

Александр Гончаров | Alexander_G_@rambler.ru | Игорь Денисов | dip@tpu.ru
Ирина Козырева | kin@tpu.ru | Юлия Федченко | JuliFed20@yandex.ru | Алексей Яковлев, к. ф.-м. н. | yakovlev_an@tpu.ru

К вопросу энергоэффективности и энергосбережения в освещении

Введение

Электрическая энергия — необходимое условие жизнедеятельности человека и инструмент для создания благоприятных условий его быта. В экономике России энергосбережение и энергосберегающие технологии являются приоритетными при внедрении их в производство [1].

Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2] призван обеспечить снижение потребления энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования. Этот документ побуждает не только к применению современных энергоэффективных источников света, но и к использованию комплексного подхода при создании современных установок с интеллектуальными системами управления и мониторинга [3].

Согласно данным Международного энергетического агентства, на освещение приходится примерно 16–19% общего мирового расхода электроэнергии. В настоящее время почти во всем мире пытаются найти решения и средства для уменьшения потребления и более эффективного расходования природных ресурсов, и не в последнюю очередь — энергии [4].

Повышение тарифов на энергоносители — реальность нашего времени. Стремительный рост энергопотребления приводит к нехватке электрических мощностей. Переход к полупроводниковому освещению в России позволит снизить воздействие этих факторов на экономику. В условиях, определяемых как экономический кризис, промышленные предприятия России осуществляют мероприятия по сокращению издержек, частью которых являются затраты на электроэнергию. В этом направлении большие перспективы имеет замена традиционных источников света на светодиодные (СД) [5].

Основными отечественными производителями светодиодов являются ОАО «НИИПП», ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» и ГК «Оптоган».

Несмотря на растущий интерес к СД, в России вместо развития технологий повсеместно распространена так называемая «отверточная сборка» изделий из импортных компонентов, иными словами, происходит копирование существующих образцов светодиодной продукции без применения инновационных технологий для наращивания эффективности. Эти факторы свидетельствуют об отставании российского рынка от мировых лидеров (Китай, США, Япония).

Всего несколько компаний в мире (в России только ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника») владеют комплексом современного технологического оборудования, позволяющего осуществлять полный цикл изготовления продукции — от выращивания светоизлучающих гетероструктур, монтажа светодиодов и прочих электронных элементов на печатные платы до сборки готовых светотехнических изделий [6].

За исключением очень узкого круга специалистов, мало кто ориентируется в методиках измерения светового потока, расчета тепловых характеристик, надежности и срока службы СД при различных режимах работы и т. д. К сожалению, этим пользуются многие производители осветительных приборов, указывая в документации параметры, не соответствующие реальности [7].

Государственные программы развития инновационной экономики, направленные, в том числе, на внедрение ресурсоэффективных технологий, предусматривают участие вузов и научных организаций вместе с промышленными предприятиями и бизнес-структурами в организации наукоемких производств. Примером такой программы является постановление Правительства РФ от 09 апреля 2009 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства». Постановлением предусматривается возможность использования научно-образовательного потенциала российской науки для решения актуальных задач модернизации производственной сферы.

Полупроводниковая светотехника попала в ряд актуальных задач. В 2010 г. в условиях кон-

курсного отбора был поддержан проект «Разработка высокоэффективных и надежных источников света и светотехнических устройств и организация их серийного производства», который реализуется Консорциумом томских вузов (ТУСУР, ТГУ, ТПУ) и предприятием ОАО «НИИПП» госкорпорации «Росэлектроника» в рамках постановления Правительства РФ № 218.

Переход на новые источники света и световые приборы связан с экономическими выгодами при их применении. Затраты на светодиодный осветительный прибор окупаются при экономии в разы. Но реальная экономия возможна только при проектировании «правильного света», под которым понимается светотехнический расчет с учетом всех особенностей технических характеристик изделия. В противном случае при значительных начальных затратах на оборудование и неочевидной экономии электроэнергии на выходе получается такое же количество света.

