

УДК 628.987

**А.Д. Гончаров, В.И. Туев**

## Оценка эффективности светораспределения осветительных приборов

Выполнена разработка методики оценки эффективности светораспределения осветительных приборов. Предложено для оценки эффективности светораспределения осветительных приборов ввести параметр по оценке коэффициента полезного действия. Оценка эффективности светораспределения выполнена для стандартных типов кривых силы света и для осветительных установок и систем для выращивания микроводорослей промышленного, тепличного, типового офисного и промышленного назначений. Результаты статьи могут быть полезны специалистам, занимающимся проектированием осветительных установок и систем, разработкой осветительных приборов, а также специалистам, работающим в энергетических отраслях.

**Ключевые слова:** коэффициент использования светового потока, тепличные облучательные установки, оптическая система облучательной установки, кривая сила света, светодиодные осветительные приборы, промышленные осветительные системы, системы для выращивания микроводорослей промышленного назначения.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2018-21-4-1-77-82

Как отмечено в работе [1], одним из важных параметров, по которому осуществляется выбор осветительного прибора (ОП) для применения его в конкретной осветительной установке (ОУ), является полезный угол излучения – угол, в котором заключен полезный световой поток и который характеризует эффективность использования кривой силы света (КСС) осветительного прибора (ОП) в ОУ [2]. Согласно [2] полезный угол излучения – часть угла излучения, в котором заключен световой поток ОП, полезный для конкретного применения ОП. В [1] разработана методика, которая позволяет рассчитать полезный угол излучения ОП для конкретной ОУ.

Методика [1] основана на поэтапном урезании угла излучения путем присвоения нулевого значения параметру интенсивности конкретного угла в фотометрическом файле. Дальнейший расчет сводится к определению коэффициента использования светового потока при помощи разработанной авторами методики [3] и построению зависимости коэффициента использования светового потока от угла излучения. По полученной зависимости определяется участок, в котором коэффициент использования не изменяется при увеличении угла излучения. Угол, при котором коэффициент использования светового потока не изменяется, является полезным углом излучения.

Полезный угол излучения, с одной стороны, показывает на полезное использование светового потока конкретных участков кривой силы света (КСС), за счет чего происходит формирование результирующей средней освещенности или облученности на рассматриваемой поверхности, с другой стороны, не дает численного представления в виде параметра коэффициента полезного действия (КПД) – насколько эффективно используется светораспределение в конкретной ОУ [2].

В работе [4] приводится зависимость накопленного светового потока на рабочей поверхности от угла излучения ОП при конкретной рассматриваемой ОУ и заданной КСС. Даны рекомендации в виде документов в зависимости от области применения осветительных приборов:

– руководство по жилому направленному освещению (акцентному освещению) [5, 6], в котором приводятся рекомендации по выбору оптимального светораспределения. Для этих целей вводится термин Beam Spread или Beam angle, который определяется из светораспределения ОП как угол, при котором сила света составляет 50% от максимальной силы света. Для этих целей, как отмечается в работе [5], наиболее востребованными являются углы от 10 до 30 град;

– руководство по-уличному и дорожному освещению [7], в котором приводятся рекомендации по выбору эффективного светораспределения при помощи параметра LSAE (Luminaire System Application Efficacy), который определяется как отношение полезного светового потока к потребляемой мощности ОП.

Задачу оценки эффективного светораспределения ОП уличного типа пытались решать авторы работ [8, 9]. В работе [8] оценка осуществляется при помощи параметра LSAE [7], в работе [9] оценка осуществляется при помощи расчета значения коэффициента использования светового потока [10]. Но, как известно, коэффициент использования светового потока связан с полезным световым потоком линейно, поэтому параметр LSAE можно выразить через коэффициент использования светового потока, что и отмечается в работе [8]. Но одно дело, когда речь идет об уличных ОУ, в которых отсутствуют многократные переотражения от поверхностей, что исключает возможность попадания на рабочую поверхность световых лучей 1, 2, ...,  $n$ -го порядков, а другое – о внутренних ОУ, в которых средняя освещенность складывается не только от прямого попадания световых лучей от ОП, но и от световых лучей, переотраженных от поверхностей помещений. По этой причине автор работы [9] дал определение коэффициенту использования светового потока для уличных открытых площадей как «доля светового потока светильников, которая преобразуется в освещенность расчетных поверхностей и характеризует эффективность светораспределения осветительного

прибора. Для идеальной кривой силы света (КСС) он равен единице, т.е. 100% светового потока светильника преобразуется в освещенность расчетной поверхности».

