

УДК 628.931

UDC 628.931

**СРАВНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА ПО СТОИМОСТИ
ЕДИНИЦЫ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ И
АНАЛОГАМ**

**COMPARISON OF RADIATION SOURCES FOR
PLANT GROWING BY LUMINOUS ENERGY
UNIT'S COSTS AND ANALOGS**

Козырева Ирина Николаевна
инженер

Kozyreva Irina Nikolaevna
engineer

Никитин Владимир Дмитриевич
к.т.н., доцент
*Национальный исследовательский Томский
политехнический университет, г. Томск, Россия*

Nikitin Vladimir Dmitrievich
Cand.Tech.Sci., associate professor
*National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia*

Предложена методика сравнения источников излучения для растениеводства по стоимости единицы фотосинтезной энергии, оценка критических значений КПД фотосинтетически активной радиации, при которых светодиоды по стоимости единицы фотосинтезной энергии сравнимы с наиболее распространенными альтернативными источниками для облучения растений – натриевыми лампами высокого давления

The article considers the method of comparison of radiation sources for plant growing by photosynthetic energy units or analogs costs, evaluation of critical values photosynthetic active radiation efficiency at which light-emitting diodes comparable by photosynthetic energy unit's costs with the most common alternative sources for irradiation of plants – high pressure sodium lamps

Ключевые слова: СВЕТОДИОД,
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНАЯ
РАДИАЦИЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Keywords: LIGHT-EMITTING DIODES,
PHOTOSYNTHETIC ACTIVE RADIATION,
ECONOMIC EVALUATION

Введение

С быстрым ростом тарифов на электроэнергию (ЭЭ) при использовании в растениеводстве искусственных источников излучения (ИИ) остро встает задача сравнения их эффективности.

Стоимость единицы световой энергии (ЕСЭ) успешно использовалась как критерий при оценке и сравнении осветительных и облучательных установок (ОБУ); может применяться независимо от стадии проектирования (или строительства) и числа сравниваемых установок; учитывает примерно 90% стоимости установки.

На поле экономической оценки светотехнических (в том числе – осветительных) установок господствует методика С.А. Клюева [9], но для поиска оптимальных решений она бесполезна: требует полностью завершенной проектной работы, в частности, знания большого числа

факторов, на деле мало изменяющихся от варианта к варианту [13] (потому почти не влияющих на итог сравнения, но затрудняющих поиск решения).

Оценка экономичности ОБУ методом приведенных затрат, описанная в [3], весьма трудоемкая (громоздкие вычисления), учитывающая много факторов, – на деле вытекает из [9], сводится к примитивному сравнению стоимости установок и не учитывает спектрального состава ОБУ, имеющего для растений неоспоримое значение, степени (не)равномерности потока и других факторов. По существу, при сравнении ОБУ учитывается суммарный поток ИИ, а все светотехнические и биологические нюансы остаются вне рассмотрения; но зачем в оценку включать десятки и сотни световых приборов, электротехническую инфраструктуру и прочее – если, в принципе, можно взять в качестве критерия стоимость единицы световой энергии и ограничиться учетом в сравниваемых установках четырех существенных факторов (светового потока, расхода ЭЭ, цены, срока службы) только для одной (!) лампы.

Сравнение стоимости ЕСЭ является удачным компромиссом между учетом только стоимости ЭЭ (важнейшей, самой весомой компоненты) и учетом более десяти параметров [9]. Стоимость ЕСЭ для осветительных установок [11, 13]:

$$G = q \cdot \eta_v^{-1} + C_{ИИ} \cdot (\Phi_{ИИ} \cdot \tau)^{-1} + C_{СП} \cdot (\Phi_{СП} \cdot \eta_{СП} \cdot t \cdot T)^{-1}, \quad (1)$$

где

q – тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч;

η_v – световая отдача ИИ, лм/Вт;

$C_{ИИ} \setminus C_{СП}$ – стоимость ИИ \ светового прибора в сборе (СП), руб.;

$\Phi_{ИИ}$ – световой поток ИИ, клм;

τ – срок службы ИИ, ч;

$\Phi_{СП}$ – световой поток СП, клм;

$\eta_{СП}$ – КПД СП, отн. ед.;

t – число часов работы установки в год, ч;

T – срок службы СП, лет.

Третье слагаемое (подчеркнуто) выражения (1) можно в первом приближении не учитывать.