Экономия электроэнергии при проектировании и монтаже осветительных электроустановок достигается за счет правильного выбора типа ламп и светильников. ОАО «НИИПП» совместно с ТПУ осуществляет разработку светодиодных осветительных приборов (в основном для промышленных предприятий и ЖКХ). Проект предусматривает отказ от системы «отверточной сборки» и переход на полный цикл производства, внедрение в производство передовых научных разработок, контроль светотехнических характеристик и электромагнитной совместимости полупроводниковых приборов.

В рамках проекта ТПУ и ОАО «НИИПП» планируют создать региональный Центр по разработке высокоэффективных светодиодов и светильников на их основе для серийного выпуска и внедрения энергосберегающих систем освещения, а также дизайн-центр светотехнических устройств на основе использования современных программных средств и методов их расчета, разработанных на кафедре лазерной и световой техники ТПУ.

Модернизация осветительных установок предполагает проведение предварительного энергоаудита в области освещения, который представляет собой сбор информации о текущем

Таблица 1. Характеристики сравниваемых ОУ

Наименование светового прибора (СП)	ОУ аудитории № 1 (люминесцентные ИС)		ОУ аудитории № 2 (светодиодные ИС)	
	418 ARS/R 4×18	ССОН СД В-О-01-110-30-001-IP20-УХЛ4	ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4	ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4
Число СП в ОУ, ед.	12	6	6	6
Световой поток одного СП (Ф), лм	3450	2000	2500	2500
Мощность СП (РСР), Вт	72	30	35	35
Мощность ОУ (РОУ), Вт	864	180	210	210

состоянии осветительной установки, анализ информации, выработку энергосберегающих рекомендаций, реализацию предложенных рекомендаций, повторный сбор данных и анализ результатов выполненных работ по повышению энергоэффективности. ОАО «НИИПП» совместно с ТПУ проводят обследования в области освещения и модернизацию осветительных установок на предприятиях промышленности и ЖКХ, разрабатывают дизайн-проекты реконструкций осветительных установок (трехмерная визуализация), реализуют реконструкцию и запуск осветительных установок по требованию заказчика.

Объекты исследования

В настоящей работе рассматривается пример модернизации осветительной установки с целью получения наглядного представления о преимуществах и недостатках светодиодного освещения.

Объектами исследования выбраны два помещения, а именно — лекционные аудитории учебного корпуса Национального исследовательского Томского политехнического университета, одинаковые по площади, геометрии

помещения и числу встраиваемых светильников для подвесных потолков типа «Армстронг».

Осветительная установка (ОУ) аудитории № 1: 12 светильников с люминесцентными источниками света (418 ARS/R, производитель ООО «Световые технологии»). ОУ аудитории № 2: 12 светильников с источниками света на базе светодиодов (ССОН СД В-О-01-110-30-001-IP20-УХЛ4, ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4, производитель ОАО «НИИПП»).

Цель данного исследования — сравнительный анализ светотехнических характеристик осветительных установок (по освещенности, по спектру излучения) с различными источниками света (ИС), создание дизайн-проекта новой установки, расчет энергоэффективности осветительной установки на базе светодиодов.

Характеристики освещаемого объекта

Характеристики рассматриваемых лекционных аудиторий следующие:

- габаритные размеры помещения (Д×Ш×В): 9,92×5,7×3 м;
- стены окрашены краской, цвет бежевый;
- пол окрашен темно-коричневой краской;
- потолок подвесной типа «Армстронг».

