

Тепловой расчёт специального фонаря с СД для исторических турецких мечетей¹

Л.Е. АТИЛГАН¹, М.Б. ЮРТСЕВЕН²

Стамбульский технический университет, Турция.

¹ erdeml@itu.edu.tr

² byurtseven@itu.edu.tr

Аннотация

В этой работе светодиоды (СД) используются для создания предназначенного для внутреннего освещения исторических турецких мечетей современного фонаря, обеспечивающего значительную экономию энергии и одновременно не нарушающего исторический облик мечети. Т.к. одним из основных моментов при разработке светильников с СД является обеспечение теплоотвода, то подробно описан процесс реализации требуемого теплового режима разрабатываемого фонаря для мечетей. В рамках данной работы были измерены фотометрические параметры выбранных СД и проведено тепловое моделирование, после чего исходная конструкция фонаря была усовершенствована с учётом результатов моделирования, и был изготовлен и испытан прототип нового фонаря. Полученный в результате фонарь характеризуется хорошим тепловым режимом работы, что приводит к увеличению срока службы и надёжности. Эта работа является хорошим примером преобразования старинных светильников в светильники с СД, которые можно использовать для освещения исторических культовых сооружений.

Ключевые слова: светодиод, СД, тепловые расчёты, освещение.

1. Введение

Мечеть — это культовое здание, используемое мусульманами для богослужения. Турецкая республика получила огромное культурное наследие от турецко-исламской цивилизации, которая существовала на тех же землях, и главной частью этого наследия являются исторические мечети. Согласно светотехническому справочнику МКО, на освещение приходится примерно 28 % от общего количества

энергии, расходуемой в культовых зданиях [1]. Статистические данные, которые были опубликованы Турецким управлением по делам религий, говорят о том, что в 2014 г. в Турции было 86101 мечетей, и каждый год их количество увеличивается на 1,1 %, так что можно ожидать, что к концу 2016 г. количество мечетей возрастёт до 88000 [2]. Согласно другому обзору, опубликованному этим управлением в 2004 г., средние месячные расходы одной мечети на электроэнергию составляли 43 турецкие лиры, что примерно соответствует равному 390 кВт·ч месячному потреблению электроэнергии [3, 4]. Для 88000 мечетей это означает 34,3 ГВт·ч в месяц, что превышает месячную выработку энергии расположенной на реке Кизилирмак, Турция, мощной гидроэлектростанцией Хирфанли [5].

Энергопотребление — не единственная проблема, присущая современным осветительным установкам исторических турецких мечетей. Лампы накаливания (ЛН), которые используются для освещения большинства исторических мечетей, сильно осложняют проведение технического обслуживания из-за своего малого срока службы. Как кандидат в члены Евросоюза, Турция пострадала от постепенного введения Евросоюзом запрета ЛН, означающего, что в последующие годы ЛН исчезнут с рынка. Обследование исторических мечетей показало, что большинство перегоревших ЛН были оставлены в фонарях, или же ЛН были выключены в целях экономии электроэнергии. Некоторые мечети заменили перегоревшие ЛН на компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), которые, однако, по большей части эстетически несовместимы с фонарями из-за того, что стеклянные колпаки фонарей слишком малы для КЛЛ, так что переход на КЛЛ делает осветительные установки эстетически непривлекательными. Кроме того, т.к.

приобретающие эти лампы лица не имеют необходимых технических знаний, то цветовые температуры (T_u) выбранных ими ламп не соответствуют T_u ЛН. Эти проблемы приводят как к пониженным уровням освещённости и к её неравномерности, так и к неэстетичности осветительных установок. Хотя некоторые наиболее посещаемые туристами мечети и перешли с ЛН на светодиодные лампы прямой замены, количество таких мечетей слишком мало, что связано с, главным образом, с высокой стоимостью СД ламп. Кроме того, как и в случае КЛЛ, присутствующие на турецком рынке относительно дешёвые СД лампы прямой замены обычно имеют высокую T_u , и цвет света этих предпочитаемых относительно дешёвых ламп низкого качества не соответствует духу мечетей.

В данной работе СД используются для создания современного фонаря, который позволил бы решить проблему внутреннего освещения исторических мечетей. Однако при использовании мощных СД большая часть потребляемой энергии преобразуется в тепло, которое следует непрерывно отводить от СД. Рабочая температура СД служит наиболее явным индикатором его надёжности и долговечности. Длительная работа СД при высокой температуре приводит к ускорению спада светового потока и уменьшению срока службы СД [6]. Кроме того, имеет место и уменьшение световой отдачи кристаллов СД, к которому добавляются тепловые потери и потери в оптической системе и устройстве управления. С учётом вышесказанного, очень важное значение приобретает тепловой расчёт светильников с СД. Подобный расчёт был проведён применительно к предлагаемому новому светильнику для мечетей, продемонстрировав, как при помощи тщательного конструирования, точных измерений и хорошего моделирования можно преобразовать старинные светильники в энергоэффективные светильники с СД.

2. Внутреннее освещение исторических турецких мечетей

Установка для внутреннего освещения мечети обеспечивает возможность проведения служб, создаёт зрительный комфорт и подчёркивает архитектурные особенности здания. Для

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

размещения искусственных источников света используются канделябры или свисающие с потолка концентрические железные конструкции [7]. Обычно используются ЛН мощностью 60 или 40 Вт с $T_u = 2700$ К, которые помещают в стеклянные фонари. В старину эти фонари заправляли оливковым маслом, и в них горели фитили, непосредственно освещающие купол мечети. Однако в настоящее время из-за формы фонарей и потребности в электропроводке большая часть света направляется на пол, а не на купол мечети, так как патрон лампы экранирует большую часть излучаемого на купол света. Это приводит к возникновению существенной проблемы, так как на купол, который должен рассеивать и отражать свет, падает недостаточное количество света. На рис. 1 показаны фонари, используемые для внутреннего освещения построенной архитектором Синаной всемирно известной мечети Шемси Ахмед-паши и старая, впоследствии модернизированная при помощи классических СД лампы прямой замены осветительная установка знаменитого Собора Святой Софии, который на протяжении своей истории был и церковью, и мечетью, и музеем.