Для экспресс-оценки можно использовать:

– произведение двух важнейших параметров – светотехнического η_v и эксплуатационного τ [11], представляющее отношение мощности световой энергии к электрической мощности ИИ; стоимость ИИ не учитывает;

– «широкобазисный» комплекс $\mu = \eta_v \cdot \tau \cdot C^{-1}$, где C – стоимость только ИИ (либо СП вместе с ИИ); опыта применения этого комплекса нет, но возможно, он окажется хорошим критерием, особенно в рейтинговых и маркетинговых исследованиях, поскольку учитывает лм, Вт, часы, рубли.

По аналогии со стоимостью ЕСЭ для осветительных установок, стоимость единицы фотосинтезной энергии (ЕФЭ) для растениеводческих ИИ:

$$G_{\phi} = q \cdot \eta_{\phi}^{-1} + C \cdot (P \cdot \eta_{\phi} \cdot \tau)^{-1}, \quad (2)$$

где

q – тариф на электроэнергию, руб. / кВт·ч;

η_{ϕ} – КПД фотосинтетически активной радиации (ФАР) ИИ, отн. ед. \ поток фотонов, моль·с⁻¹ \ плотность потока фотонов, моль·(м²·с)⁻¹;

C – стоимость ИИ, руб.;

P – мощность ИИ, кВт;

τ – срок службы ИИ, ч.

Для ОБУ комплекс экспресс-оценки имеет вид

$$\mu = \eta_{\phi} \cdot \tau \cdot C^{-1}. \quad (3)$$

Поскольку из всех процессов, происходящих в растениях, фотосинтез – наиболее энергоемкий, при оценке закономерно ориентирование на уровень фотосинтезной отдачи ИИ (КПД ФАР). КПД ФАР может быть определен по формуле [2, 4, 14]:

$$\eta_{\phi} = 0,95 \cdot P_3^{-1} \int_{300}^{750} \varphi(\lambda) K(\lambda)_{\phi} d\lambda, \quad (4)$$

где

0,95 – максимальная фотосинтезная эффективность излучения при $\lambda_{\max}=680$ нм;

$\varphi(\lambda)$ – функция спектрального распределения энергии излучения ИИ;

$K(\lambda)_{\phi}$ – функция спектральной эффективности фотосинтеза;

P_3 – электрическая мощность ИИ.

Пределы интегрирования (4) соответствуют диапазону фитофизиологической радиации [8].

Для ИИ, используемых в установках для облучения растений, желателен максимальный КПД ФАР. Для современных натриевых ламп высокого давления он составляет (32–33)%, для светодиодных (СД) – (25–30)% [15]. Отметим, что связь лучистых, фито- и фотонных величин со световым потоком проанализирована в [10].

Расчет стоимости единицы фотосинтезной и световой энергии для светодиодных и других источников излучения

Результаты оценки ЕФЭ по уравнению (2) для ряда СД растениеводческих ламп представлены в таблице 1 и на рисунке 1. В качестве параметра η_{ϕ} использован КПД ФАР ИИ, отн. ед., в связи с тем, что эти данные для ряда ИИ систематизированы и в большом объеме представлены в литературных источниках [1, 12, 17].

Поскольку фактическая информация о значениях КПД ФАР рассматриваемых СД ИИ нам неизвестна, оценка выполнена для интервала наиболее вероятных значений $\eta_{\phi}=(5...35)\%$, а также, с целью сравнения, для традиционных ламп: MASTER GreenPower 600 W, Osram Fluora 18 W, Sylvania GroLux SHP-TS 250, 400 W; ЛБ-40 ($\eta_{\phi}=22\%$ [1, 12]), ДРЛФ-400 ($\eta_{\phi}=11\%$ [1, 12]), MASTER SON-T PIA Agro-400 ($\eta_{\phi}=28\%$ [12]), ДНаЗ-400 ($\eta_{\phi}=26\%$ [12, 17]), ДНаЗ-600 ($\eta_{\phi}=30\%$ [12]) и других (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Расчет стоимости единицы фотосинтезной энергии G_{ϕ} , руб./кВт·ч·отн. ед., для светодиодных (фрагмент – предоставлены только нечетные позиции 1, 3, 5, 7 и 9) и традиционных ламп (при $q=3,5$ руб./кВт·ч, $\eta_{\phi}=var$, %)