Таблица 2. Ведомость светильников

Количество, шт.	Марка светильника	Внешний вид	КСС
6	ССОН СД В-О-01-110-30-001-IP20-УХЛ4		
6	ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4		

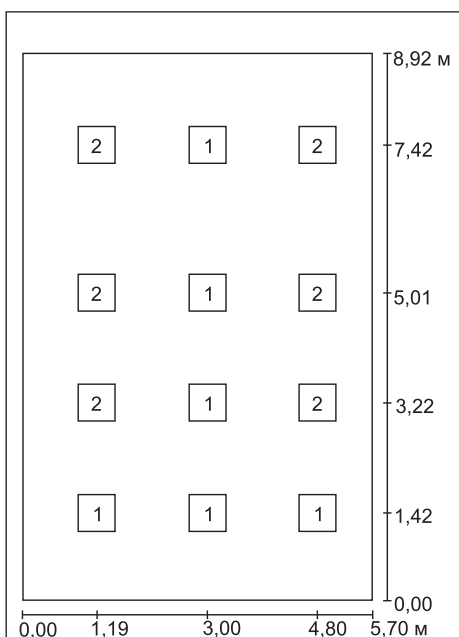


Рис. 1. Расположение светильников:
1 — ССОН СД В-О-01-110-30-001-IP20-УХЛ4; 2 — ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4

Светотехнические характеристики осветительных установок приведены в таблице 1.

ОУ аудитории № 1 состоит из 12 люминесцентных встраиваемых светильников (418 ARS/R 4×18), которые предназначены для монтажа в подвесной потолок. Мощность каждого светильника 72 Вт, световой поток 3450 лм.

ОУ аудитории № 2 состоит из шести светодиодных светильников ССОН СД В-О-01-110-30-001-IP20-УХЛ4 (мощность 30 Вт, световой поток 2000 лм) и шести светодиодных светильников ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4 (мощность 35 Вт, световой поток 2500 лм). Расположение световых приборов показано на рис. 1 и 2. Ведомость СП представлена в таблице 2.

Сравнительный анализ освещенности, создаваемой осветительными установками с различными источниками света

Средства измерения

При проведении инструментального обследования освещенности аудиторий в качестве средства измерения использовался люксметр — УФ-радиометр «ТКА-01/3».



Рис. 2. Трехмерная визуализация аудитории № 2 в программе DIALux

Освещенность рабочих мест

В результате проведенных измерений в аудитории № 2 до и после установки светодиодных светильников была составлена карта освещенности (рис. 3).

До установки светодиодных светильников освещенность варьируется в диапазонах 240–570 лк на рабочей поверхности (0,8 м от пола) и 125–260 лк в плоскости классной

доски. Требованиям по уровню освещенности СНиП 23-05-95 [8] соответствует 97% рабочих мест.

После установки светодиодных светильников освещенность составила 456–705 лк на рабочей поверхности (0,8 м от пола) и 167–270 лк в плоскости классной доски. Сделано заключение о полном соответствии уровня освещенности соответствующему СНиП.