В ОУ закрытого типа коэффициент использования светового потока, характеризующий долю полезного светового потока, упавшего на освещаемую площадку, по отношению к световому потоку, может составлять больше единицы [3, 11], что нельзя считать за значение КПД светораспределения. Поэтому для определения наиболее эффективного светораспределения приходится ориентироваться на максимальное значение коэффициента использования светового потока или максимальное значение параметра LSAE.

Если для определения КПД светораспределения ОУ закрытого типа взять за основу методику расчета [3], присвоив коэффициентам отражения поверхностей ОУ значения «0», используя методику расчета КПД светораспределения для ОУ открытого типа, то при расчете не будут учитываться световые лучи, отраженные от стен и потолка, что может привести к большой ошибке при расчете.

Таким образом, для оценки КПД светораспределения ОУ открытого типа, например уличного освещения, можно применить методику расчета коэффициента использования светового потока, опубликованную, например, в работе [3], а для оценки КПД светораспределения ОУ закрытого типа (внутренние помещения) необходимо провести работу по разработке методики расчета.

Исходя из вышесказанного, целью данной работы является разработка методики расчета КПД светораспределения ОП для ОУ и осветительных систем закрытого типа.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определиться с вариантами рассматриваемых ОУ, имеющих разные индексы ОУ;
- определиться с вариантом ОУ, коэффициент использования светового потока ( $UF$ ) которой будет наиболее объективно оценивать эффективность светораспределения ОП, и рассчитать  $UF$ ;
- выполнить расчет  $UF$  для КСС типа Д [12] с коэффициентами отражения поверхностей ОУ: для потолка 70%, стен 50%, пола 30%, соответствующими типовым помещениям офисного типа [13];
- выполнить расчет  $UF$  с коэффициентами отражения поверхностей ОУ: для потолка 0%, стен 0%, пола 0%, соответствующими расчету  $UF$  для ОУ открытого типа;
- выполнить расчеты полезного угла излучения  $\phi_n$ ;
- построить зависимости  $UF = UF(i)$ ,  $\phi_n = \phi_n(i)$ ,  $UF = UF(\phi_n)$  и, исходя из них, определиться с наиболее точной методикой оценки эффективности светораспределения ОП;
- выполнить расчет эффективности светораспределения по разработанному авторами методу для стандартных КСС типа К, Г, Д, М, Л, С, Ш для ОУ по выращиванию микроводорослей промышленного

назначения, тепличного назначения, промышленного типа.

Для разработки методики определены варианты рассматриваемых ОУ, которые приведены в табл. 1. В рассматриваемых вариантах исходили из того, чтобы длина помещения  $L$ , ширина  $W$ , количество осветительных приборов и их размещение были одинаковыми. Для получения требуемых индексов ОУ изменялась высота ОУ  $H_M$ .

Таблица 1  
Варианты рассматриваемых ОУ

$L$ , м	$W$ , м	$H_M$ , м	Количество осветительных приборов, шт.	Порядок размещения ОП в помещении по длине и ширине, шт.	$i$
10,0	10,0	10,0	100	10·10	0,5
10,0	10,0	5,00	100	10·10	1,0
10,0	10,0	3,33	100	10·10	1,5
10,0	10,0	2,50	100	10·10	2,0
10,0	10,0	2,00	100	10·10	2,5
10,0	10,0	1,67	100	10·10	3,0
10,0	10,0	1,43	100	10·10	3,5
10,0	10,0	1,25	100	10·10	4,0
10,0	10,0	1,11	100	10·10	4,5
10,0	10,0	1,00	100	10·10	5,0
10,0	10,0	0,83	100	10·10	6,0
10,0	10,0	0,71	100	10·10	7,0
10,0	10,0	0,63	100	10·10	8,0
10,0	10,0	0,56	100	10·10	9,0
10,0	10,0	0,50	100	10·10	10,0
10,0	10,0	0,33	100	10·10	15,0
10,0	10,0	0,25	100	10·10	20,0
10,0	10,0	0,20	100	10·10	25,0
10,0	10,0	0,17	100	10·10	30,0
10,0	10,0	0,14	100	10·10	35,0
10,0	10,0	0,13	100	10·10	40,0

Индекс помещения (ОУ)  $i$  рассчитывается по известной формуле [10]

$$i = L \cdot W / (H_M \cdot (L + W)),$$

где  $L$  – длина помещения, м;  $W$  – ширина помещения, м;  $H_M$  – высота монтажа ОП относительно рабочей плоскости, м.

