

Исследования по применению осветительных приборов со светодиодами в автосборочном цехе

С.Ю. МИНАЕВА, В.П. БУДАК*

НИУ МЭИ, Москва

* E-mail: budakvp@gmail.ru

Аннотация

Рассмотрена задача замены в действующей ОУ на сборочном конвейере автозавода ОП с люминесцентными лампами на ОП со светодиодами, включая сравнительную оценку полученных светотехнических и экономических показателей. Соответственно, было выбрано несколько ОП со светодиодами разных производителей (брендов). На основе компьютерного моделирования ОУ в программной системе «DIALux Evo» был найден оптимальный вариант, со светотехнической и экономической точек зрения. Проведено экспериментальное определение светотехнических характеристик действующей ОУ и участков конвейерной линии с применением ОП со светодиодами. Результаты исследования позволили оценить соответствующее изменение зрительной работоспособности работников в цехе и позволяют сравнивать сроки окупаемости осветительных устройств со

светодиодами и с люминесцентными лампами.

Ключевые слова: промышленное освещение, светодиоды, осветительная установка, освещение, сборочный конвейер, качество освещения.

Введение

В настоящее время в связи с ростом применения осветительных приборов (ОП) со светодиодами (СД) растёт число публикаций на тему освещения ОП с СД, в частности, промышленных помещений (см., напр., [1, 2]). При этом следует считать, что:

- самое главное при проектировании освещения в цехах – учитывать не только количественные, но и качественные характеристики осветительных установок (ОУ), такие как показатели зрительного дискомфорта и коэффициент пульсации;
- переход на СД требует правильных решений по оптике, степени защиты IP и световой отдаче ОП с СД.

Далее известно, что:

- во многих отраслях промышленности имеются сборочные цехи, в которых происходит промежуточная или окончательная сборка изделий. Рабочий процесс в них сопряжён с работой как с мелкими деталями (сборка бытовых электроприборов, пайка электронных элементов и т.п.), так и с крупными (монтаж элементов кузова автомобиля, установка крупных узлов промышленных станков/установок и т.п.), что, в свою очередь, требует разного подхода к проектированию освещения в этих помещениях;

• условия искусственного освещения на промышленном предприятии крайне важны, поскольку оказывают большое влияние на здоровье работников и качество выпускаемой продукции [3]. От характеристик ОУ зависят различие предметов на определённом фоне, световосприятие и зрительный комфорт работников;

- свет – естественное условие жизнедеятельности человека, играющее важную роль в сохранении его здоровья и высокой работоспособности. Зрительная работоспособность человека – главный источник информации о внешнем мире.

Настоящая работа посвящена анализу возможностей освещения ОП с СД сборочных конвейеров на автозаводах с учётом важности улучшения условий зрительных работ и повышения производительности труда.

Объектом исследования служил действующий сборочный конвейер легковых автомобилей (на территории Российской Федерации), а предметом исследования – местное освещение вдоль него. Практической значимостью считалась разработка оптимального освещения (для данного конвейера) с использованием ОП с СД, взамен действующих ОП с СД.

При этом было рассмотрено несколько вариантов ОУ, подходящих для автомобильного производства, и во избежание ошибок в разработке компьютерной модели (см. ниже) учтены особенности рабочих мест, коэффициенты отражения пол, стен, потолка и др.

Компьютерное моделирование ОУ и экономический расчёт

Объект исследования находится на первом этаже здания. Высота потолка с расположенными на нём ОП (све-