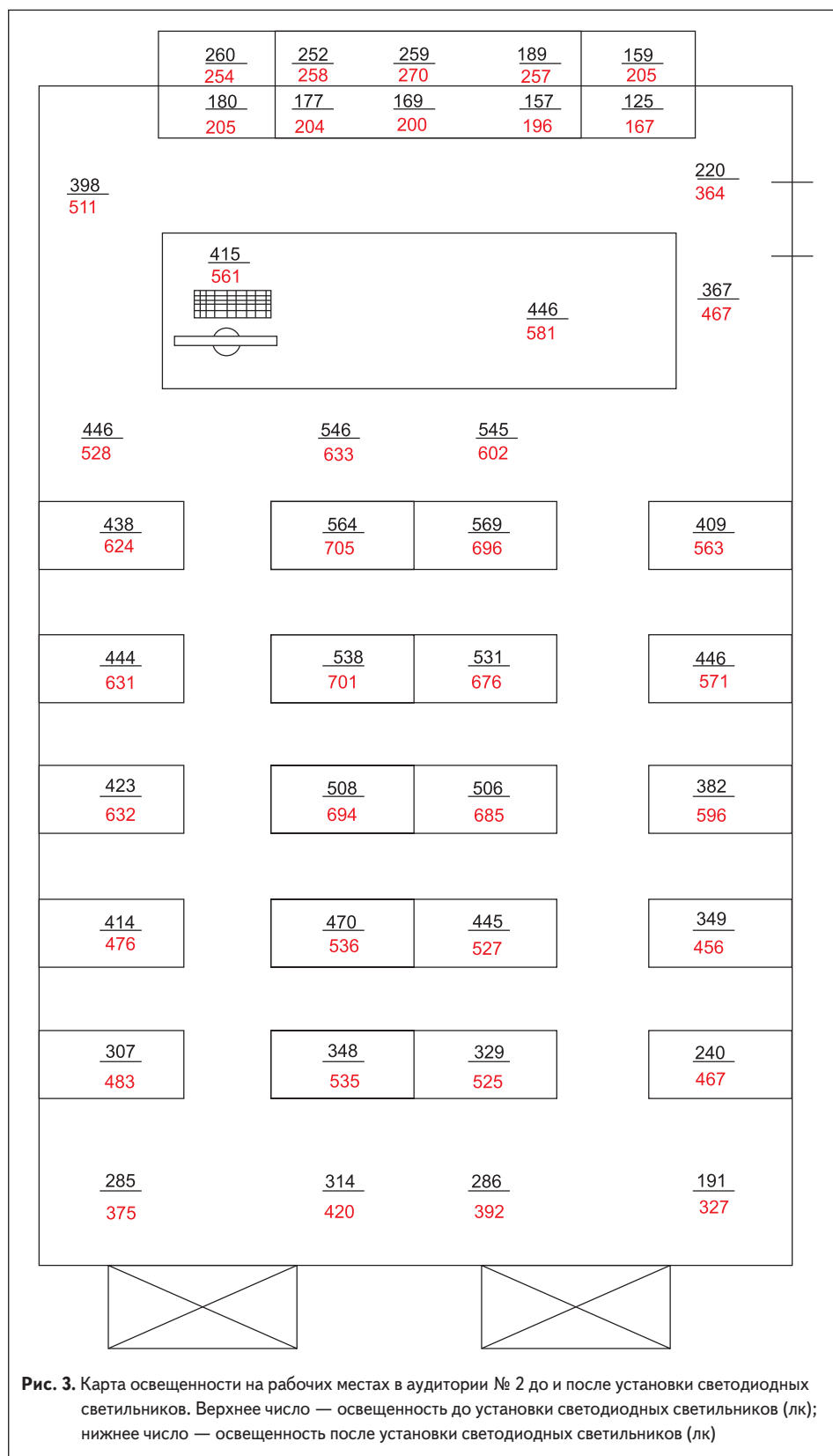


Рис. 3. Карта освещенности на рабочих местах в аудитории № 2 до и после установки светодиодных светильников. Верхнее число — освещенность до установки светодиодных светильников (лк); нижнее число — освещенность после установки светодиодных светильников (лк)

Сравнительный анализ спектральных характеристик осветительных установок

Средства измерения

При проведении инструментального обследования спектральных характеристик ОУ аудиторий использовались следующее оборудование и программы:

- спектрофотометр СПЕКТРА;
- индикатор спектра;
- набор соединительных кабелей для подключения к компьютеру;
- программа Spektrofotometr для персонального компьютера;
- USB-интерфейс для подключения к компьютеру.

Параметры работы:

- напряжение питания от USB — 9–12 В;
- диапазон длин волн — 300–1100 нм;
- разрешающая способность — от 0,1 нм в области 300 нм до 3 нм в области 1000 нм;
- время накопления оптического сигнала — 0,1–1000 мс.

Спектры излучения

люминесцентных и светодиодных ИС

В ходе второго эксперимента с помощью прибора СПЕКТРА были получены и обработаны спектры излучения люминесцентных ИС в аудитории № 1 и светодиодных ИС в аудитории № 2. Данные приведены на рис. 4 и 5.

Максимумы излучения люминесцентных ИС приходятся на длины волн 365, 405, 440, 540, 550 и 580 нм, что соответствует самым интенсивным линиям ртути и линиям люминофора. На рис. 4 наблюдается линейчатый спектр с некоторыми ярко выраженными линиями. Он практически совпадает со спектральным распределением линий люминесцентной лампы (ЛЛ) белого цвета мощностью 65 Вт из справочной книги по светотехнике [9] (рис. 6), что подтверждает верность данных, полученных в ходе эксперимента. В спектре присутствует много синего, зеленого, желтого, но мало красного света.