Рис. 1. Фонари, используемые для внутреннего освещения мечети Шемси Ахмед-паши (а) и музея Святой Софии (б)

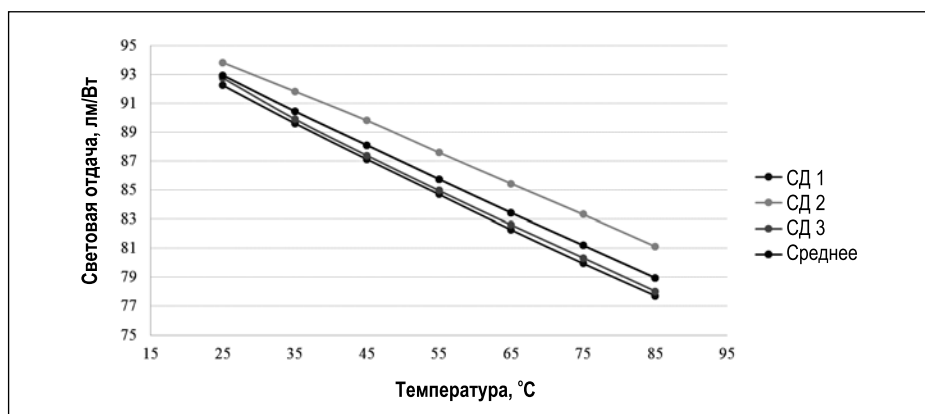


Рис. 2. Зависимость светового потока от температуры

3. Фотометрический подход и выбор СД

Фотометрический подход к созданию нового фонаря с СД заключается в том, чтобы сохранить все достоинства существующего фонаря и старинной осветительной установки. Эти установки направляют большую часть света на купол мечети, тогда как современные установки большую часть света направляют на пол мечети. Новая конструкция должна светить во всех направлениях.

Так как разрабатываемый фонарь предназначен для исторических культурных сооружений и может оказаться востребованным во всех освещаемых фонарями исторических зданиях, то важное значение имеют T_u , индекс цветопередачи и спектральное распределение излучения СД. Исторические турецкие мечети украшены старинными коврами, орнаментами, цветными изразцами и многими другими требующими бережного обращения предметами, цвета которых следует демонстрировать и сохранять. Для

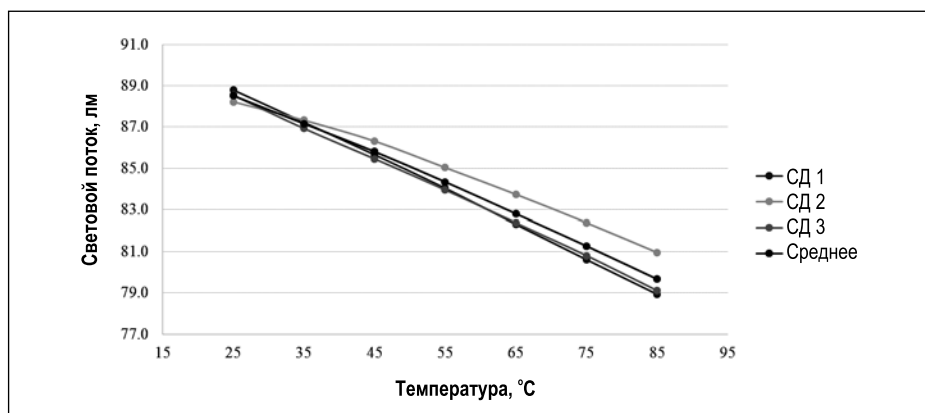


Рис. 3. Зависимость световой отдачи от температуры

внутреннего освещения мечети характерны тёплые цвета. Так что выбранные СД должны иметь высокие значения индекса цветопередачи и не генерировать инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. В табл. 1 приведены параметры выбранных СД [8].

Каталожные значения параметров выбранных СД приведены для тока 350 мА и температуры $p-n$ -перехода 25 °С. Однако на практике невозможно поддерживать равную 25 °С температуру $p-n$ -перехода. Для соответ-

ствующих реальным рабочим температурам значений светового потока следует оценить значения срока службы, определённые в соответствии с [9, 10]. Полученные в соответствии с [9, 10] параметры выбранных СД приведены в табл. 2 для тока 350 мА и равных 85 и 105 °С значений температуры $p-n$ -перехода [11].

При сравнении прогнозируемых значений срока службы при 85 и 105 °С ясно видно, что для обеспечения не менее чем 80 % светового