План сборочного конвейера

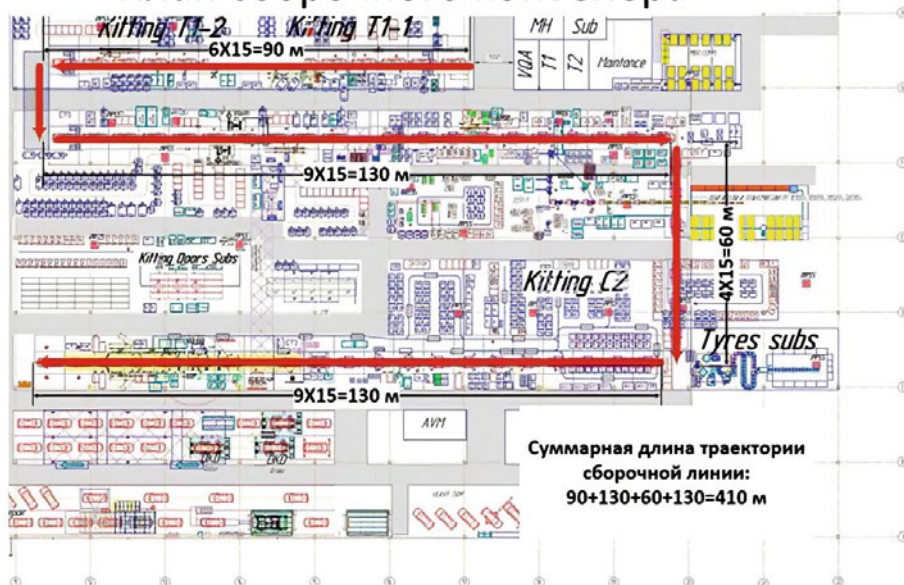
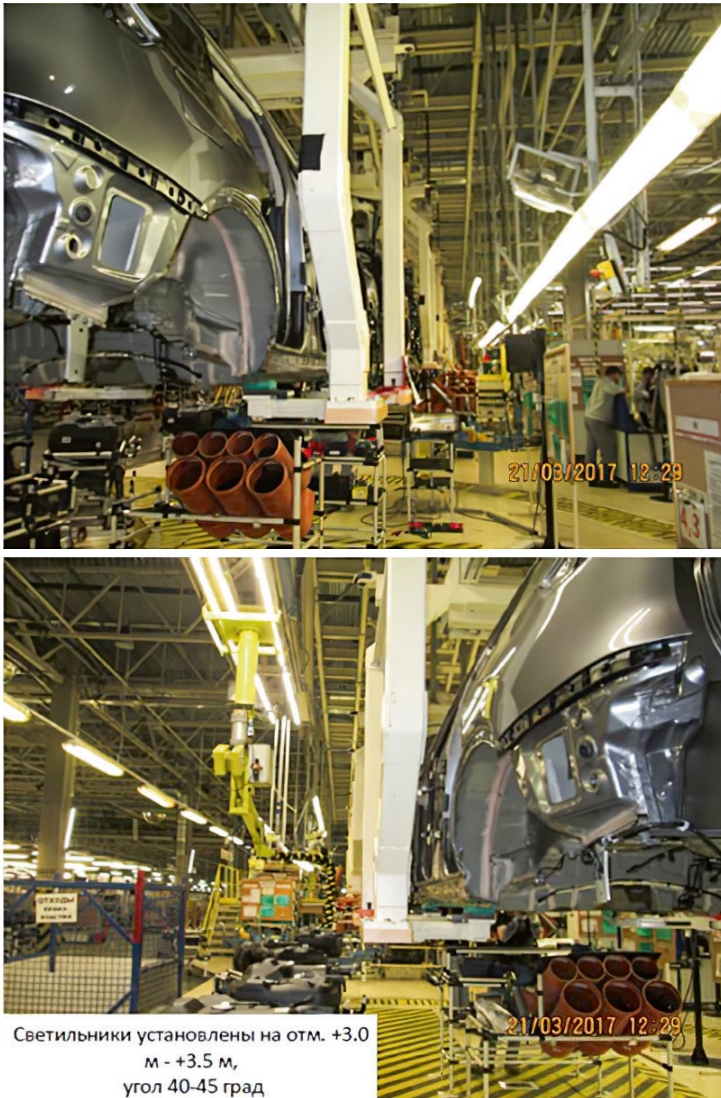


Рис. 1. План сборочного конвейера



Светильники установлены на отм. +3.0
м - +3.5 м,
угол 40-45 град

Рис. 2. Вид действующей ОУ на сборочном конвейере

тильники) общего освещения составляет 10 м, а высота от пола до «фермы» – 8 м. Высота расположения ОУ местного освещения (МО) – 3,5 м. Общая площадь освещаемого помещения составляет 39600 м², а общая длина всего конвейера – 420 м. На рис. 1 и 2 представлены план освещаемого сборочного цеха и его фото. Окон в данном помещении нет, и оно служит местом постоянного пребывания людей. Отделка помещения соответствует его назначению, и коэффициенты отражения потолка, стен и пола в нём везде примерно одинаковы – по 0,49. По обе стороны от конвейера на высоте 3,5 м расположены ОП для МО. В их действующем варианте используются люминесцентные лампы (ЛЛ) *Lighting Technology* «ARS254» (рис. 2).