Максимумы излучения светодиодных ИС приходятся на длины волн 450 и 570 нм. В спектре излучения наблюдаются два максимума — в голубой и желтой областях. Совершенно отсутствует излучение фиолетового цвета, очень мало зеленого.

Также наблюдалось некоторое искажение восприятия цвета стен в аудиториях. При включении ОУ в аудитории №1 стены оставались такого же бежевого цвета, как при естественном освещении, а в аудитории № 2 бежевый цвет заметно сменялся на розоватый, хотя в спектре светодиодного ИС красный цвет не присутствует в большом количестве.

Расчет энергоэффективности светодиодной ОУ

Ясно, что экономическая эффективность данного проекта достигается в долгосрочной перспективе, расчеты которой для аудитории №2 приведены в таблице 3. Учитывались только

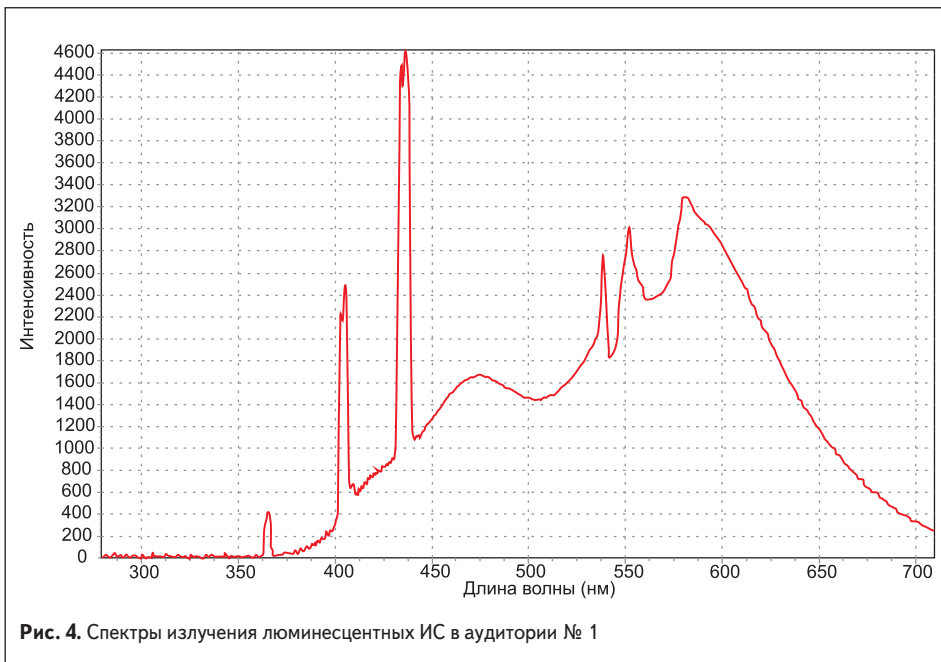