При разработке методики оценки светораспределения ОП исходили из того, что значение должно учитывать отражения от потолка и стен, но при этом должны исключаться многократные переотражения от потолка, стен, пола.

Единственным, по мнению авторов, является вариант ОУ, когда коэффициенту отражения пола присваивается значение 0%, что исключает многократные переотражения, но при этом учитываются первичные отражения от потолка и стен. Значение коэффициента использования светового потока в таком случае не превысит 1.

Для разработки методики выполнен расчет  $UF$  для следующих ОУ:

- офисного типа (ОУ №1): с коэффициентами отражения потолка 70%, стен 50%, пола 30% (согласно СП 367.1325800.2017 со следующими изменениями: вместо коэффициента отражения пола 40%

принят по табл. А.3 настоящего СП для потемневшего дерева коэффициент отражения – 30%);

– с целью отсутствия отражения от поверхностей помещения (ОУ №2): с коэффициентами отражения потолка 0%, стен 0%, пола 0%;

– с целью исключения многократных переотражений (ОУ №3): с коэффициентами отражения потолка 7%, стен 50%, пола 0%;

За основу выбран виртуальный квазиточечный осветительный прибор с КСС типа Д по ГОСТ Р 54350–2015 (рис. 1) размером  $1 \times 1 \times 1$  мм<sup>3</sup> со световым потоком 10000 лм, КСС которого приведена на рис. 1.

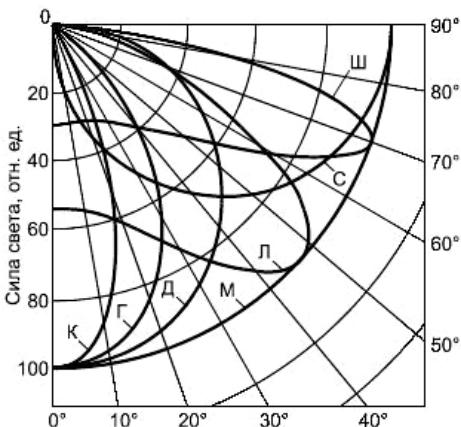


Рис. 1. Стандартные типы кривых силы света [12]

На основе выбранного типа КСС создан фотометрический файл с расширением \*.ies согласно Международному стандарту IESNA:LM-63-1995.

Для расчета полезного угла излучения  $\phi_{\text{п}}$  применена разработанная авторами методика [1] со следующими дополнениями:

– коэффициент использования светового потока при увеличении угла излучения считается стабильным, если его изменение не превышает 1%. Данное требование имеет место для определения времени тепловой стабилизации ОП, которое определяется по ГОСТ Р 54350–2015 как время, в пределах которого падение светового потока должно быть меньше или равно 1%. По этой причине авторами предлагается за основу взять аналогичный способ определения стабильного участка на зависимости коэффициента использования светового потока от угла излучения для определения полезного угла излучения.

Результаты расчета коэффициентов использования светового потока и полезных углов излучения приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Результаты расчета

$i$	ОУ № 1		ОУ № 2		ОУ № 3	
	$UF$	$\phi_{\text{п}}$	$UF$	$\phi_{\text{п}}$	$UF$	$\phi_{\text{п}}$
1	2	3	4	5	6	7
0,5	0,3427	159,8	0,2002	87,7	0,3212	159,7
1,0	0,6226	160,6	0,4164	121,1	0,5630	160,5
1,5	0,7757	160,5	0,5496	135,0	0,6819	160,5
2,0	0,8715	160,6	0,6346	142,5	0,7510	160,7
2,5	0,9366	160,9	0,6936	147,1	0,7959	161,8

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
3,0	0,9830	161,8	0,7363	150,6	0,8268	161,8
3,5	1,0189	162,3	0,7696	153,0	0,8504	162,4
4,0	1,0470	162,3	0,7960	154,5	0,8696	162,5
4,5	1,0695	162,6	0,8176	155,6	0,8838	162,6
5,0	1,0885	162,8	0,8352	156,6	0,8963	163,0
6,0	1,1197	163,3	0,8639	158,9	0,9153	163,4
7,0	1,1424	163,8	0,8855	160,3	0,9296	163,7
8,0	1,1585	163,8	0,9005	161,1	0,9388	163,9
9,0	1,1713	164,2	0,9136	161,6	0,9461	164,0
10,0	1,1849	164,4	0,9252	162,1	0,9542	164,7
15,0	1,2216	166,0	0,9590	163,6	0,9747	166,0
20,0	1,2392	166,4	0,9739	164,4	0,9840	166,4
25,0	1,2494	166,9	0,9822	165,3	0,9892	166,8
30,0	1,2534	167,1	0,9866	165,8	0,9920	167,2
35,0	1,2584	167,1	0,9905	166,1	0,9942	167,2
40,0	1,2589	168,2	0,9917	166,3	0,9949	167,2

Из полученных результатов расчета получены зависимости  $UF = UF(i)$ ,  $\phi_{\text{п}} = \phi_{\text{п}}(i)$ ,  $UF = UF(\phi_{\text{п}})$  (рис. 2–4 соответственно).