Для проведения светотехнических расчётов было использовано программное обеспечение «*DIALux Evo*», как одно из самых популярных в моде-

лировании освещения, к плюсам которого относят: бесплатное распространение; хорошее качество изображений после расчёта модели (схожее с изображением после трассировки лучей); принципиально новый расчётный алгоритм, учитывающий коррелированную цветовую температуру $T_{цк}$ ОП [4].

При проведении моделирования ОУ и светотехнического анализа освещения авторы руководствовались документами [5, 6].

МО в зависимости от характера производства и расположения рабочих мест может создаваться двумя способами: 1) для каждого рабочего места индивидуальными ОП МО; 2) для группы компактно расположенных рабочих мест, таких как конвейеры, поточные линии и т.п.

В программах для расчёта освещённости и других показателей обязательен учёт общего освещения, иначе некоторые показатели становятся не-

действительны. Поэтому был выполнен расчёт комбинированного освещения сборочного цеха с имеющимися ОП общего освещения (ОП «*Glamox i50*» с МГЛ мощностью 250 Вт), а ОП в ОУ МО варьировались. Общее освещение предусматривалось во всём помещении, а на сборочном конвейере использовалось комбинированное освещение. На замену действующей ОУ с ОП с ЛЛ, освещающей сборочный конвейер, было выбрано 4 варианта ОУ со следующими ОП с СД: *Osram* «*Compact Monsoon LED*», *Philips* «*Coreline Waterproof*», *Lighting Technologies* «*SLICK. PRS LED*» и *Philips* «*GreenUp Waterproof*» (табл. 1).

Выбор этих вариантов осуществлялся с учётом экономической эффективности, условий окружающей среды и пожеланий заказчика.

В процессе моделирования для всех вариантов ОУ – действующего варианта, варианта № 1 (с ОП компании *Osram*), варианта № 2 (с ОП компании *Philips*), варианта № 3 (с ОП компании *Lighting Technologies*) и варианта № 4 (с ОП компании *Philips*) – производились оценки следующих параметров:

- освещённость (минимальная, средняя, максимальная) горизонтальная и вертикальная на высотах 0,0 и 1,8 м от пола;
- объединённый показатель дискомфорта UGR во всём цехе и в каждой точке сборочного конвейера на высотах 1,2 и 1,7 м от пола;
- равномерность освещённости U_0 (по ГОСТ [6]).