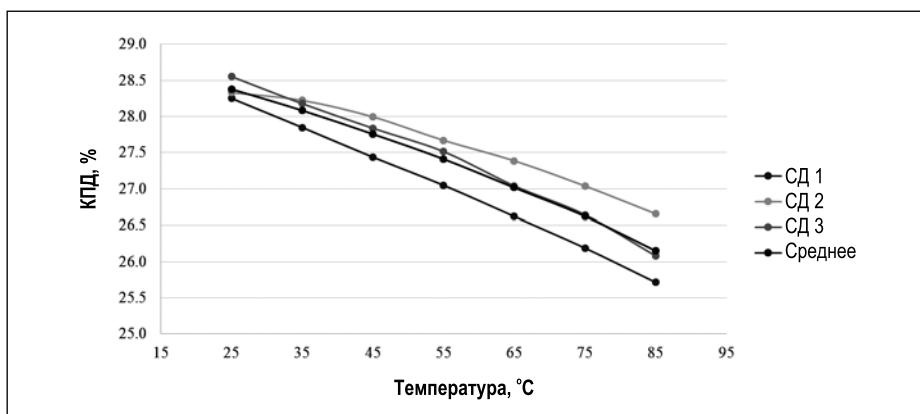


Рис. 4. Зависимость КПД от температуры

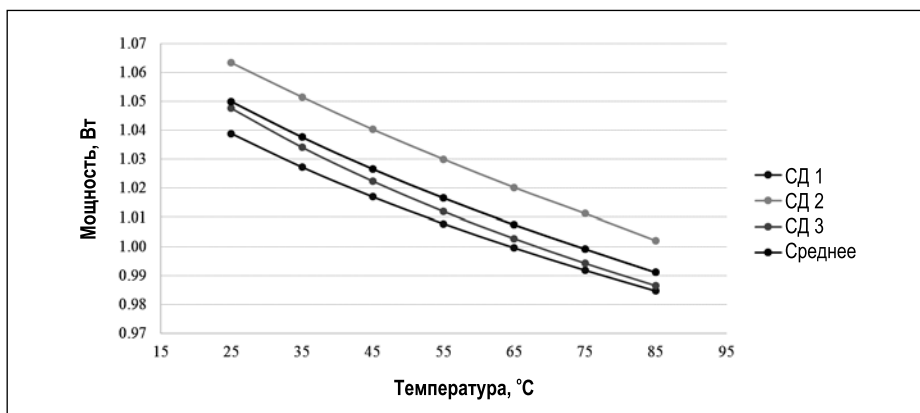


Рис. 5. Зависимость мощности от температуры

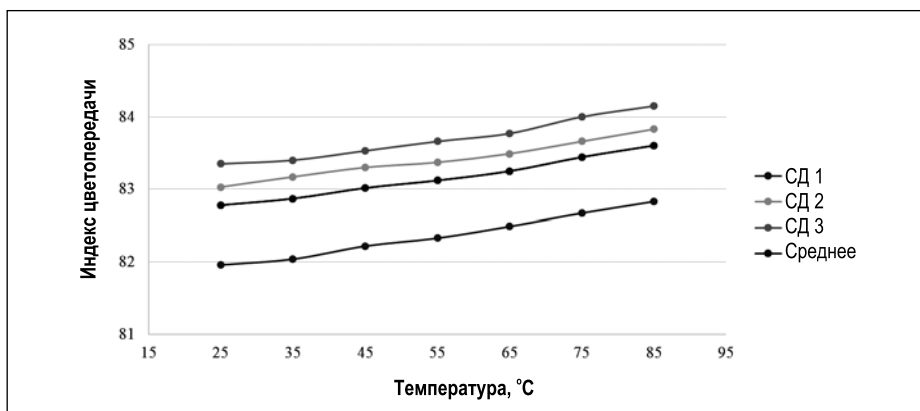


Рис. 6. Зависимость индекса цветопередачи от температуры

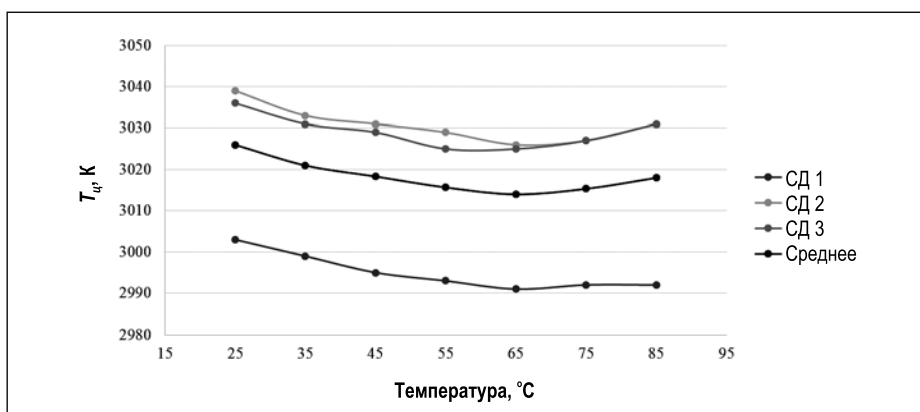


Рис. 7. Зависимость T_c от температуры

потока на протяжении всего равного 65000 ч срока службы в приборах с выбранными СД крайне желательно поддерживать температуру корпуса на уровне, не превышающем 85 °C. Увеличение температуры корпуса на 20 °C приведёт к потере примерно половины прогнозируемого срока службы этих СД. Поэтому при тепловых расчётах фонаря для мечетей максимальное допустимое значение температуры корпуса было выбрано равным 85 °C.

4. Измерения

Влияние температуры на световые потоки, световые отдачи, КПД, напряжения, мощности, T_c , индексы цветопередачи и спектральные распределения энергии излучения выбранных СД определялось с использованием термостатированного фотометрического шара диаметром 1 м. 3 образца СД, независимо друг от друга смонтированные на круглых печатных платах на металлическом основании (далее – печатная плата), помещались на термоэлектрическую пластину. При равном 350 мА токе СД температуру на нижней поверхности печатной платы повышали от 25 до 85 °C с шагом 10 °C, и при этом в фотометрическом шаре в конфигурации 2л при помощи спектрорадиометра измеряли значения параметров. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Из результатов измерений следует, что, как и ожидалось, при увеличении температуры световой поток, световая отдача, КПД и мощность СД уменьшаются. При изменении температуры от 25 до 85 °C световой поток уменьшается в среднем на 15%. T_c СД при увеличении температуры остаётся практически постоянной, тогда как индексы цветопередачи СД при этом увеличиваются, что для освещения исторических культовых сооружений является хорошим обстоятельством. Результаты измерений представлены в виде графиков на рис. 2–7.

Так как изменения светового потока и световой отдачи имеют для данного исследования первостепенное значение, то для облегчения рассмотрения влияния температуры на эти два важных параметра были выведены формулы, линейно аппроксимирующие зависимости светового потока Φ и световой отдачи η от температуры T :

$$\Phi = -0,2323 \cdot T + 98,61, \quad (1)$$

$$\eta = -0,1476 \cdot T + 92,34. \quad (2)$$

Полученные значения КПД использовались для определения тепловой энергии, выделяемой СД, значения которой использовались при тепловом моделировании, а формулы, полученные посредством линейной аппроксимации, использовались для определения светового потока и световой отдачи конечного изделия.

5. Конструкция радиатора

Основным моментом проектирования радиатора является выбор наиболее подходящей формы, позволяющей обеспечить необходимое охлаждение и в то же время допускающей помещение радиатора в стеклянный колпак фонаря для освещения мечетей. Кроме того, радиатор должен быть лёгким, с тем чтобы не повредить старинные конструкции и позволять фонарю освещать всё пространство. Так что три основные ограничения, накладываемые на конструкцию радиатора, связаны с размерами, весом и светораспределением фонаря. Размеры стеклянного колпака накладывают несколько ограничений на размеры и форму нового изделия: его размеры должны быть достаточно малы, чтобы он мог поместиться в колпак, а его форма должна соответствовать форме колпака. Очень важное значение имело и второе ограничение, согласно которому вес нового изделия следовало сохранить на уровне веса существующего фонаря, так как дополнительный вес приводит к увеличению нагрузки на держатель фонаря, что в конце концов может вызвать разрушение держателя и купола, тем самым нанося вред не только самому историческому зданию, но и посетителям мечети. Третье ограничение связано с пространственным распределением излучаемого фонарём света. Местоположения СД и конструкция светильника в целом выбирались с учётом этого третьего ограничения.