Номенклатура, характеристики ИИ (P , кВт \ τ , 10^3 ч \ C , руб.)	Значения G_{ϕ} при η_{ϕ} , равном, %							$C \cdot P^{-1}$, руб./Вт
	5	10	15	20	25	30	35	
LED GLOW-E27 [16]:								
1. 3W (0,003 \ 50 \ 350)	117	58	39	29	23	19	17	117
3. 15W (0,015 \ 50 \ 1090)	99	50	33	25	20	17	14	73
5. 36W (0,036 \ 50 \ 2190)	94	47	31	24	19	16	13	61
7. EasyGrow Sprout MultiRed 15W (0,015 \ 50 \ 1550) [6]	111	56	37	28	22	19	16	103
9. Fito led PAR38-12W-RW E27 (0,012 \ 40 \ 2400) [7]	170	85	57	43	34	28	24	200
11. MASTER GreenPower 600W (0,6 \ 10 \ 4000)	83	42	28	21	17	14	12	7
12. Osram Fluora (0,018 \ 10 \ 275)	101	50	34	25	20	17	14	15
Sylvania GroLux SHP-TS:								
13. 250W (0,25 \ 24 \ 900)	73	37	24	18	15	12	10	4

В линейке СД ИИ одного производителя стоимость G_{ϕ} снижается при увеличении мощности ИИ – пример для ламп LED GLOW показан в таблице 1 (позиции 1–5). Но для разрядных ламп все сложнее: ДНаЗ-600, имея η_{ϕ} на 15% выше, чем у ДНаЗ-400, оказывается вдвое ее дороже, но вдвое дешевле, чем MASTER GreenPower. Здесь же (а также в таблицах 2 и 3) приведена стоимость одного ватта ($C \cdot P^{-1}$). Зависимости $G_{\phi}(\eta_{\phi})$ для ряда ламп СД, натриевых, люминесцентных, металлогалогенных, ртутных и галогенных представлены на рисунке 1.

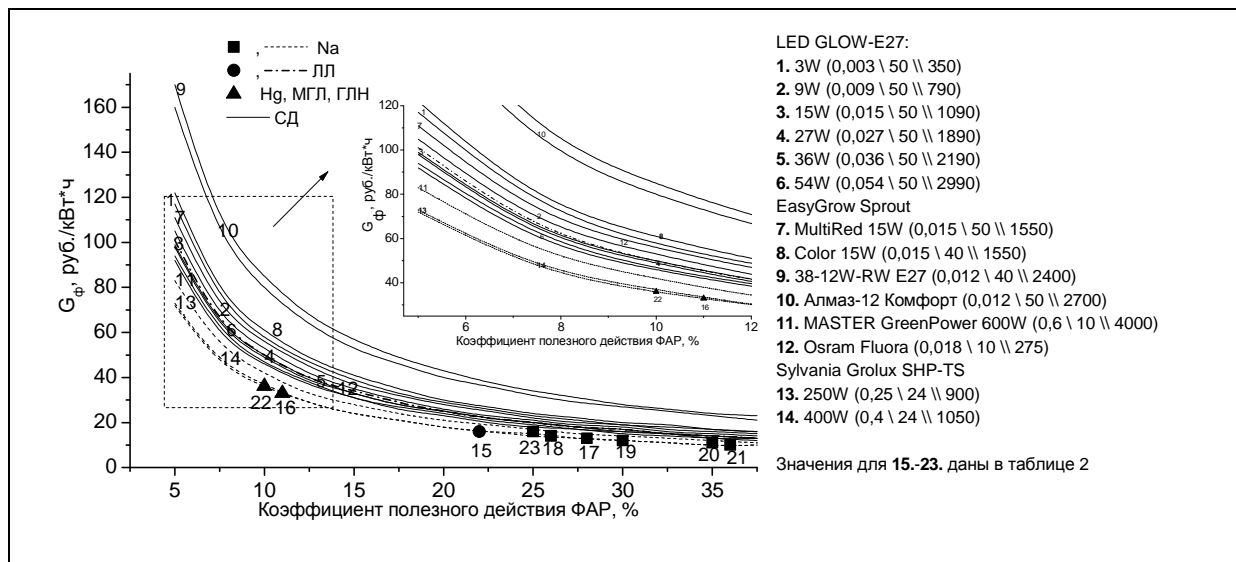


Рисунок 1. Зависимости $G_{\phi}(\eta_{\phi})$ для СД, натриевых, люминесцентных и других ламп (диапазон $\eta_{\phi}=5...12$ укрупненно показан на врезке)

Нумерация ИИ и СП, принятая в таблицах 1 и 2, будет использована и продолжена далее.