Рис. 4. Спектры излучения люминесцентных ИС в аудитории № 1

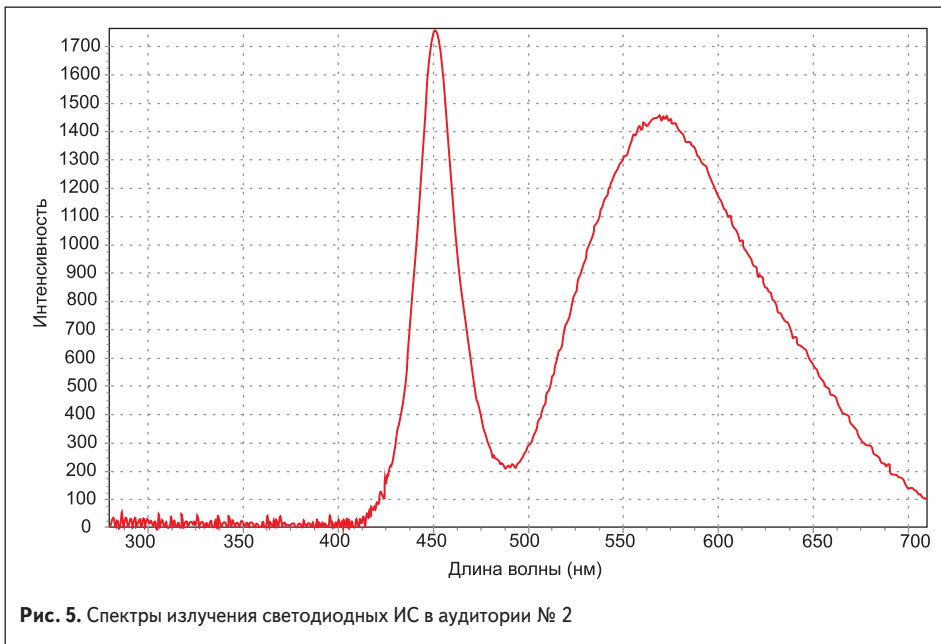


Рис. 5. Спектры излучения светодиодных ИС в аудитории № 2

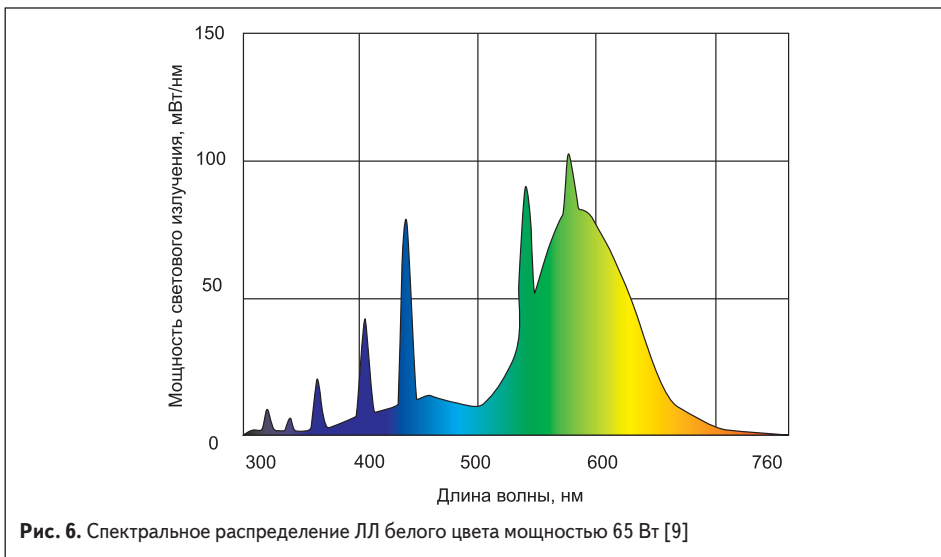


Рис. 6. Спектральное распределение ЛЛ белого цвета мощностью 65 Вт [9]

Таблица 3. Оценка энергоэффективности ОУ в аудитории № 2 (СДС) без учета затрат на монтаж и обслуживание

P _{ОУ} , Вт	$P_{ОУ(СДС)} = N_1 P_1 + N_2 P_2$
	$P_{ОУ(СДС)} = 6 \times 30 + 6 \times 35 = 390$
ΔP, кВт	$P_{ОУ(ИС)} = NP$
	$P_{ОУ(ИС)} = 12 \times 72 = 864$
ΔQ, кВт·ч/год	$\Delta P = P_{ОУ(ИС)} - P_{ОУ(СДС)}$
	$\Delta P = 864 - 390 = 0,474$
ΔC, руб./год	$\Delta Q = \Delta P \times t$
	$\Delta Q = 0,474 \times 2775 = 1315,35$
T, лет	$\Delta C = \Delta Q \times q$
	$\Delta C = 1315,35 \times 4,06 = 5340,32$
	$T = C / \Delta C$
	$T = 60000 / 5340,32 = 11,23$