Исследования показали, что расположив по одному СД на каждой из 4 боковых поверхностей радиатора и по два СД на верхней и нижней поверхностях радиатора можно обеспечить как достаточный световой поток, так и требуемое распределение силы све-

Рис. 8. Форма и размеры разработанного радиатора

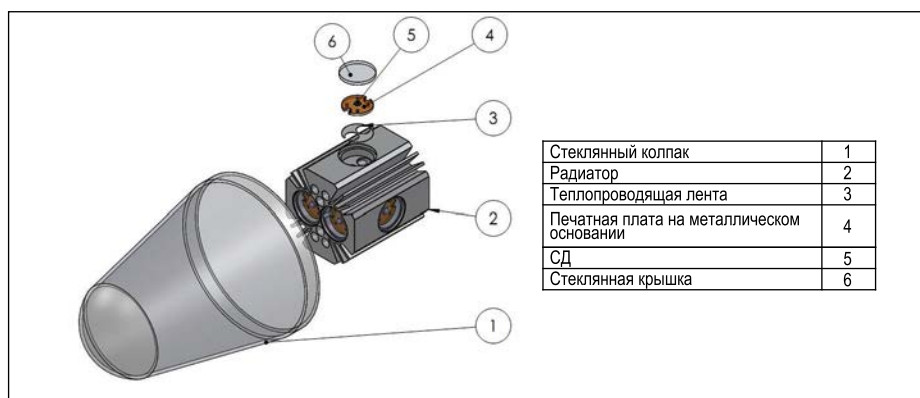
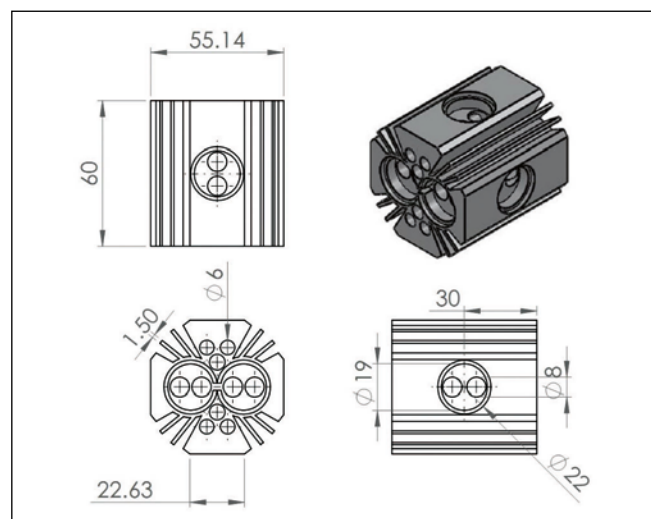


Рис. 9. Сконструированный осветительный блок в разобранном виде

Таблица 1

Параметры выбранных СД

Параметр	Значение
Световой поток, лм	93,9
Максимальный рабочий ток, мА	1000
Тепловое сопротивление, К/Вт	6
Максимальная температура $p-n$ -перехода, °С	150
Угол излучения, град.	120
T_c , К	2600–3700
Индекс цветопередачи	80

Таблица 2

Результаты проведённых по IES LM80–2008 [9] испытаний выбранных СД

$T_C, ^\circ\text{C}$	$T_A, ^\circ\text{C}$	I, mA	Средний коэффициент сохранения светового потока через 6000 ч, %	Срок службы согласно ТМ-21–11 [10], ч
85	85	350	99,8	$L_{90}(10000) = 32800$ $L_{80}(10000) > 60500$ $L_{70}(10000) > 60500$
105	105	350	95,7	$L_{90}(6000) = 15600$ $L_{80}(6000) = 34100$ $L_{70}(6000) > 36300$

Изменение значений параметров СД при изменении температуры

T, °C	Световой поток, лм				Световая отдача, лм/Вт			
	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее
25	92,24	93,81	92,75	92,93	88,79	88,22	88,54	88,52
35	89,61	91,82	89,90	90,44	87,23	87,33	86,93	87,16
45	87,12	89,80	87,38	88,10	85,66	86,32	85,46	85,81
55	84,70	87,59	84,96	85,75	84,04	85,04	83,96	84,34
65	82,27	85,44	82,61	83,44	82,31	83,75	82,38	82,81
75	79,95	83,32	80,34	81,20	80,61	82,39	80,81	81,27
85	77,73	81,12	78,04	78,96	78,94	80,96	79,11	79,67
T, °C	КПД, %				Мощность, Вт			
	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее
25	28,25	28,33	28,55	28,38	1,04	1,06	1,05	1,05
35	27,85	28,22	28,18	28,09	1,03	1,05	1,03	1,04
45	27,44	28,00	27,84	27,76	1,02	1,04	1,02	1,03
55	27,05	27,67	27,52	27,41	1,01	1,03	1,01	1,02
65	26,62	27,39	27,04	27,02	1,00	1,02	1,00	1,01
75	26,19	27,04	26,64	26,62	0,99	1,01	0,99	1,00
85	25,71	26,66	26,08	26,15	0,98	1,00	0,99	0,99
T, °C	T _ц , К				Индекс цветопередачи			
	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее
25	3003	3039	3036	3026	81,96	83,03	83,35	82,78
35	2999	3033	3031	3021	82,04	83,17	83,40	82,87
45	2995	3031	3029	3018	82,22	83,30	83,53	83,02
55	2993	3029	3025	3016	82,33	83,37	83,66	83,12
65	2991	3026	3025	3014	82,49	83,49	83,77	83,25
75	2992	3027	3027	3015	82,67	83,66	84,00	83,44
85	2992	3031	3031	3018	82,83	83,83	84,15	83,60

та. Основываясь на количестве и конфигурации СД и учитывая ограничения, накладываемые как формой фонаря, так и производственными соображениями, при помощи программы *Solidworks* был сконструирован специальный радиатор. Форма и размеры сконструированного радиатора приведены на рис. 8, а на рис. 9 сконструированный осветительный блок изображён в разобранном виде, где отдельно показаны радиатор, теплопроводящая клейкая лента, соединяющая основание печатной платы, на которой смонтированы СД, с радиатором, СД и, наконец, сте-

клянная крышка, защищающая СД от пыли, грязи и внешних ударных воздействий.