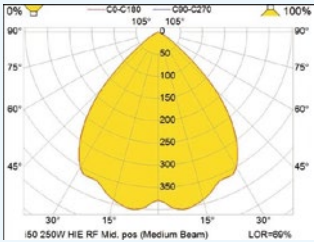

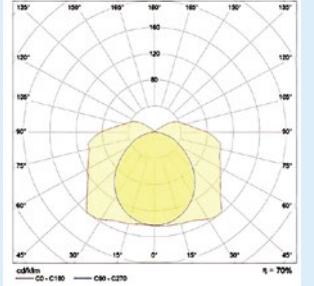

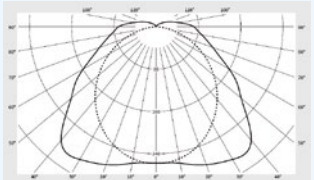

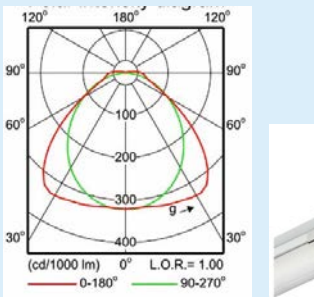

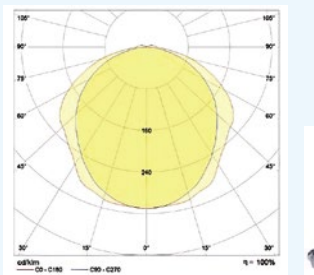

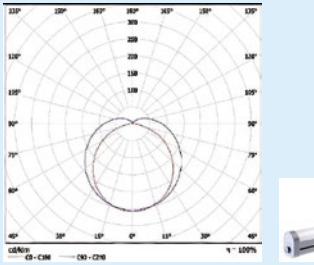

Результаты этих оценок приведены в табл. 2, а результаты расчёта годовых затрат на амортизацию выбранных вариантов ОУ/ОП – в табл. 3.

Для выбора наиболее экономичного варианта ОУ для сборочного конвейера проводился сравнительный анализ годовых эксплуатационных расходов на содержание всех 5 вариантов ОУ. Эти расходы определяются суммой годовых затрат на амортизацию ОУ и годовой стоимости израсходованной ОУ электроэнергии [7].

Сравнительный анализ ОУ с разными типами ОП

Действующий вариант ОУ даёт значения эксплуатационной освещённости $E_{экс}$ и U_0 , соответствующие норме, а уровень UGR , существенно больший нормируемого (табл. 2). (Ве-

Характеристики ОП (светильников)

Тип ОП	КСС	КПД, %	P, Вт	IP	Габаритные размеры, мм	Примечание
«Glamox i50»	 	69	250	20	Диаметр 222 Высота 319 Вес 9 кг	Общее освещение
Lighting Technologies «ARS254»	 	70	108	65	Ширина 100 Длина 1280 Высота 110 Вес 2,3 кг	Действующее освещение на конвейере (светильниками с ЛЛ)
Osram «Compact Monsun LED»	 	92,5	38,8	65	Ширина 84 Длина 1577 Высота 102 Вес 2,7 кг	Вариант № 1
Philips «Coreline Waterproof»	 	97	29	65	Ширина 87 Длина 1530 Высота 96 Вес 1,8 кг	Вариант № 2
Lighting Technologies «SLICK PRS LED»	 	95	31	65	Ширина 96 Длина 953 Высота 86 Вес 2,6 кг	Вариант № 3
Philips «GreenUp Waterproof»	 	95	36	65	Ширина 90 Длина 1400 Высота 110 Вес 1,5 кг	Вариант № 4

Результаты

Параметры	Название ОП				
	<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	<i>Osram «Compact Monsun LED»</i> Вариант № 1	<i>Philips «Coreline Waterproof»</i> Вариант № 2	<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»</i> Вариант № 3	<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i> Вариант № 4
$E_{экс, ЛК}$ (Г-0,0)	503	504	508	508	503
$E_{экс, ЛК}$ (В-0,0)	352	343	347	336	310
$E_{экс, ЛК}$ (Г-1,8)	510	519	514	510	508
$E_{экс, ЛК}$ (В-1,8)	355	366	335	341	336
U_o , на горизонтальной плоскости (0,0 м)	0,93	0,93	0,92	0,90	0,89
U_o , на вертикальной плоскости (0,0 м)	0,89	0,89	0,92	0,86	0,9
U_o , на горизонтальной плоскости (1,8 м)	0,85	0,84	0,83	0,84	0,82
U_o , на вертикальной плоскости (1,8 м)	0,72	0,88	0,62	0,87	0,65
UGR , во всём цехе	21,7	22,1	21,7	21,0	22,3
UGR , на сборочном конвейере (1,2 м)	Более 30	24,1	22,8	22,0	23,8
UGR , на сборочном конвейере (1,7 м)	27,1	24,9	23,4	23,0	25,0
Количество ОП в ОУ, шт.	232	250	371	306	374

роятно, общее освещение не используется именно по этой причине.) Далее из табл. 2 видно, что:

- в варианте с ОП *Osram «Compact Monsun LED»* (вариант № 1) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR нет, ни в цехе, ни на самом конвейере, хотя и лучше, чем у действующего варианта ОУ;

- в варианте с ОП *Philips «Coreline Waterproof»* (вариант № 2) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR соответствует норме только в цехе. На сборочном конвейере UGR не соответствует норме, но на высоте 1,2 м близок к ней;

- в варианте с ОП *Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»* (вариант № 3) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR соответствует норме,

лишь незначительно превышая её на высоте 1,7 м;

- в варианте с ОП *Philips «GreenUp Waterproof»* (вариант № 4) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR нет. При этом эти данные лучше, чем у действующего варианта ОУ, но хуже, чем у выбранных остальных.