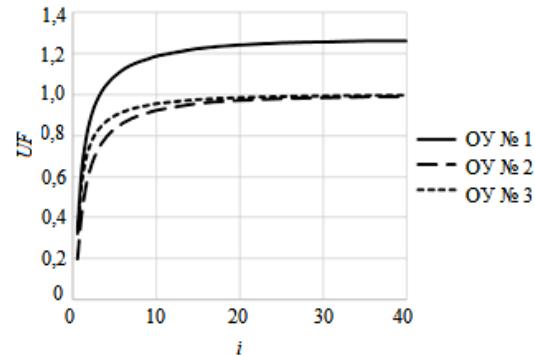


Рис. 2. Зависимость коэффициента использования светового потока от индекса ОУ

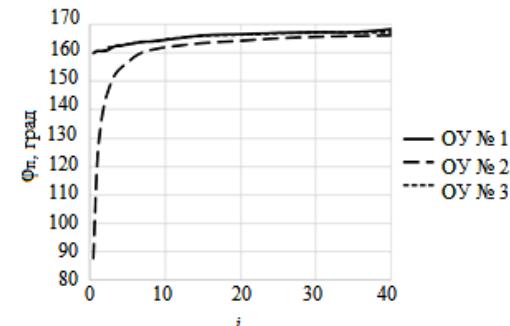


Рис. 3. Зависимость полезного угла излучения от индекса ОУ

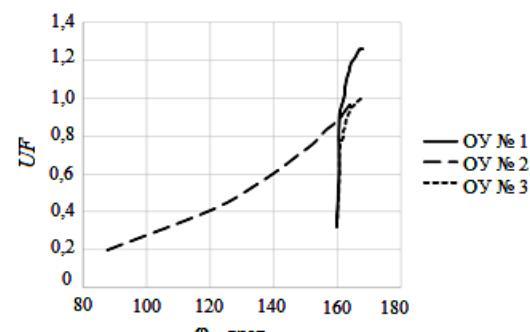


Рис. 4. Зависимость коэффициента использования светового потока от полезного угла излучения

Из рис. 2 видно, что в случае ОУ закрытого типа с коэффициентами отражения поверхностей 70, 50, 30%, коэффициент использования светового потока при определенных условиях превышает значения 1, поэтому по значению коэффициента использования светового потока для таких помещений с целью оценки эффективности светораспределения можно судить только сравнительно. В случае ОУ № 2 и ОУ № 3 коэффициент использования светового потока не превышает значения 1, что можно взять за основу дальнейших рассуждений.

Дальнейшие рассуждения сводятся к тому, что из приведенной зависимости (см. рис. 3) и из результатов расчета (см. табл. 2) видно, что значения полезного угла излучения для ОУ № 1 и ОУ № 3 имеют схожий характер изменения, для ОУ № 2 имеет место значительное расхождение в параметрах при индексах ОУ меньше 10. Аналогичные расхождения можно увидеть при рассмотрении зависимостей коэффициента использования светового потока от полезного угла излучения, где также имеет место отличие зависимости для ОУ № 2 (рис. 4). Из рис. 4 также можно увидеть, что для ОУ № 1, ОУ № 2 наблюдается резкое изменение  $UF$  при незначительном изменении  $\phi_n$ , что показывает на то, что по одному полезному углу излучения выполнить выбор ОП некорректно, что подтверждает рассуждения авторов работы при анализе состояния проблемы в самом начале настоящей работы. Так как зависимости для ОУ № 1 и ОУ № 3 (см. рис. 3, 4) практически совпали, а также значения  $UF$  не превысили 1, то предложенная авторами методика имеет место быть и может быть применена для оценки эффективности светораспределения.

Таким образом, для оценки эффективности светораспределения ОУ закрытого типа необходимо выполнить расчет коэффициента использования светового потока, например, по методу [3], задав полукоэффициент отражение равный 0%.

