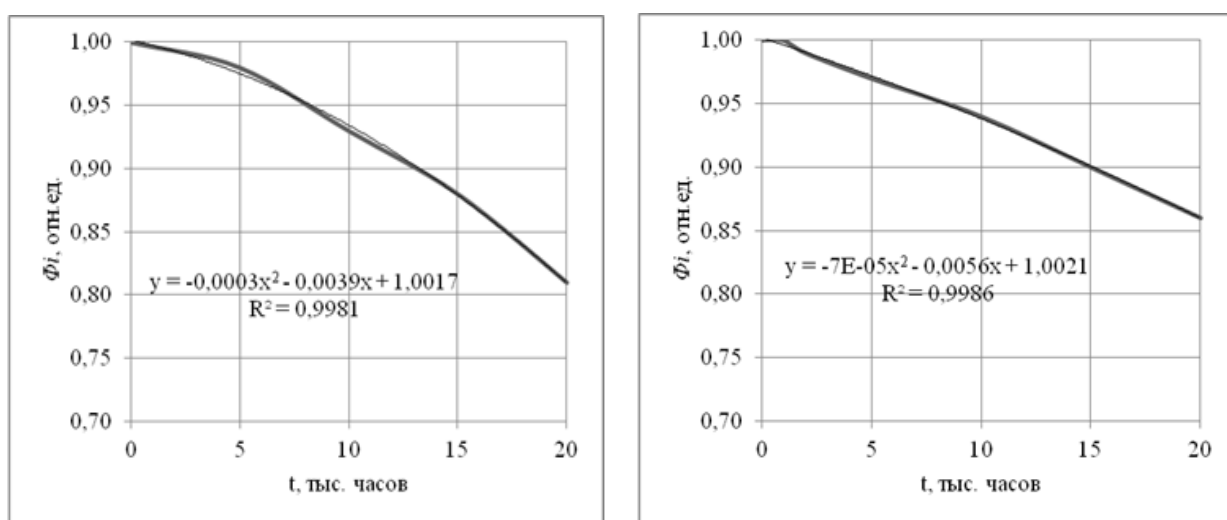


Рис. 1 – Функциональная зависимость светового потока

натриевого (а) и светодиодного (б) источника света от времени эксплуатации

До начала эксплуатации определим функциональную зависимость урожая от уровня светового потока источника света. Полученная функциональная зависимость урожая от уровня светового потока натриевого и светодиодного источника света показана на рис. 2.

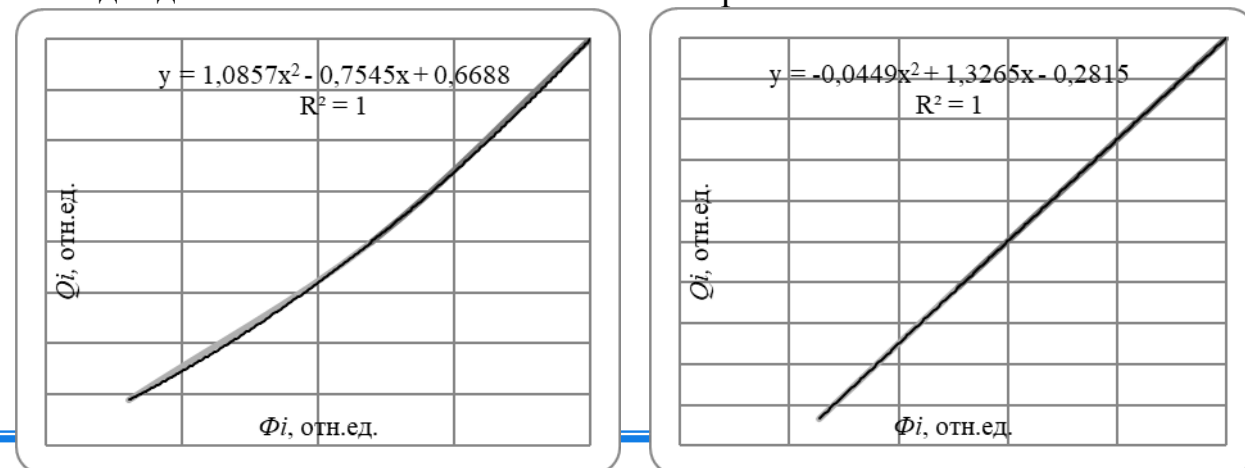


Рис. 2 - Функциональная зависимость урожая от уровня светового потока натриевого (а) и светодиодного (б) источника света