Таблица 2 – Расчет стоимости ЕФЭ G_{ϕ} , руб./кВт·ч·отн. ед., для ламп (при $q=3,5$ руб/кВт·ч и конкретных η_{ϕ} , % [1, 5, 12, 17])

Источник излучения	P , кВт	τ , 10^3 ч	η_{ϕ} , %	C , руб.	G_{ϕ} , руб./кВт·ч	$C \cdot P^{-1}$, руб./Вт
15. ЛБ-40	0,04	12	22	20	16	0,5
16. ДРЛФ-400	0,4	7	11	400	33	1,0
17. MASTER SON-T PIA Agro-400	0,4	17	28	1600	13	4
18.\ 19. ДНаЗ-400\600	0,4\ 0,6	12\ 18	26\ 30	1000\ 2000	14\ 12	2,5\ 3,3
20. PLANTASTAR 600W	0,6	12	35	1700	11	2,8
21. LU 600	0,6	12	36	1400	10	2,3
22. КГ-2000	2	2	10	200	36	0,1
23. Growmaster HIT-250-gw-E40	0,25	10	25	1000	16	4

Учет доли стоимости источника излучения в светодиодном приборе

Стоимость традиционных ИИ не включает затраты на ПРА (без которой их функционирование не представляется возможным) и световой прибор. Расчеты стоимости единицы фотосинтезной энергии для СД

светильников даны в таблице 3. Для объективного сравнения СД ламп и облучателей, представляющих собой совокупность ИИ и СП, необходимо выявление доли ИИ в цене всего прибора, что весьма затруднительно (производители не приводят такую информацию). Поэтому в таблице 3 расчеты даны для ряда вероятных соотношений: $C_{ИИ}=(0,3\div 0,8)C$.

Таблица 3 – Расчет стоимости единицы фотосинтезной энергии G_{ϕ} , руб./кВт·ч·отн.ед., для СД светильников (при $q=3,5$ руб./кВт·ч, $C_{ИИ}=0,8C \setminus 0,5C \setminus 0,3C$, где C – полная стоимость)

Характеристики (P , кВт \ τ , 10^3 ч \ C , руб.)	$C_{ИИ} \cdot C^{-1}$	G_{ϕ} при η_{ϕ} , равном, %							$C \cdot P^{-1}$, руб./Вт
		5	10	15	20	25	30	35	
24. Топаз-100 (0,1 \ 50 \ 9000)	0,8	99	49	33	25	20	16	14	72
	0,5	88	44	29	22	18	15	13	45
	0,3	81	40	27	20	16	13	12	27
25. Топаз-100-2 (0,1 \ 50 \ 11900)	0,8	108	54	36	27	22	18	15	95
	0,5	94	47	31	23	19	16	13	60
	0,3	84	42	28	21	17	14	12	36
26. Green Power LED interlighting module deep red/blue (0,11 \ 25 \ 15000)	0,8	154	77	51	39	31	26	22	109
	0,5	123	61	41	31	25	20	18	68
	0,3	102	51	34	25	20	17	15	41
27. PLANT BIO 100-9200-130 (0,13 \ 50 \ 23600)	0,8	128	64	43	32	26	21	18	145
	0,5	106	53	35	27	21	18	15	91
	0,3	92	46	31	23	18	15	13	54
28. УСС-70 БИО (0,075 \ 50 \ 17000)	0,8	143	71	48	36	29	24	20	181
	0,5	115	58	38	29	23	19	16	113
	0,3	97	49	32	24	19	16	14	68
29. LED GLOW UFO GROW LIGHT 135 W (0,135 \ 50 \ 6700)	0,8	86	43	29	21	17	14	12	40
	0,5	80	40	27	20	16	13	11	25
	0,3	76	38	25	19	15	13	11	15
30. LED GLOW UFO GROW PANEL 240W (0,24 \ 50 \ 11290)	0,8	85	43	28	21	17	14	12	38
	0,5	79	40	26	20	16	13	11	24
	0,3	76	38	25	19	15	13	11	14
31. LED GLOW UFO GROW PANEL 400W (0,4 \ 50 \ 16100)	0,8	83	41	28	21	17	14	12	32
	0,5	78	39	26	20	16	13	11	20
	0,3	75	37	25	19	15	12	11	12
32. LED GLOW UFO GROW PANEL 600W (0,6 \ 50 \ 25590)	0,8	84	42	28	21	17	14	12	34
	0,5	79	39	26	20	16	13	11	21
	0,3	75	38	25	19	15	13	11	13

Зависимости $G_{\phi}(\eta_{\phi})$ для ряда СД облучателей, натриевых, люминесцентных, металлогалогенных, ртутных и галогенных ламп представлены и на рисунке 2.