Эффективность светораспределения можно выразить в процентах, называя термин как КПД<sub>КСС</sub> ( $\eta_{lic}$ ) светораспределения, который будет определяться по формуле: КПД<sub>КСС</sub> =  $UF_{\rho_1, \rho_2, \rho_3} \cdot 100\%$ , где  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  – коэффициенты отражения потолка, стен и пола.

В нашем случае,  $\rho_3 = 0\%$ .

Выполнен расчет КПД<sub>ОУ</sub> для стандартных КСС типа К, Г, Д, Л, Ш, С, М для ОУ по выращиванию микроводорослей промышленного назначения, тепличного назначения, типовых помещений, промышленного типа. Результаты приведены в табл. 3–6.

Коэффициенты отражения в зависимости от назначения приняты следующие:

- по выращиванию микроводорослей промышленного назначения: 90, 90, 90% [14];
- тепличного назначения: 10, 10, 10% [15];
- типовые офисные помещения: 70, 50, 30%;
- промышленного типа: 50, 30, 20% [13].

Рассчитанные в табл. 3–6 значения КПД<sub>КСС</sub>, можно применять как справочные, предварительно определяя тип светораспределения ОП по ГОСТ Р 54350–2015.

Таблица 3  
Результаты расчета КПД<sub>КСС</sub> ОУ для выращивания микроводорослей

<i>i</i>	КПД <sub>КСС</sub> , %						
	К	Г	Д	Л	Ш	С	М
0,5	87,53	77,96	68,68	66,07	62,27	61,95	64,54
1,0	95,44	91,28	84,50	83,04	78,13	77,87	80,15
1,5	97,78	95,25	90,42	89,73	85,50	85,29	86,99
2,0	98,26	96,38	92,59	92,12	88,32	87,40	89,00
2,5	98,90	97,24	94,10	93,83	90,49	89,45	90,85
3,0	99,37	97,76	94,90	94,66	91,68	90,82	92,09
3,5	99,82	98,17	95,69	95,49	92,65	91,93	93,08
4,0	99,98	98,53	96,44	96,28	93,95	92,65	93,81
4,5	100,00	98,84	96,74	96,49	94,49	93,63	94,67
5,0	100,00	99,00	97,09	96,97	95,12	93,93	94,93
6,0	100,00	99,34	97,61	97,47	95,66	94,84	95,64
7,0	100,00	99,72	98,08	97,99	96,47	95,45	96,16
8,0	100,00	99,83	98,28	98,16	96,84	96,16	96,70
9,0	100,00	99,92	98,40	98,20	97,19	97,04	97,46
10,0	100,00	99,94	98,77	98,72	97,68	96,94	97,55
15,0	100,00	100,00	99,16	99,25	98,34	98,24	98,47
20,0	100,00	100,00	99,53	99,63	99,02	98,49	98,71
25,0	100,00	100,00	99,60	99,68	99,10	98,88	99,07
30,0	100,00	100,00	99,72	99,81	99,49	99,27	99,38
35,0	100,00	100,00	99,80	99,86	99,67	99,58	99,61
40,0	100,00	100,00	99,84	99,88	99,72	99,67	99,64

Таблица 4  
Результаты расчета КПД<sub>КСС</sub> ОУ тепличного назначения

<i>i</i>	КПД <sub>КСС</sub> , %						
	К	Г	Д	Л	Ш	С	М
0,5	66,94	42,53	21,36	15,08	8,24	6,81	12,40
1,0	83,16	68,48	43,38	38,34	22,19	20,07	28,01
1,5	89,16	78,62	56,59	53,37	35,12	30,93	39,10
2,0	92,19	83,97	64,93	62,75	45,35	39,08	47,02
2,5	94,42	87,32	70,64	69,09	53,19	45,40	52,96
3,0	96,27	89,63	74,77	73,57	59,13	50,38	57,53
3,5	97,79	91,43	77,98	77,01	63,87	54,50	61,28
4,0	98,78	92,82	80,52	79,69	67,68	58,00	64,42
4,5	99,56	93,92	82,60	81,85	70,79	60,88	67,03
5,0	99,90	94,85	84,29	83,59	73,33	63,32	69,21
6,0	100,00	96,46	87,04	86,39	77,46	67,47	72,89
7,0	100,00	97,78	89,10	88,50	80,52	70,41	75,76
8,0	100,00	98,58	90,53	90,00	82,64	73,07	77,83
9,0	100,00	99,19	91,78	91,38	84,55	75,28	79,74
10,0	100,00	99,59	92,89	92,63	86,24	77,29	81,48
15,0	100,00	100,00	96,11	96,43	91,42	83,73	86,90
20,0	100,00	100,00	97,52	97,96	94,17	87,24	89,78
25,0	100,00	100,00	98,31	98,70	95,99	89,59	91,70
30,0	100,00	100,00	98,73	99,07	97,10	91,07	92,89
35,0	100,00	100,00	99,10	99,37	98,07	92,58	94,10
40,0	100,00	100,00	99,22	99,46	98,37	93,10	94,51