5.1. Тепловой расчёт

Для оценки тепловых характеристик разрабатываемого осветительного блока использовалась программа гидродинамического моделирования *Solidworks Flow Simulation*. Для получения точных результатов в программу были загружены характеристики отдельных элементов осветительного блока (табл. 4). Характеристики материалов, которые предполагалось

использовать при изготовлении разрабатываемого блока, были взяты из каталогов.

Про моделировании использовались измеренные ранее значения КПД η_i (табл. 3). Эти значения отражают мощность, преобразованную в свет, и позволяют определить количество рассеиваемой в виде тепла мощности P_{th} :

$$P_{th} = P_e \cdot (1 - \eta_i), \quad (3)$$

где P_e – электрическая мощность.

С учётом результатов измерений и желательного значения температуры 85 °C было выбрано равное

Характеристики материалов, использовавшиеся при моделировании

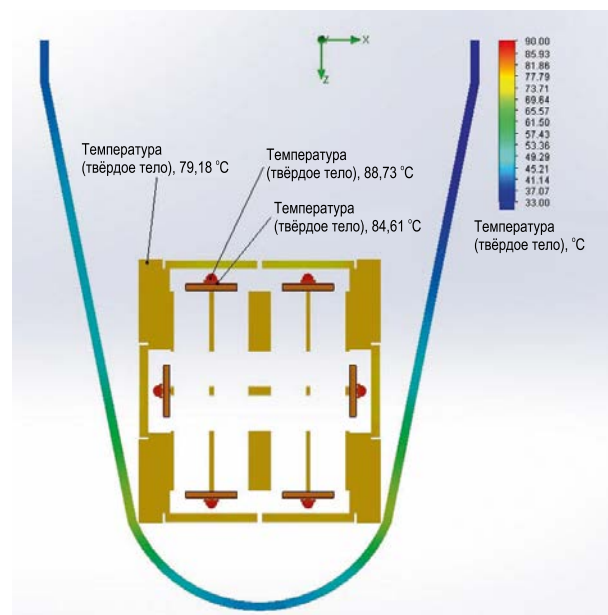
Материал	Толщина, мм	Теплопроводность, Вт/(м·К)
СД	0,65	11,62
Припой	0,075	58
Медь	0,07	390
Диэлектрик	0,10	2,2
Алюминий	1,43	170
Клейкая лента	0,13	0,17
Радиатор (алюминий)	58	218

0,74 Вт значение выделяемой СД тепловой энергии. Расчётная область была выбрана таким образом, чтобы обеспечить пространство, достаточное для обтекания осветительного блока воздухом. Лабораторные условия, в которых предполагалось проводить испытания осветительного блока, обеспечивали равную 21 °С среднюю температуру окружающей среды, так что моделирование проводилось применительно к этому значению температуры окружающей среды. Для проведения моделирования была сформирована сетка, состоящая из 1499402 ячеек, в состав которых входили жидкостные, твёрдотельные и парциальные ячейки (*fluid, solid and partial cells*). Моделирование включало в себя 229 итераций. Полученное в результате моделирования распределение температуры показано применительно к поперечному сечению фонаря на рис. 10, на котором видно, что максимальная температура смоделированного как единый элемент СД достигает 88,73 °С. В точке пайки температура равна 84,61 °С, а наверху радиатора она равна 79,18 °С.

Результаты моделирования говорят о том, что в рассмотренном варианте температура оказывается несколько большей желательной (85 °С). Максимальная допустимая температура *p-n*-переходов выбранных СД составляет 150 °С. Приведённые в табл. 2 результаты длительных испытаний, проводившихся при равных 85 и 105 °С температурах корпуса СД, говорят о том, что при температурах, лежащих в интервале 85–105 °С, для соответствующих 10000 ч работы коэффициентов сохранения светового потока прогнозируемые сроки службы имеют вполне приемлемые значения. Однако расчёты по формулам (1) и (2), полученным на основе результатов измерений, проводившихся в фотометрическом шаре и описывающих связь между световым потоком и световой отдачей и температурой корпуса СД, температура 85 °С приводит к уменьшению светового потока и световой отдачи на, соответственно, 15 и 10 % относительно их значений при 25 °С.

Для уменьшения спада светового потока и световой отдачи были рассмотрены способы отвода от СД большего количества тепла. В качестве радикального решения была удалена нижняя часть колпака (рис. 11), что привело к образованию круглого от-

Рис. 10. Результаты теплового моделирования разработанного фонаря



верстия непосредственно под радиатором и обеспечило значительное улучшение движения воздуха.

Для проверки действенности удаления нижней части колпака, было проведено новое моделирование, которое включало в себя 229 итераций при сетке, состоящей из 1455288 ячеек. Распределения температуры в случаях исходного и обрезанного колпаков приведены на рис. 12 и 13. Для объективного сопоставления результатов цветовой шкала оставалась неизменной. Полученные результаты показали, что в результате изменения конструкции фонаря, обеспечившей значительное увеличение эффективности воздушного охлаждения вследствие облегчения движения воздуха, максимальная температура СД уменьшилась от 88,73 до 68,96 °С. Протекание воздуха в обеих конструкциях показано на рис. 14 и 15. Свето-

вой поток и световая отдача одного СД, рассчитанные по формулам (1) и (2) с использованием нового значения температуры корпуса, составили, соответственно, 82,59 лм и 82,16 лм/Вт. Помимо увеличения светово-