Из табл. 2 и вышеприведённого анализа следует, что оптимальное решение по совокупности полученных характеристик – ОУ с ОП «*SLICK.PRS LED*» компании *Lighting Technologies* (вариант № 3).

Был проведён также расчёт годовых расходов на электроэнергию (табл. 4). При этом продолжительность работы ОУ учитывалась согласно количеству рабочих часов в году при 40-часовой рабочей неделе и работе в одну сме-

ну. А итоговый экономический расчёт показал (табл. 5), что действующее освещение самое дорогое, а самое экономичное может обеспечивать ОУ с ОП *Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»* (вариант № 3).

Измерение светотехнических характеристик ОУ

Были проведены измерения горизонтальной и вертикальной освещённостей, создаваемых действующим вариантом ОУ, на рабочих местах данного конвейера на высотах 0,0 и 1,0 м от пола, и яркости ОП с расстояния 10 м от рабочей зоны. В порядке эксперимента на некоторых участках конвейера были установлены ОП четырёх указанных выбранных ти-

Расчёт годовых затрат на амортизацию системы искусственного освещения

Вариант освещения	Срок полезного использования, ч	Срок эксплуатации, лет	Первоначальная стоимость ОУ, руб.	Годовые затраты на амортизацию, руб.
<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	24000	8	1149560	143695
<i>Osram</i> « <i>Compact Monsun LED</i> » Вариант № 1	50000	10	1500000	150000
<i>Philips</i> « <i>Coreline Waterproof</i> » Вариант № 2	50000	10	1595300	159530
<i>Lighting Technologies</i> « <i>SLICK.PRS LED</i> » Вариант № 3	50000	10	887400	88740
<i>Philips</i> « <i>GreenUp Waterproof</i> » Вариант № 4	40000	10	1047200	104720

Таблица 4

Стоимость израсходованной электроэнергии за год

Вариант освещения	Потребляемая мощность одного ОП, Вт.	Количество ОП, шт.	Продолжительность работы установки в год, ч	Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	Стоимость израсходованной электроэнергии за год, руб.
<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	108	232	1973	5	247177
<i>Osram</i> « <i>Compact Monsun LED</i> » Вариант № 1	36	250	1973	5	88785
<i>Philips</i> « <i>Coreline Waterproof</i> » Вариант № 2	29	371	1973	5	106138
<i>Lighting Technologies</i> « <i>SLICK.PRS LED</i> » Вариант № 3	31	306	1973	5	93579
<i>Philips</i> « <i>GreenUp Waterproof</i> » Вариант № 4	36	374	1973	5	132822

пов. Для них проводился расчёт *UGR* (табл. 6). При этом:

- при проведении эксперимента ОП опускались до высоты 2,5 м;
- ОП в модели ОУ МО разнесены друг от друга, а в действительности расположены друг к другу впритык (из-за использования лишних ОП), поэтому «измеренное» (рассчитанное по измеренным данным) значение *UGR* меньше смоделированного;
- при измерениях общее освещение не включалось и использовались яркоммер, спектрометр/люксметр, дальномер и фотоаппарат.

С помощью дальномера измерялось расстояние (10 м) от исследуемого ОП до яркоммера. Далее с помощью яркоммера измерялась яркость исследуе-

мого ОП. Делались нужные фотографии. На самом конвейере люксметром измерялись горизонтальная и вертикальная освещённость на высотах 0,0 и 1,0 м от пола. Все приборы для измерения световых величин прошли поверку, и полученные результаты представлены в табл. 6.