Таблица 5  
Результаты расчета КПД<sub>КСС</sub> ОУ типового офисного назначения

<i>i</i>	КПД <sub>КСС</sub> , %						
	К	Г	Д	Л	Ш	С	М
1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	72,08	51,25	32,12	26,16	19,82	18,59	23,74
1,0	87,07	75,77	56,30	52,42	39,45	37,79	44,08
1,5	92,15	84,31	68,19	65,85	52,27	49,17	55,24
2,0	94,45	88,64	75,10	73,55	61,20	56,76	62,42
2,5	96,16	91,12	79,59	78,51	67,44	62,20	67,38

## Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8
3,0	97,51	92,83	82,68	81,86	71,94	66,06	70,96
3,5	98,64	94,17	85,04	84,39	75,48	69,34	73,89
4,0	99,31	95,18	86,96	86,38	78,30	72,09	76,33
4,5	99,82	96,02	88,38	87,81	80,45	74,30	78,29
5,0	99,97	96,66	89,63	89,16	82,32	76,11	79,96
6,0	100,00	97,75	91,53	91,11	85,18	78,96	82,46
7,0	100,00	98,63	92,96	92,59	87,30	81,12	84,39
8,0	100,00	99,14	93,88	93,51	88,70	83,07	86,06
9,0	100,00	99,52	94,61	94,31	89,91	84,71	87,37
10,0	100,00	99,74	95,42	95,26	91,15	85,89	88,46
15,0	100,00	100,00	97,47	97,68	94,42	90,13	92,05
20,0	100,00	100,00	98,40	98,71	96,31	92,43	93,93
25,0	100,00	100,00	98,92	99,17	97,39	93,99	95,18
30,0	100,00	100,00	99,20	99,40	98,17	94,98	95,97
35,0	100,00	100,00	99,42	99,59	98,78	95,97	96,77
40,0	100,00	100,00	99,49	99,64	98,96	96,30	97,04

Таблица 6

Результаты расчета КПД<sub>КСС</sub> ОУ промышленного назначения

i	КПД <sub>КСС</sub> , %						
	К	Г	Д	Л	Ш	С	М
0,5	68,99	45,97	25,50	19,49	12,47	11,17	16,65
1,0	84,79	71,46	48,63	44,09	29,14	27,22	34,50
1,5	90,42	81,01	61,47	58,64	42,37	38,69	45,92
2,0	93,15	85,96	69,30	67,40	52,14	46,76	53,68
2,5	95,18	88,96	74,53	73,18	59,34	52,80	59,29
3,0	96,85	91,04	78,24	77,21	64,71	57,34	63,49
3,5	98,16	92,66	81,10	80,25	68,93	61,06	66,89
4,0	99,01	93,89	83,35	82,63	72,37	64,25	69,79
4,5	99,67	94,89	85,15	84,51	75,05	66,89	72,10
5,0	99,93	95,70	86,64	86,03	77,33	69,10	74,09
6,0	100,00	97,06	89,02	88,46	80,92	72,68	77,23
7,0	100,00	98,18	90,79	90,28	83,56	75,47	79,70
8,0	100,00	98,84	92,02	91,57	85,37	77,66	81,60
9,0	100,00	99,35	93,08	92,74	86,96	79,58	83,24
10,0	100,00	99,66	94,03	93,81	88,44	81,26	84,68
15,0	100,00	100,00	96,74	97,02	92,79	86,75	89,31
20,0	100,00	100,00	97,93	98,29	95,14	89,71	91,76
25,0	100,00	100,00	98,58	98,91	96,65	91,72	93,39
30,0	100,00	100,00	98,94	99,20	97,60	92,97	94,39
35,0	100,00	100,00	99,25	99,48	98,41	94,25	95,40
40,0	100,00	100,00	99,34	99,55	98,65	94,68	95,74

Для определения значений КПД<sub>КСС</sub> в случае ОУ других назначений или других коэффициентов отражения поверхностей помещения необходимо выполнить расчет согласно разработанной методике.