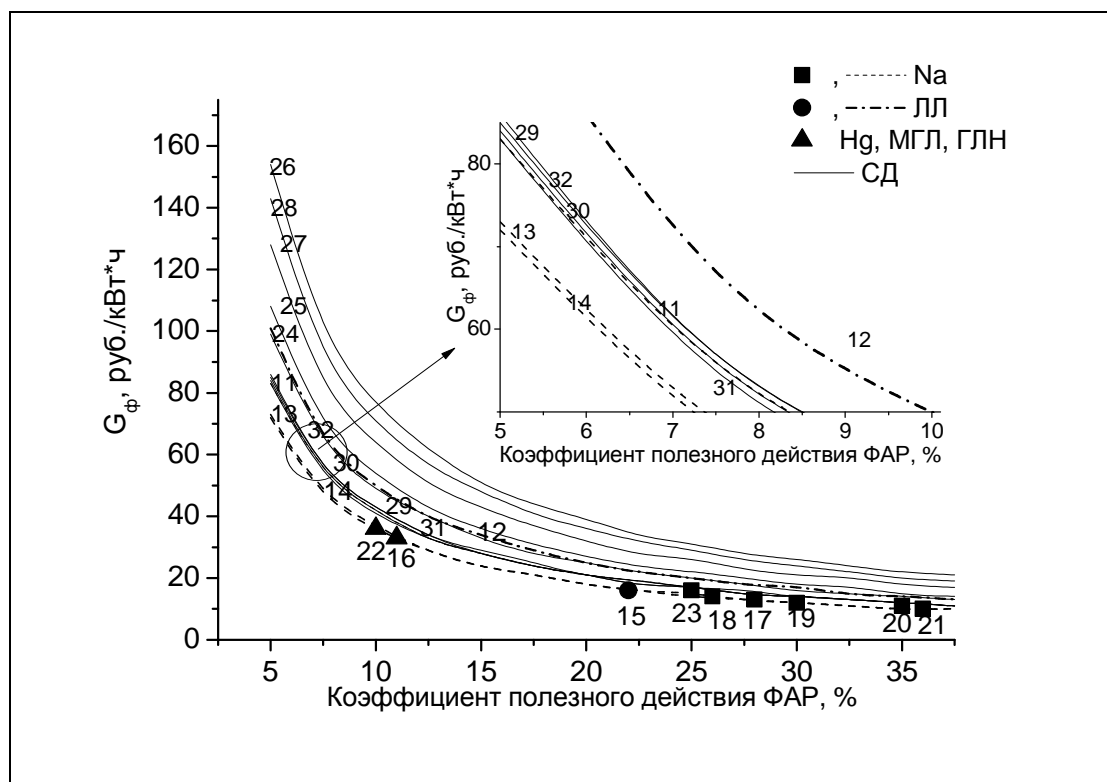


Рисунок 2. Зависимости $G_{\phi}(\eta_{\phi})$ для светодиодных СП, натриевых, люминесцентных и других ламп (ход линий для позиций 11–14 и 29–32 укрупненно показан на врезке)

Отношение стоимости к мощности, $C \cdot P^{-1}$, руб./Вт, для светодиодных ламп и СП, натриевых, люминесцентных и других ламп дано на рисунке 3.

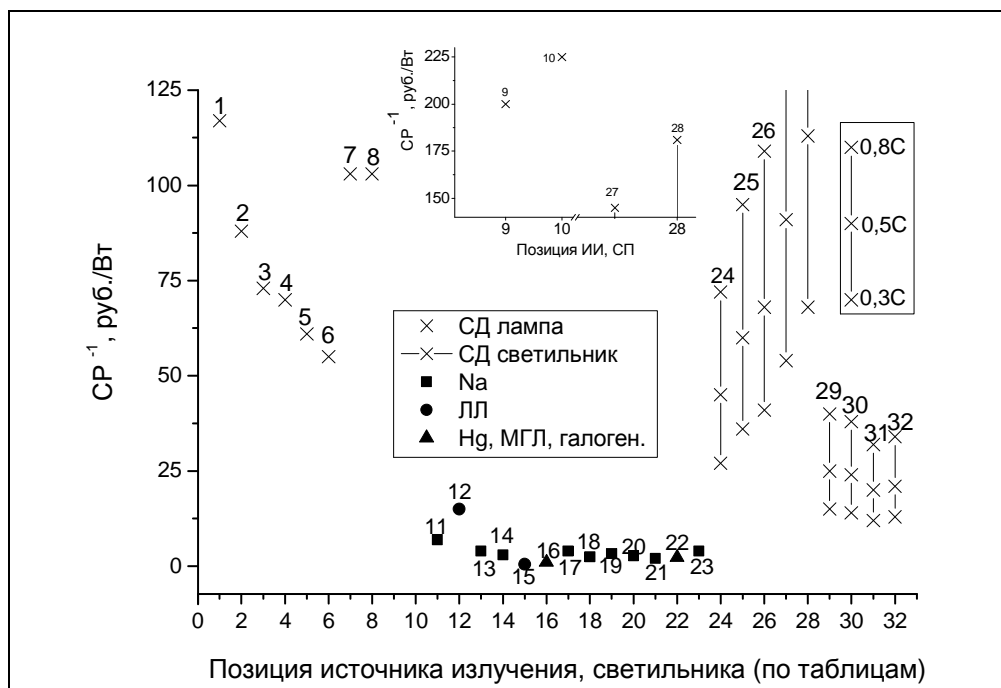


Рисунок 3. Отношение $C \cdot P^{-1}$, руб./Вт, для светодиодных ламп и СП, натриевых, люминесцентных и других ламп; на позициях 24...32 даны для значений (0,3–0,5–0,8)C