При сравнении с исходным техническим заданием выявились отличия по высоте подвеса и количеству ОП в ОУ МО. Соответственно этому, в модели ОУ МО (после измерений) ОП стали располагаться на высоте 2,5 м впритык друг к другу.

Анализ освещения в новой модели ОУ, в частности, показал, что выключение общего освещения усиливает зрительный дискомфорт.

Обсуждение результатов

В настоящей статье описано исследование эффективности применения ОП с СД в автосборочном цехе и определён оптимальный вариант замены действующей ОУ.

При этом создана модель ОУ в рамках программы «*DIALux Evo*», выполнен светотехнический анализ и рассмотрены количественные и качественные показатели освещения. При моделировании ОУ учтены особенности работы на конвейере: работа с отдельными узлами и их последующей регулировкой, движение рабочей поверхности. На основании созданной модели для выбора оптимального решения проанализировано

Итоговые годовые эксплуатационные расходы на содержание осветительных установок

Вариант освещения	Годовые затраты на амортизацию, руб.	Стоимость израсходованной электроэнергии за год, руб.	Годовые эксплуатационные расходы на содержание ОУ, руб.
<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	143695	247177	390872
<i>Osram «Compact Monsoon LED»</i> Вариант № 1	150000	88785	238785
<i>Philips «Coreline Waterproof»</i> Вариант № 2	159530	106138	265668
<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»</i> Вариант № 3	88740	93579	182319
<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i> Вариант № 4	104720	132822	237542

Таблица 6

Результаты измерений

ОП	<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i>	<i>Philips «Coreline Waterproof»</i>	<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS»</i>
$E(\Gamma-0,0)$, лк	698	778	799	686
$E(B-0,0)$, лк	267	341	311	392
$E(\Gamma-1,0)$, лк	1140	1050	933	1300
$E(B-1,0)$, лк	429	473	344	558
L , габаритная яркость светящей части i -го светильника в направлении глаз наблюдателя, кд/м ²	772	1189	769	616
UGR	26,2	25,3	24,7	23,5

Таблица 7

«Измеренные» и смоделированные значения UGR

ОП	<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i>	<i>Philips «Coreline Waterproof»</i>	<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»</i>
UGR , «измеренный»	26,2	25,3	24,7	23,5
UGR , рассчитанный в 3М модели	27,3	25,1	23,8	23,1
Относительная погрешность, %	4,0	0,8	3,6	1,7

несколько выбранных вариантов освещения сборочного конвейера. При анализе учитывались следующие показатели: средняя освещённость, U_0 и UGR . Дополнительно проведён экономический расчёт со сравнительным анализом годовых эксплуатационных расходов на содержание каждого варианта ОУ. Сравнительный анализ светотехнических и экономических

параметров показал, что в действующем варианте освещения UGR (более 30), эксплуатационные расходы и расходы на содержание ОУ являются наименьшими.

Оптимальное решение в рамках данной работы – ОУ с ОП (светильники) *Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»*. При этом значения средней освещённости и U_0 лежат в пре-

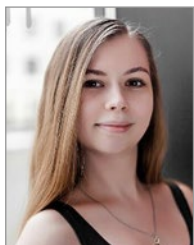
лах допустимых значений, а уровень UGR наиболее близок к норме: на высоте 1,2 м от пола он равен 22 (удовлетворяя требованиям ГОСТ [6]), а на высоте 1,7 м от пола – 23 (превышая норму, но незначительно). Соответственно, выполнением норм [6] данный вариант ОУ обеспечивает нужный уровень зрительной работы сотрудников.

Сравнение результатов расчёта *UGR* по измеренным данным с результатами моделирования в 3М модели «*DIALux Evo*» показало относительную погрешность 0,8–4 %. Это говорит о том, что компьютерная модель адекватна объекту (табл. 7).