Рис. 11. Фонарь новой конструкции с отрезанным основанием

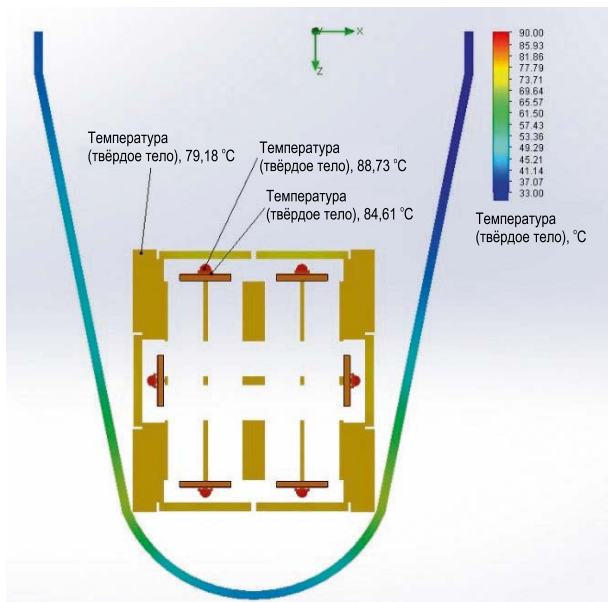


Рис. 12. Распределение температуры, исходный вариант

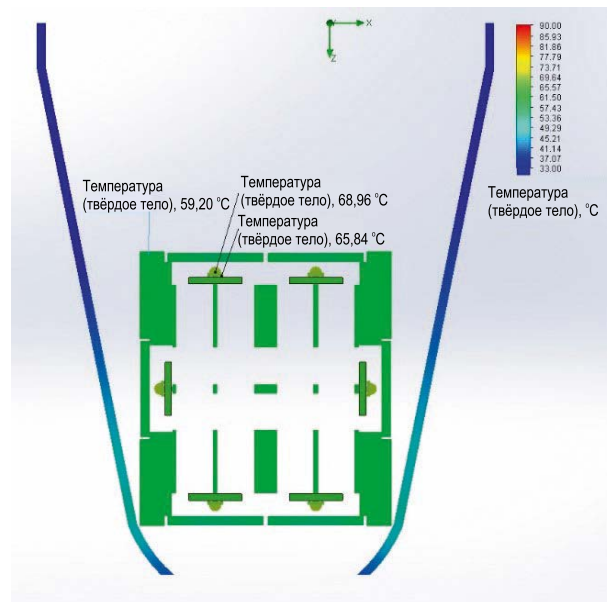


Рис. 13. Распределение температуры, окончательный вариант

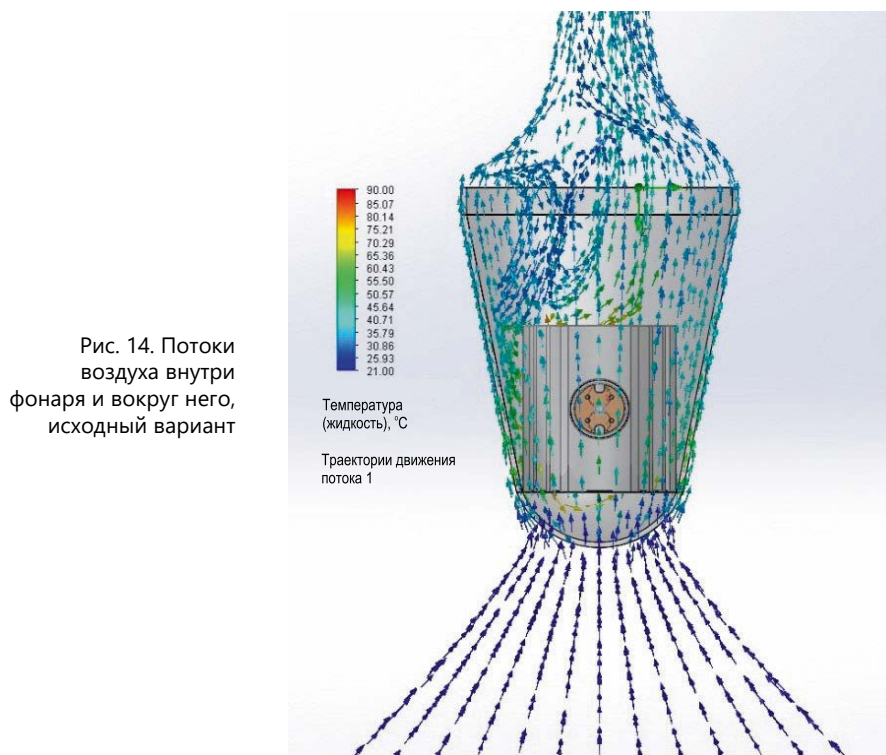


Рис. 14. Поток воздуха внутри фонаря и вокруг него, исходный вариант

го потока, много меньшая чем 85 °C температура корпуса гарантированно обеспечивала прогнозируемые сроки службы, приведённые в [10] для 85 °C ($L_{90} = 32800$ ч, L_{80} и $L_{70} = 60500$ ч).

5.2. Измерения и подтверждение правильности модели

Так как результаты моделирования подтвердили, что новая конструкция эффективно обеспечивала желательное значение температуры, то был изготовлен прототип фонаря, позволя-

ющий получить реальные результаты и подтвердить правильность модели. Изготовленный прототип фонаря показан на рис. 16.

Для оценки результатов моделирования и подтверждения эффективности изготовленного прототипа были проведены измерения температуры в точках пайки самых верхних СД. Проведение измерений было осложнено тем, что СД были прикрыты стеклянными крышками для защиты от проникающих внутрь фонаря пыли и грязи, которые не позволяли вво-

дуть внутрь термозонды. Поэтому измерения проводились без стеклянных крышек, и для надёжного подтверждения правильности модели моделирование было проведено и для фонаря со снятыми стеклянными крышками. Измерения проводились на проработавшем в течение 6 ч фонаре в точках пайки смонтированных на плате СД. Для расчёта температуры $p-n$ -перехода можно использовать ближайшую доступную для проведения измерений точку, которой является точка пайки [12]. Измеренное в точке пайки значение температуры T_{SP} позволяет определить температуру $p-n$ -перехода T_j :

$$T_j = T_{SP} + \theta_{ТН} \cdot P_e, \quad (4)$$

где $\theta_{ТН}$ – тепловое сопротивление СД, P_e – электрическая мощность СД.

Измерения, которые проводились при равной 21,7 °C температуре окружающей среды, показали, что температура в точке пайки стабилизировалась на уровне 66,3 °C. Моделирование было повторено применительно к этой температуре окружающей среды и включало в себя 225 итераций при сетке, состоящей из 1422605 ячеек. Полученное распределение температуры приведено на рис. 17. В результате моделирования были получены значения температуры корпуса и в точке пайки, равные, соответственно, 67,35 и 64,44 °C. Так что абсолютная разность между измеренными и расчётными значениями температуры в точке пайки составила 1,86 °C, а их относительная разность оказалась

равной 2,8 %, что подтверждает правильность модели с погрешностью, не превышающей 5 %.