Зная средний световой поток за каждый год эксплуатации, по функциональной зависимости определим средний урожай (в ближайшем приближении за 10 лет). По выражению (3) за расчетный период работы определим величину экономического ущерба U_i от снижения светового потока источника света. Стоимость продукции 250 руб./кг. Данные сведены в таблицу №1 для натриевого источника света и в таблицу №2 для светодиодного источника света.

Таблица №1

Оценка экономического срока службы ламп ДНаЗ при выращивании салата

Год	Средний световой поток от базового Φ_i , отн.ед.	Средняя годовая урожайность Q_i , отн.ед.	Средний годовой экономический ущерб урожайности U_i , руб.	Суммарный экономический ущерб урожайности $\sum_{i=1}^n U_i$, руб.
1	0,99	0,986	1 002	1002
2	0,97	0,958	2 959	3961
3	0,95	0,932	4 854	8815
4	0,93	0,906	6 688	15503
5	0,91	0,881	8 459	23962
6	0,89	0,857	10 169	34131
7	0,87	0,834	11 817	45948
8	0,85	0,812	13 403	59350
9	0,83	0,791	14 927	74277
10	0,81	0,770	16 389	90666

По выражению (4) спрогнозируем экономически целесообразный срок службы источников света.

Стоимость одной лампы ДНаЗ-400 составляет 1845 руб./шт. Суммарные затраты на замену 12 источников света составят 22140 руб.

Из таблицы видно, что экономически целесообразный срок службы ламп ДНаЗ-400 при выращивании салата составляет 4 года (при работе 3360 часов в год), т.к. на 5-ый год выполняется условие по выражению (4):

$$22140 \leq 23962$$

Для снижения экономического ущерба от несвоевременной замены и снижения энергоемкости системы облучения растений необходимо заменить лампы ДНаЗ-400 после 4 лет эксплуатации, даже если они не вышли из строя.

Таблица №2

Оценка экономического срока службы облучателя
TL-PROM FITO 45 UN при выращивании салата

Год	Средний световой поток от базового Φ_i , отн.ед.	Средняя годовая урожайность Q_i , отн.ед.	Средний годовой экономический ущерб урожайности U_i , руб.	Суммарный экономический ущерб урожайности $\sum_{i=1}^n U_i$, руб.
1	0,99	0,984	573	573
2	0,97	0,959	1 453	2026
3	0,95	0,934	2 334	4359
4	0,93	0,910	3 216	7575
5	0,91	0,885	4 099	11674
6	0,89	0,860	4 984	16659
7	0,87	0,835	5 870	22529
8	0,85	0,810	6 758	29287
9	0,83	0,785	7 646	36933
10	0,81	0,760	8 536	45469
11	0,940	0,922	2 775	48244
12	0,935	0,916	2 995	51239
13	0,930	0,910	3 216	54455
14	0,925	0,904	3 437	57891
15	0,920	0,897	3 657	61549

Стоимость одного облучателя TL-PROM FITO 45 UN составляет 5680 руб./шт. Суммарные затраты на замену 10 шт. составят 56800 руб.

Из таблицы видно, что экономически целесообразный срок службы TL-PROM FITO 45 UN при выращивании салата составляет 13 лет (при работе 3360 часов в год), т.к. на 14-ый год выполняется условие по выражению (4):

$$56800 \leq 57891$$

Для снижения экономического ущерба от несвоевременной замены и снижения энергоемкости системы облучения растений необходимо заменить PROM FITO 45 UN после 13 лет эксплуатации [8-11].

В результате полученных расчётов экономический срок службы светодиодных источников света в 3 раза выше, чем натриевых источников света. По результатам исследований можно сделать вывод о том, что при тепличном овощеводстве энергоэффективным и экономически выгодным будет использование светодиодных источников света.