## Выводы

1. Показано, что оценку эффективности светораспределения ОУ и осветительных систем открытого типа можно проводить по коэффициенту использования светового потока или рекомендованному за рубежом параметру LSAE.

2. Показано, что проводить оценку эффективности светораспределения ОУ и осветительных систем закрытого типа методом коэффициента использования светового потока или по параметру LSAE без исключения многократных переотражений не корректно.

3. Показано, что по одному значению параметра полезного угла излучения проводить выбор наиболее эффективного светораспределения нельзя.

4. Выполнена разработка универсальной методики оценки эффективности светораспределения осветительных приборов для ОУ открытого и закрытого типов.

5. Выполнен расчет эффективности светораспределения для стандартных типов КСС: К, Г, Д, Л, Ш, С, М при применении их в ОУ и осветительных системах теплиц, офисов и производственных помещений.

## Литература

- Гончаров А.Д. Методика оценки полезного угла излучения осветительного прибора // Матер. междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2018». Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2018. – С. 291–293.
- ГОСТ Р 55392–2012. Приборы и комплексы осветительные. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 43 с.
- Гончаров А.Д., Туев В.И. Универсальный метод расчета коэффициента использования светового потока осветительных приборов // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 55–60.
- Stockmar A. Luminaire efficiency factor system for general lighting // Right Light (Nice, France). – 2002. – No. 5. – P. 311–318.
- A Guide to Residential Directional Lighting (ASSIST). 2007. ASSIST recommends... A publication of the Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies. – Troy, N.Y.: Lighting Research Center, 2007. – Vol. 3, iss. 1. – 22 p. – URL: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/solid-state/assist/pdf/directional1.pdf> (дата обращения: 05.09.2018).
- Recommendations for Testing and Evaluating Luminaires Used in Directional Lighting. 2007. ASSIST recommends... A publication of the Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies. – Troy, N.Y.: Lighting Research Center, 2007. – Vol. 3, iss. 3. – 17 p. – URL: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/directio nal3.pdf> (дата обращения: 05.09.2018).
- Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST). 2011. ASSIST recommends... Recommendations for evaluating Street and Roadway Luminaires. – Troy, N.Y.: Lighting Research Center, 2011 – Vol.10, iss. 1. – 13 p. – URL: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/solid-state/assist/pdf/AR-RoadwayEvaluation.pdf> (дата обращения: 05.09.2018).
- Budak V.P. Choosing luminaire efficiency parameters during development for external illumination / V.P. Budak, E.I. Ilyina // Light & Engineering. – 2013. – Vol. 21, No. 2. – P. 13–20.
- Евдасев И. Коэффициент использования светового потока уличных LED светильников // Современная светотехника. – 2010. – № 1. – С. 24–27.
- Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
- Пособие к МГСН 2.06–99. Расчет и проектирование искусственного освещения помещений общественных зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.opengost.ru>, свободный (дата обращения: 05.09.2018).
- ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытания. – М.: Стандартинформ, 2015. – 42 с.
- СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-

05-95\* (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777/пр). – М.: Стандартинформ, 2017. – 102 с.

14. Гончаров А.Д. Расчет оптической системы облучательных установок для выращивания микроводорослей промышленного назначения методом коэффициента использования светового потока / А.Д. Гончаров, В.И. Туев // Матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «ЭССУ–2017». – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 1. – С. 281–284.

15. Гончаров А.Д. Влияние кривой силы света на коэффициент использования потока излучения в тепличных облучательных установках / А.Д. Гончаров, В.И. Туев // Матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф. «ЭССУ–2017». – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 1. – С. 279–281.

### Гончаров Александр Дмитриевич

Рук. светотехнического отд. ООО «Транзистор.ру»  
1-й Митинский переулок, д. 15, г. Москва, Россия, 111399  
Тел.: +7-916-924-57-50

Эл. почта: Alexander\_G@mail.ru

### Туев Василий Иванович

Д-р техн. наук, зав. каф. радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга (РЭГЭМ)  
Томского государственного университета  
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)  
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 90-01-46  
Эл. почта: vasilii.i.tuev@tusur.ru

Goncharov A.D., Tuev V.I.