Проанализировав все указанные выводы, можно заключить, что в большинстве рассмотренных случаев (среди представленных вариантов ОУ) значения *UGR* выше нормируемых, что следует учитывать в дальнейшем совершенствовании ОУ для конвейерного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев А. Рейтинг промышленных светодиодных светильников // Современная светотехника. – 2012. – № 1. – С. 3–13.
2. Тутков С. Светодиодные светильники для цехов и улиц // Современная светотехника. – 2014. – № 1. – С. 32–36.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
4. Будак В.П., Мешикова Т.В. *DIALUX 4.10* и *DIALux Evo*. Главные различия // Светотехника. – 2013. – № 3. – С. 38–42.
5. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
6. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».
7. Рекомендации, по технико-экономической оценке, освещения производственных зданий, НИИСФ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – С. 10–14

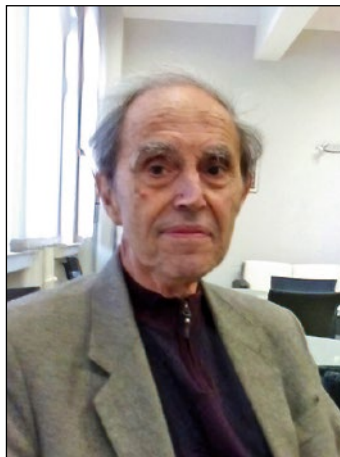


Минаева Светлана Юрьевна, студент 2 курса магистратуры НИУ МЭИ (кафедра «Светотехника»)



Будак Владимир Павлович, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Главный редактор журнала «Светотехника / Light & Engineering» и профессор кафедры «Светотехника» НИУ МЭИ. Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ

НЕКРОЛОГ



10 мая 2019 года, после непродолжительной болезни, в возрасте 89 лет умер профессор Николай Иванович Василев.

Мы потеряли замечательного учёного, одного из основателей светотехники как науки в Болгарии. Профессор Николай Василев окончил Государственный политехнический университет в Софии по специальности «Электрические сети и системы» и специализировался в области электроснабжения и осветительного оборудования. Его профессиональная карьера началась в качестве проектировщика в «ЭнергоПроект – София» с крупномасштабных систем электроснабжения для новых жилых районов «Яворов», «Изток» и «Хиподрума» в Софии. В то же время он был ассистентом по совместительству в МЭИ – София.

Будучи ассистентом на постоянной основе (1959 г.), доцентом (1966 г.) и профессором промышленного освещения (1969 г.), он знакомит с предметами электрооборудования и осветительного оборудования и разрабатывает эти курсы на кафедре электрических сетей и систем.

В 1981 году проф. Николай Василев основал в отделении электротехники и электроснабжения промышленную научно-исследовательскую светотехническую лабораторию. Эта лаборатория уже на протяжении 38 лет является национальным научным центром с международной популярностью и имеет аккредитацию в области испытаний и калибровок.

В этой лаборатории был создан первый научный коллектив светотехников: 13 докторов, много доцентов и три профессора.

Мы будем помнить его активную общественную и организационно-управленческую деятельность в качестве заместителя декана электротехнического факультета, председателя научно-технического союза в Болгарии, основателя, председателя и почётного председателя Национального Комитета по Освещению. С 2006 по 2013 год Николай Василев возглавлял национальную команду, участвующую в Европейской Программе Адаптивного Уличного Освещения.

Научные работы профессора Василева, опубликованные во всемирно известных журналах и представленные на международных симпозиумах, высоко ценятся за рубежом. Он является автором более 200 публикаций и большинства книг и учебников в области светотехники в Болгарии.

В 2013 году журнал Светотехника признал профессора Николая Василева одним из всемирно известных учёных в области светотехники и пригласил его к участию в интервью, организованном на международном уровне.

Он знал, он мог, и он дал нам очень много!

Почивай в мире, дорогой учитель! Последнее прости...

Национальный Комитет Освещения Болгарии

Редколлегия и редакция журнала «Светотехника» выражает искреннее соболезнование семье покойного и его сотрудникам, в связи со смертью члена редколлегии журнала «*Light&Engineering*», выдающегося учёного Болгарии Николая Василева.

Я тяжело переживаю смерть своего друга. Нас связывала деятельность в области светотехники, международная деятельность в рамках МКО и МЭК, а также большая личная дружба на протяжении многих десятилетий. Николай был великолепным учёным, организатором науки и замечательным человеком.

Ю.Б. Айзенберг