Литература

1. Дальке И.В., Буткин А.В., Табаленкова Г.Н. Малышев Р.В., Григорай Е.Е., Головки Т.К. Эффективность использования световой энергии тепличной культурой листового салата // Известия ТСХА. 2013. №5. С. 60-68.
 2. Маркова А.Е., Мишанов А.П., Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Энергоэффективность светокультуры салата при различной фотонной облученности // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 90. С. 33-39.
 3. Долговых О.Г., Красильников В.В., Газтдинов Р.Р. Влияние лазерной обработки на семена яровой пшеницы Ирень // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1422
 4. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В. Зависимость гармоник тока тепличных облучателей от напряжения питания // Светотехника. – 2020, № 2, С. 85–88.
-

5. Стерхова Т.Н., Савушкин А.В., Сиротин А.А., Корнаухов П.Д. Электрический способ обеззараживания семян сельскохозяйственных культур // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1590
6. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В., Зиганшин Б.Г. Экспериментальные исследования температуры нагрева тепличных облучательных установок // Вестник Казанского ГАУ. 2020, №1(57), с. 76-80.
7. Gazula, A., M.D. Kleinhenz, J.C. Scheerens, and P. P. Ling. 2007. Anthocyanin levels in nine lettuce (*Lactuca sativa*) cultivars: Influence of planting date and relations among analytic, instrumented, and visual assessment of color. *HortScience* 42:232–238.
8. Son, K.H. and M.M. Oh. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *HortScience* 48:988–995.
9. W. Garrett Owen, Roberto G. Lopez. 2015. End-of-production Supplemental Lighting with Red and Blue Light-emitting Diodes (LEDs) Influences Red Pigmentation of Four Lettuce Varieties. *HortScience* 50(5):676–684.
10. Gherghina E., Luță G., Dobrin E., Drăghici E., Bălan D. Martinez Sanmartin, A. 2020. Biochemical changes under artificial LED lighting in some *Lactuca sativa* L. varieties. *AgroLife Scientific Journal*. Vol.9 No.1 pp.141-148.
11. Olle, M., Viršile, A. 2013. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, 22(2), 223-234.

References

1. Dalke I.V, Butkin A.V, Tabalenkova G.N., Malyshev R.V., Grigorai E.E., Golovko T.K. *Izvestiya TsKhA*, 2013, № 5, 60-68 p.
-



2. Markova A.E., Mishanov A.P., Rakutko S.A., Rakutko E.N. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva, 2016, № 90, 33-39 p.
3. Dolgovykh O.G., Krasilnikov V.V., Gaztdinov R.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1422
4. Kondrateva N.P., Filatov D.A., Terent'ev P.V. Svetotekhnika. 2020, №2, pp.85–88
5. Sterkhova T.N., Savushkin A.V., Sirotin A.A., Kornaukhov P.D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1590
6. Kondrateva N.P., Filatov D.A., Terent'ev P.V., Ziganshin B.G. Vestnik Kazanskogo GAU, 2020, № 1 (57), 76-80 p.
7. Gazula, A., M.D. Kleinhenz, J.C. Scheerens, and P.P. Ling. 2007. Anthocyanin Levels in Nine Lettuces (*Lactuca sativa*): Influence of Planting Date and the Relationship between Analytical, Instrumental and Visual Color Assessment. *HortScience* 42: 232-238.
8. Son of K.Kh. and M. Oh. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce varieties grown with different combinations of blue and red LEDs. *HortScience* 48: 988-995.
9. W. Garrett Owen, Roberto G. Lopez. 2015. Additional lighting with red and blue LEDs (LEDs) at the end of production affects the red pigmentation of the four lettuce varieties. *HortScience* 50 (5): 676-684.
10. Gergina E., Luce G., Dobrin E., Dragichi E., Balan D. Martinez Sanmartin, A. 2020. Scientific journal *AgroLife*. Volume 9 No. 1 p. 141-148.
11. Olle, M., Virsile, A. 2013. *Agriculture and Food Science*, 22 (2), 223-234.