### Efficiency evaluation for the light distribution of lighting devices

In the present work, a method for estimating the efficiency of light distribution of lighting devices has been developed. It is proposed to introduce the parameter of the  $\eta_{lic}$  to estimate the efficiency of light intensity curve. Parameter of  $\eta_{lic}$  is calculated for standard types of light curves and for lighting installations for growing microalgae of industrial, greenhouse, typical office and industrial purposes. The results of the article can be useful for professionals involved in the design of lighting installations and systems, the development of lighting devices, as well as professionals working in the energy industries.

**Keywords:** Utilization Factor of light flux, greenhouse irradiators, optical system of the irradiation unit, curve light intensity, LED lighting products, industrial lighting systems, systems for growing microalgae for industrial use.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2018-21-4-1-77-82

### References

1. Goncharov A. D. Method of estimating the useful angle of radiation of the lighting device. Materials of the International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists «Scientific Session of TUSUR». Collection of selected articles of the scientific session TUSUR, 2018, p. 2., Tomsk, pp. 291–293 (in Russ.).
2. GOST R 55392-2012 «Lighting devices and complexes. Terms and Definitions», 2014, M., Standartinform, 43 p. (in Russ.).
3. Goncharov A.D., Tuev V.I. Universal method to calculate the Utilization Factor for luminous flux of lighting devices. *Proceedings of TUSUR University*, 2017, vol. 20, no 2, pp. 55–60 (in Russ.).
4. Axel Stockmar. Luminaire efficiency factor system for general lighting. Right Light (Nice, France), 2002, no 5, pp. 311–318.

5. A Guide to Residential Directional Lighting (ASSIST). 2007. ASSIST recommends... A publication of the Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies. Troy, N.Y.: Lighting Research Center, 2007, vol. 3, iss. 1. 22 p. URL: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/solid-state/assist/pdf/directional1.pdf> (accessed: September 05, 2018).

6. Recommendations for Testing and Evaluating Luminaires Used in Directional Lighting. 2007. ASSIST recommends... A publication of the Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies. – Troy, N.Y.: Lighting Research Center, 2007, vol. 3, iss. 3. 17 p. URL: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/directional3.pdf> (accessed: September 05, 2018).

7. Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST). 2011. ASSIST recommends... Recommendations for evaluating Street and Roadway Luminaires. Troy, N.Y., Lighting Research Center, 2011, vol.10, iss. 1. 13 p. URL: <https://www.lrc.rpi.edu/programs/solidstate/assist/pdf/AR-RoadwayEvaluation.pdf> (accessed: September 05, 2018).

8. Budak V.P., Ilyina E.I. Choosing luminaire efficiency parameters during development for external illumination. *Light & Engineering*. 2013, vol. 21, no. 2, pp. 13–20.

9. Evdasev I. The utilization factor of the luminous flux of street LED luminaires. *Modern lighting*, 2010, no. 1, pp. 24–27.

10. Reference book on lighting. Ed. Yu.B. Aisenberg. 3rd edition, revised and enlarged, M.: Znak, 2006. 972 p.

11. Handbook for MGSN 2.06–99. Calculation and design of artificial lighting of public buildings [Electronic resource], Access mode: <http://www.opengost.ru>, free (accessed: September 05, 2018)..

12. GOST R 54350–2015 Lighting devices. Lighting requirements and test methods. Moscow, Standartinform, 2015, 42 p. (in Russ.).

13. SP 52.13330.2016 «Natural and artificial lighting" Updated version of SNiP 23-05-95 \* (approved by the order of the Ministry of Construction and Housing of the Russian Federation of November 7, 2016 N 777 / pr)). M., Ministry of Construction of Russia, 2016, 102 p. (in Russ.).

14. Goncharov A.D., Tuev V.I. Calculation of the optical system of irradiation facilities for the cultivation of microalgae for industrial use by the method the utilization factor luminous flux, Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference «ESSU–2017», p. 1. Tomsk, V-Spektr, 2017, pp. 281–284 (in Russ.).

15. Goncharov A.D., Tuev V.I. The effect of the light intensity curve on the utilization factor of the radiation flux in greenhouse irradiation plants, Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference «ESSU–2017», p. 1. Tomsk, V-Spektr, 2017, pp. 279–281 (in Russ.).

### Alexander D. Goncharov

Head of the lighting department of Tranzistor.ru LLC 15,  
1st Mitinsky per., Moscow, Russia, 111399  
Тел.: +7-916-924-5750  
Email: Alexander\_G@mail.ru

### Vasiliy I. Tuev

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Radioelectronic Technologies and Environmental Monitoring (RETEM)  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)  
40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050  
Тел.: +7 (382-2) 90-01-46  
Email: vasilii.i.tuev@tusur.ru