Критические значения КПД ФАР

Критические значения КПД ФАР, при которых СД лампы могут конкурировать с традиционными, предлагаем оценивать по формуле:

$$(\eta_{\phi 2})_{крит} = \eta_{\phi 1} \prod_{i=1}^2 (q + C_i \cdot P_i^{-1} \cdot \tau_i^{-1})^{a_i}, \quad (5)$$

где

$i=1$ – альтернативный ИИ,

$i=2$ – СД ИИ,

$a_i = (-1)^i$.

Методика определения критических значений (принципиально) показана на рисунке 4.

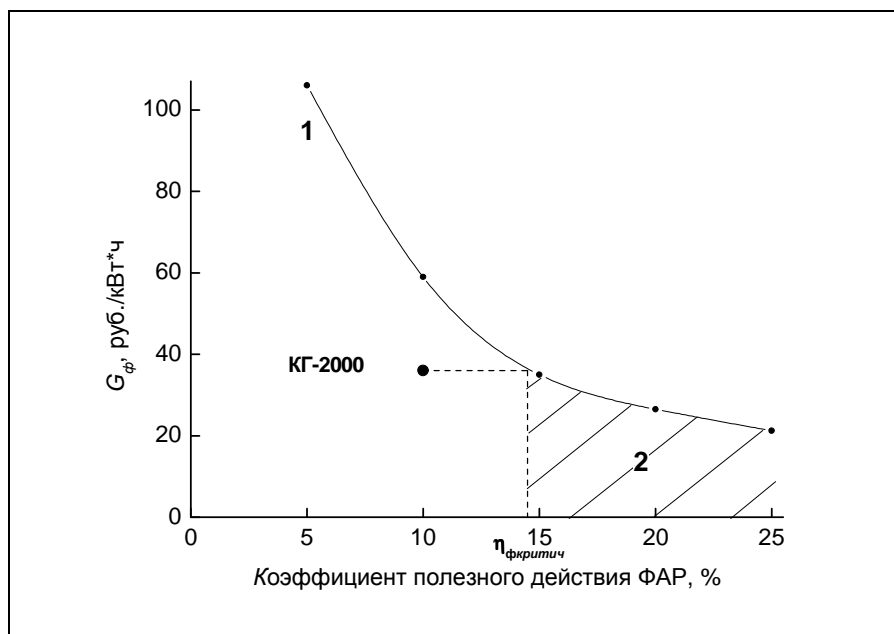


Рисунок 4. К определению критических значений КПД ФАР

- 1 – зависимость $G(\eta_\phi)$ СД для интервала наиболее вероятных значений η_ϕ ;
- 2 – область конкурентноспособности (заштрихована) СД vs КГ-2000

В таблице 4 даны (в первом приближении) критические значения КПД ФАР.

Таблица 4 – Критические значения η_ϕ для светодиодных ламп при $q=3,5$ руб./кВт·ч, в интервале вероятных значений $\eta_\phi=5...35\%$; для лампы **6.** и **11.** $\eta_\phi=32\%$. Фрагмент)

Источник излучения	Критические значения η_ϕ , %, для СД ламп									
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
12. Osram Fluora 18 W	-	-	5...14	5...35	5...35	5...35	-	-	-	-
15. ЛБ-40	-	32	31	31	28	28	34	-	-	-
16. ДРЛФ-400	17	16	15	15	14	14	17	18	26	24
22. КГ-2000	16	15	14	14	13	13	15	17	23	22
23. Growmaster HIT-250-gw-E40	-	33	31	31	29	29	35	-	-	-

Критические значения лежат в диапазоне от 13% до 35%; η_ϕ , превышающие 35%, не рассматривались. Эквивалентна или обладает небольшим преимуществом в сравнении с люминесцентной лампой

Fluora (18 Вт) – серия светодиодных ламп LED GLOW-E27 с номинальной мощностью 15 Вт (для $\eta_{\phi}=5...14\%$), 27, 36 и 54 Вт (для $\eta_{\phi}=5...35\%$).