Так как правильность модели была подтверждена с малой погрешностью, то можно утверждать, что температура СД в предлагаемом фонаре примерно равна 69 °С, как это следует из результатов второго моделирования. Подставив это значение в формулы (1) и (2), получаем равные, соответственно, 82,6 лм и 82,1 лм/Вт значения светового потока и световой отдачи. У наиболее часто применяемых в осветительных установках турецких исторических мечетей ЛН мощностью 40 и 60 Вт световые отдачи составляют 10–12 лм/Вт. Так что предлагаемая конструкция фонаря позволяет увеличить световую отдачу используемого источника света почти в 8 раз по сравнению с ЛН.

6. Заключение

Основной причиной проведения этого исследования послужило отсутствие энергоэффективных и долговечных источников света в большинстве турецких исторических мечетей, а также неэстетическое и неравномерное освещение в части освещённости и цветовых характеристик. Хотя некоторые мечети пытаются применять энергоэффективные альтернативы ЛН, такие как КЛЛ или СД лампы прямой замены, эти лампы не годятся для использования в изготовленных на заказ осветительных установках из-за формы фонарей, создаваемого лампами пространственного распределения силы света и своеобразия исторических интерьеров.

В данной работе был сконструирован осветительный блок, который может быть совмещён с существующими осветительными установками турецких исторических мечетей. Одним из основных моментов конструирования осветительных приборов с СД является необходимость обеспечения хорошего теплового режима работы СД. Без должного обеспечения теплового режима характеристики конечного изделия могут оказаться чрезвычайно неудовлетворительными. В данной работе были проведены тепловые расчёты двух различных вариантов, позволившие сконструировать требуемый фонарь с СД. В исходном варианте разработанный радиатор размещался непосредственно

Рис. 15. Потoki воздуха внутри фонаря и вокруг него, окончательный вариант

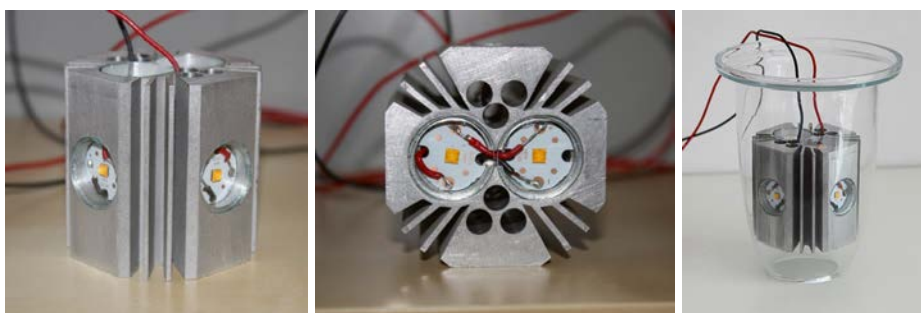
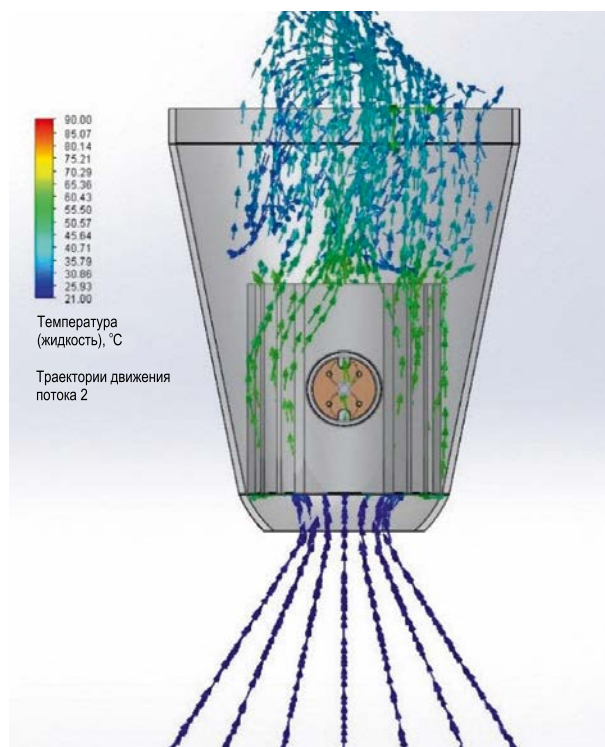
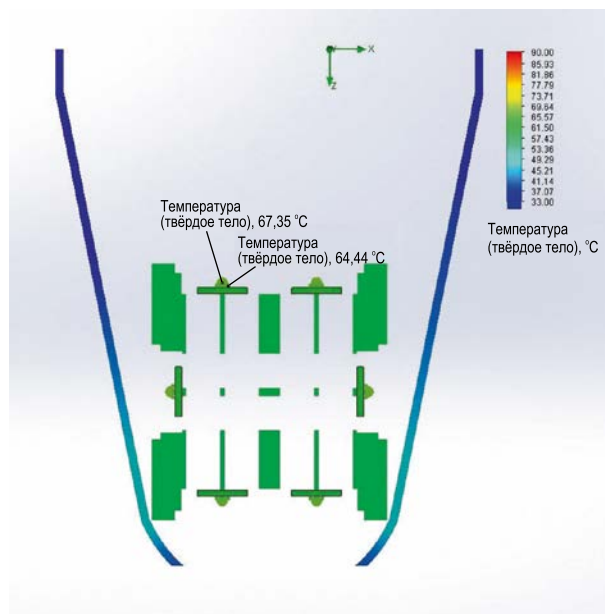


Рис. 16. Прототип нового фонаря с СД для мечетей

Рис. 17. Распределение температуры в новом фонаре при отсутствии стеклянных крышек



в существующем стеклянном колпаке. Окончательный вариант позволяет уменьшить температуру корпуса

СД благодаря проделыванию круглого отверстия в нижней части стеклянного колпака, что обеспечивает более