Примечание: P_{ОУ(СДС)} – мощность ОУ со светодиодными светильниками, Вт; P₁ – мощность светильника ССОН СД В-О-01-110-30-001-IP20-УХЛ4, Вт; P₂ – мощность светильника ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4, Вт; N₁ – число светильников ССОН СД В-О-01-110-30-001-IP20-УХЛ4, шт.; N₂ – число светильников ССОН СД В-О-01-140-35-001-IP20-УХЛ4, шт.; P_{ОУ(ИС)} – мощность ОУ с люминесцентными светильниками, Вт; P – мощность светильника 418 ARS/R 4×18, Вт; N – число светильников 418 ARS/R 4×18, шт.; ΔP – экономия мощности, кВт; ΔQ – экономия электроэнергии (ЭЭ), кВт·ч/год; t – время работы ОУ, ч/год; ΔC – экономия средств на оплату ЭЭ, руб./год; q – тариф на ЭЭ, руб./кВт·ч; T – срок окупаемости, лет; C – стоимость энергосберегающего мероприятия, руб.

капитальные затраты на осветительные приборы и стоимость электроэнергии. Основной вклад, отражающий экономическую эффективность светодиодных светильников, вносят такие показатели, как затраты на монтаж и обслуживание. Если их учитывать, то срок окупаемости проекта становится на порядок меньше. В расчетах использовалась стоимость электроэнергии для госучреждений в Томске (4,06 руб./кВт·ч с учетом НДС). Занятия в рассматриваемых аудиториях проводятся с 8:30 до 17:45 с понедельника по субботу. Время работы в год — 2 775 ч. Характеристики СП приведены в таблице 1.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали следующее:

- Уровень освещенности на рабочих поверхностях возрос в 1,5 раза, а в плоскости классной доски в 1,1 раза при значительном снижении энергопотребления за счет использования светодиодных источников света (ИС).
- Наблюдаются искажения цветопередачи из-за различия источников света в световых приборах.
- Энергопотребление в аудитории № 2 снизилось на 55% по сравнению с аудиторией № 1, при этом возрос уровень освещенности.

Следовательно, возвращаясь к вопросу энергоэффективности и энергосбережения в освещении, необходимо отметить, что светодиодное освещение значительно экономичнее люминесцентного аналога. Окупаемость

проекта по замене уже существующей ОУ на светодиодную без учета затрат на монтаж и обслуживание достигается лишь в долгосрочной перспективе (11,23 года) вследствие высоких первоначальных затрат. Это связано с высокой стоимостью светодиодных приборов на данный момент. Однако уже сегодня на территории РФ строятся три завода, производственная деятельность которых направлена на разработку, изготовление и сборку светодиодных ИС, а также проектирование ОУ, оптимизированных под потребности заказчиков. Таким образом, можно надеяться, что через два-три года массовый выпуск светодиодов приведет к снижению стоимости светодиодных ИС и ОУ, и, как следствие, срок окупаемости ОУ станет короче. ●

Литература

1. Фокин В. М. Основы энергосбережения и энергоаудита. М.: «Машиностроение-1». 2006.
2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> (на 05.02.2011).
3. Федорищев А. Ю. Состояние и перспективы развития системы наружного освещения России // Светотехника. 2010. № 3.
4. Билунд Л. Проект «Светодиоды для общего освещения» // Светотехника. 2010. № 5.
5. Мохнаткин А. Э. «Светлана-Оптоэлектроника» на пути прогресса в области светодиодов // Светотехника. 2010. № 3.
6. Суетов А. Обзор зарубежного и российского рынков светодиодного освещения // Современная светотехника. 2010. № 6.
7. Красножон Ю. Сказка о четырех долларах // Современная светотехника. 2010. № 6.
8. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. / Минстрой России. Изд. офиц. Введены в действие с 1 января 1996 г. постановлением Минстроя России от 02.08.95 № 18-78; Взамен СНиП II-4-79. М.: ГП ЦПП, 1995.
9. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак. 2006.