В таблице 5 даны приблизительные критические значения КПД ФАР, при которых рассматриваемые в таблице 3 СД светильники могут конкурировать с некоторыми традиционными лампами. Критические значения лежат в диапазоне 11...35%; значения $\eta_{\phi}>35\%$ не рассматривались. Эквивалентны или обладают небольшим преимуществом в сравнении с натриевой лампой MASTER GreenPower (600 Вт) серия СД светильников LED GLOW с номинальными значениями мощности 135 (для $\eta_{\phi}=20...35\%$), 240 (для $\eta_{\phi}=15...35\%$), 400 и 600 Вт (для $\eta_{\phi}=5...35\%$), 27, 36 и 54 Вт (для $\eta_{\phi}=5...35\%$). Эти же СД СП эквивалентны или обладают небольшим преимуществом в сравнении с люминесцентной лампой Fluora (18 Вт) для $\eta_{\phi}=5...35\%$.

Таблица 5 – Критические значения η_{ϕ} для СД-светильников при $q=3,5$ руб/кВт·ч, в интервале вероятных значений $\eta_{\phi}=5...35\%$, $C_{ии}=0,8C$

Источник излучения	Критические значения η_{ϕ} , %, для СД-светильников								
	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.
11. MASTER GreenPower 600W	-	-	-	-	-	20...35	15...35	5...35	5...35
12. Osram Fluora 18 W	5...35					5...35	5...35	5...35	5...35
15. ЛБ-40	29	33	-	-	-	26	26	26	25
16. ДРЛФ-400	15	16	23	19	22	13	13	13	12
17. MASTER SON-T PIA Agro-400	-	-	-	-	-	32	-	30	32
18.\19. ДНаЗ-400\600	-	-	-	-	-	27\32	-	30\30	32\32
22. КГ-2000	14	15	21	18	20	11	12	12	12
23. Growmaster HIT-250-gw-E40	30	33	-	-	-	26	27	26	26

Выводы

1. Предложены методики:

– сравнения ОБУ для растениеводства по стоимости единицы фотосинтезной энергии (и аналогам);

– оценки критических значений КПД ФАР (при сравнении различных ИИ);

– учета предполагаемой доли СД ИИ в стоимости СП (производители этой информации не дают).

– расширения светотехнического экспресс-показателя $\mu = \eta_v \cdot \tau$ на случай ОБУ в форме $\mu = \eta_\phi \cdot \tau \cdot C^{-1}$, где C – стоимость ИИ; μ – более информативный критерий, чем широко используемая стоимость одного ватта ($C \cdot P^{-1}$).

2. Выполнены расчеты стоимости единицы фотосинтезной энергии с целью анализа растениеводческих источников излучения, светодиодных и альтернативных.

3. Предложена формула для оценки критических значений КПД ФАР; в линейке СД ИИ одной серии (одного производителя) стоимость ЕФЭ снижается при увеличении мощности ИИ.

4. Предложен критерий $\mu = \eta_\phi \cdot \tau \cdot C^{-1}$ (комплекс свето-, электротехнических и экономических показателей), перспективный для маркетинговых исследований на рынке светодиодной продукции.

5. Выявлено, при анализе стоимости единицы фотосинтезной энергии ряда СД СП, что без снижения цены СД приборов равноценность с ДНаЗ-400 и ДНаЗ-600 недостижима (из-за меньшего значения КПД ФАР светодиодов).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-00109 а».

Список литературы

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006. – 972 с.
2. Баев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению. – М.: КолосС, 2008. – 191 с.

3. Валяев Д.Б., Малышев В.В. Техничко-экономическое обоснование применения светодиодных светильников в теплицах // Инновации в сельском хозяйстве. – 2013. – № 3 (1). – С. 55–57.
4. Георгиев Г.Д. Оценка фотосинтезной эффективности излучения и разработка высокоэкономичных источников для облучения растений// Светотехника. – 1979. – № 11 – С. 22–24.
5. Каталог компании ООО ТК «Самара-Электро». URL:<http://growsvet.ru/shop/352/954/> (дата обращения 15.10.2013).
6. Каталог компании «LED Центр». URL: <http://ledcentre.ru/led-osveschenie-dlja-rastenij.html> (дата обращения 15.10.2013).
7. Каталог компании ООО «ГрандИнтерЛайт». URL: <http://www.grand-light.ru> (дата обращения 15.10.2013).
8. Клешнин А.Ф. Свет и растение. – М.: Издательство Академии наук СССР. – 1954. – 456 с.
9. Клюев С.А. Техничко-экономические расчеты при проектировании осветительных установок // Светотехника. – 1975. – № 8. – С. 18–23.
10. Козырева И.Н., Никитин В.Д., Цугленок Н.В. Графоаналитическая интерпретация параметров и характеристик источников излучения для растениеводства // Вестник КрасГАУ. – 2013. – №. 12. – С. 236–241.
11. Крымов А.В., Никитин В.Д. Анализ экономических показателей полупроводниковых и традиционных источников света // Светотехника. – 2012. – № 2. – С. 64–65.
12. Малышев В.В., Кручинин П.Г., Летаев С.А. Оценка эффективности источников оптического излучения для растениеводства. // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – № 4. – С. 19–22.
13. Никитин В.Д., Матющенко А.А., Шаламова Ю.С. Экономический анализ установок наружного освещения // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310. – № 1. – С. 234–239.
14. Обыночный А.Н., Юферев Л.Ю., Свентицкий И.И. Оценка превратимости главного энергетического входа в аграрное производство // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 9 – С. 51–53.
15. Прикупец Л.Б. Светодиодные облучатели и перспективы их применения в теплицах // Теплицы России. – 2010. № 1. – С. 52–55.
16. Светодиодное освещение для растений. URL: <http://www.led-glow.ru> (дата обращения 15.10.2013).
17. Тихомиров А.А. Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000. – 213 с.