эффективную естественную вентиляцию и явное улучшение охлаждения СД. Тепловое моделирование фонаря началось с измерения фотометрических характеристик разных СД, после чего была сформирована модель и были проведены расчёты. Полученные результаты были заложены в основу прототипа фонаря, характеристики которого были измерены для подтверждения правильности модели. В окончательном варианте фонаря холодный воздух мог свободно проникать внутрь через отверстие в дне колпака, обтекать рёбра отражателя и обеспечивать гораздо более эффективное охлаждение СД. В исходном варианте расчётное установившееся значение температуры корпуса радиатора оказалось равным 88,73 °С, тогда как во втором варианте, характеризующемся усилением обдува благодаря наличию отверстия в дне колпака, оно уменьшилось до 68,96 °С. Подставив полученные посредством моделирования значения температуры в выражения (1) и (2), получили равные, соответственно, 82,6 лм и 82,1 лм/Вт значения светового потока и световой отдачи отдельного СД, установленного в фонаре. Помимо увеличения светового потока, много меньшая чем 85 °С температура корпуса гарантированно обеспечивает прогнозируемые сроки службы, приведённые в [10] для 85 °С ($L90 = 32800$ ч, $L80$ и $L70 = 60500$ ч).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Lighting Handbook: Reference and Application, 10th ed. Illuminating Engineering Society, 2011.
2. Turkish Directorate of Religious Affairs, Statistical Tables 2014. Retrieved 12 May 2016 from <http://www.diyenet.gov.tr/tr/kategori/istatistikler/136>.
3. Radikal Newspaper, «Türkiye’de 79 bin 96 cami ayda 42 milyon YTL’lik elektrik tüketiyor» (79096 mosques consume 42 million new Turkish Liras worth of electricity per month). 2008, Turkey. Retrieved 12 May 2016 from <http://www.radikal.com.tr/ekonomi/turkiyede-79-bin-96-cami-ayda-42-milyon-ytl-lik-elektrik-tuketiyor-886600/>.
4. Turkish Electricity Distribution Corporation, Electric Tariffs, 2004. Retrieved 12 May 2016 from http://www.tedas.gov.tr/#!-tedas_tarifeler.
5. Turkish General Directorate of State Hydraulic Works. Hirfanlı Dam. Retrieved 12 May 2016 from <http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=9>.

6. Yurtseven, M.B., Mete, S., Onaygil, S. The effects of temperature and driving current on the key parameters of commercially available, high-power, white LEDs // Lighting Research and Technology. – 2015. – No. 10. – P. 1–23.

7. Ünver, R, Enarun, D. A Comparative Investigation of Lighting of Mosques and Churches in Istanbul // CIE24th Session Proc., Warsaw, Poland, 24–30 June 1999. – P. 288–292.

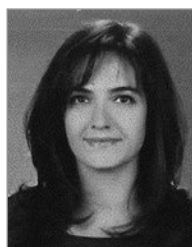
8. Cree XLamp XP-E High-Efficiency White LEDs. Retrieved 12 May 2016 from <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Discrete-Directional/XLamp-XPE-HEW>.

9. IES LM 80–08 Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources. New York (USA): Illuminating Engineering Society (IES), 2008.

10. IES TM-21–11 Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources. New York (USA): Illuminating Engineering Society (IES), 2011.

11. Cree LED Components IES LM-80–2008 Testing Results. Retrieved 12 May 2016 from http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/LM80_Results.pdf.

12. Cree. Optimizing PCB Thermal Performance for Cree XLamp LEDs. Retrieved 12 May 2016 from http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLamp_PCB_Thermal.pdf.



Лейла Ердем Атилган (Lale Erdem Atilgan), Ph.D.

(2014 г.). Преподаёт светотехнику на электротехническом факультете Стамбульского технического университета. Об-

ласть научных интересов: внутреннее освещение, светодиоды, блёккость и энергоэффективность



Мустафа Бекер Юртсевен (Mustafa Berker Yurtseven), M. Sc.

(2006 г.). Окончил Стамбульский университет (2003 г.). Заканчивает обучение в аспирантуре (Ph.D.). Область

научных интересов: фотометрические и радиометрические измерения СД, терморегулирование и статистический анализ

В кемеровской исправительной колонии открыли производство светильников со светодиодами

В кемеровской исправительной колонии № 5 (ИК-5) общего режима открыли участок по производству светильников со светодиодами (ССД). ССД различного назначения, изготовленные заключёнными, будут использоваться не только для нужд системы исполнения наказаний.



На участке работают пять человек. Они выполняют заказ на изготовление 1117 ССД для СИЗО № 1 в Кемерове. Там решили полностью заменить систему освещения, которая потребляет слишком много энергии и часто выходит из строя. Совсем другое дело – долговечные и экономичные ССД местного производства, собранные из отечественных деталей. Дешёво и надёжно.

Об открытии нового цеха в колонии речь шла давно. Но для начала нужно было найти поставщиков качественных комплектующих. Наконец с этим определились, и главный инженер ИК-5 прошёл подготовку на аналогичном заводе в Барнауле. Вернувшись, он обучил технологи сборки ССД группу осуждённых. Преимуществом при трудоустройстве пользовались бывшие электрики. Впрочем, приобрести эту специальность можно в профессиональном училище при исправительном учреждении.

Пока у ИК-5 есть сертификат соответствия качества на ССД внутреннего освещения, включая светильники для тюремных камер и помещений СИЗО. Но уже в ближайшее время участок сможет выпускать разные виды ССД, в том числе предназначенные для производственных и медицинских учреждений, а также влаго- и морозостойкие светильники уличные ССД и специальные ССД для освещения периметра колоний.

«По самым приблизительным подсчётам, участок, способный в месяц изготавливать две с половиной-три тысячи единиц продукции, принесёт кузбасской системе исполнения наказаний экономии почти на полтора миллиарда рублей в год, – сообщила сотрудник пресс-службы ГУФСИН по Кемеровской области Татьяна Долгопол. – Ведь собственное производство – это возможность более полно учитывать потребности заказчиков, которые получают товар быстро, без оплаты транспортных расходов. Не менее важна и дополнительная возможность трудоустройства осуждённых».

Работа нужна осуждённым не только для сохранения трудовых навыков и занятости, но и для того, чтобы они могли возместить ущерб по решению суда. Общая сумма исковых требований превышает двести миллионов рублей, а взыскивается за год не более шести-восьми миллионов. Так что прилагаются все усилия, чтобы трудоустроить заключённых.

www.lightrussia.ru
29.03.2017