References

1. Sprevochnaya kniga po svetotekhnike / Pod red. Yu.B. Aizenberga. M.: Znak, 2006. – 972 s.
2. Baev V.I. Praktikum po electriceskomu osvescheniyu i oblucheniyu. – M.: KolosS, 2008. – 191 s.
3. Valyaev D.B., Malyshev V.V. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie primineniya svetodiodnykh svetilnikov v teplitsah // Innovatsii v seliskom khozyaystve. – 2013. – № 3 (1). – S. 55–57.
4. Georgiev G.D. Otsenka photosinteznoy effektivnosti islycheniya i razrabotka vysokoekonomichnykh istochnikov dlya oblucheniya rasteniy// Svetotekhnika. – 1979. – № 11. – S. 22–24.

5. Каталог компании ООО ТК «Samara-Electro». URL:<http://growsvet.ru/shop/352/954/> (data obrascheniya 15.10.2013).
6. Каталог компании «LED Tsentr». URL: <http://ledcentre.ru/led-osveschenie-dlja-rastenij.html> (data obrascheniya 15.10.2013).
7. Каталог компании ООО «GrandInterLight». URL: <http://www.grand-light.ru> (data obrascheniya 15.10.2013).
8. Kleshnin A.F. Svet I rastenie. – M.: Isdatelstvo Akademii nauk SSSR. – 1954. – 456 s.
9. Kluev S.A. Tekhniko-ekonomicheskie raschety pri proektirovanii osvetitelnykh ustanovok // Svetotekhnika. – 1975. – № 8. – S. 18–23.
10. Kozyreva I.N., Nikitin V.D., Tsyglenok N.V. Grafoanaliticheskaya interpretatsiya parametrov i kharakteristik istochnikov izlycheniya dlya rastenievodstva // Vestnik KrasGAY. – 2013. – № 12. – С. 236–241.
11. Krymov A.V., Nikitin V.D. Analis ekonomicheskikh pokazateley polyprovodnikovyykh i traditsionnykh istochnikov sveta // Svetotekhnika. – 2012. – № 2. – S. 64–65.
12. Malyshev V.V., Krychinin P.G., Letaev S.A. Otsenka effektivnosti istochnikov opticheskogo izlycheniya dlya rastenievodstva // Tekhnika v selskom khozyaystve. – 2009. – № 4. – S. 19–22.
13. Nikitin V.D., Matyschenko A.A., Shalamova Yu.S. Ekonomicheskii analiz ustanovok naruzhnogo osvescheniya // Izvestiya Tomskogo polotekhnicheskogo universiteta. – 2007. – Т. 310. – № 1. – S. 234–239.
14. Obynochnyy A.N., Yuferev L.Yu., Sventitskiy I.I. Otsenka prevratimosti glavnogo energeticheskogo vhoda v agrarnoe proizvodstvo // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2008. – № 9 – S. 51–53.
15. Prikupets L.B. Svetodiodnye obluchateli I perspektivy ikh primeneniya v teplitsakh // Teplitsy Rossii. – 2010. № 1. – S. 52–55.
16. Svetodiodnoe osveschenie dlya rasteniy. URL: <http://www.led-glow.ru> (data obrascheniya 15.10.2013).
17. Tikhomirov A.A. Sharypich V.P., Lisovskiy G.M. Svetokultura rasteniy: boifizicheskie i biotekhnologicheskie jsnovy. Novosibirsk: Izdatelstvo SO RAN, 2000. – 213 S.