

Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: исследование и оптимизация оптического тракта

А.Т. ОВЧАРОВ^{1, 2}, Ю.Н. СЕЛЯНИН³, Я.В. АНЦУПОВ²

¹ Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск

² ООО «Световые системы», Томск

³ ООО «Солар», Краснодар

E-mail: oat_08@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена новая концепция архитектуры гибридных осветительных комплексов для систем совмещённого освещения. Описан каскадный принцип построения оптического тракта таких комплексов, при котором конструкция содержит две ступени каскада: верхнюю и нижнюю. Верхняя (входная) выполнена на базе соответствующей модификации полого трубчатого световода «Solatube®» (естественный свет), а нижняя, на базе световода «Solatube®» большего диаметра, совмещена со светодиодным блоком искусственного света и предназначена для передачи смешанного света (естественного и искусственного). Результаты выполненных исследований по КПД передачи света позволили оптимизировать решение нижней ступени каскада и разработать номенклатуру производственной продуктовой линейки нового гибридного осветительного комплекса «Solar LED-S». Приведено описание первого опыта применения этого комплекса в пилотной системе совмещённого освещения «комнаты переговоров» штаб-квартиры ТЦ «ИКЕА Белая Дача». Реализована полностью автономная система питания осветительной установки на базе солнечных батарей.

Ключевые слова: система совмещённого освещения, гибридный осветительный комплекс, естественный свет, искусственный свет, полые трубчатые световоды, оптический каскад, светодиодный блок искусственного света.

Введение

Несмотря на недавность появления первых прототипов гибридных осветительных комплексов (ГОК), сейчас уже виден эволюционный путь их развития в техническом, экономическом и социальном аспектах [1].

Первый отечественный опыт применения систем совмещённого освещения (ССО) на основе ГОК «Solar LED-S» подтвердил ожидаемые (расчётные) параметры осветительной системы и эффекты: энергоэффективность и высокое качество световой среды. При этом в процессе монтажа и последующей эксплуатации ГОК выявились два существенных недостатка, устранение которых существенно повысит потребительские качества этих устройств [1]:

- Во-первых, размещение светодиодного блока искусственного света (СБИС) в зоне коллиматора (по аналогии с конструкцией, описанной в [2]) обуславливает высокий процент от-

ражённого («обратного») света, который проявляется в довольно ярком свечении куполов ГОК над кровлей в тёмное время суток (рис. 1, а). Расчёты (по данным измерений уровня освещения коллектора) показали, что уровень «обратного» светового потока светодиодного блока составляет около 22 % от суммарного, что существенно снижает энергоэффективность и КПД ГОК. На рис. 1, б (фотография со стороны купола на кровле), показан эффект «обратного» отражения светового потока светодиодных модулей (СДМ). Радикальное решение этой проблемы достижимо при таком рас-

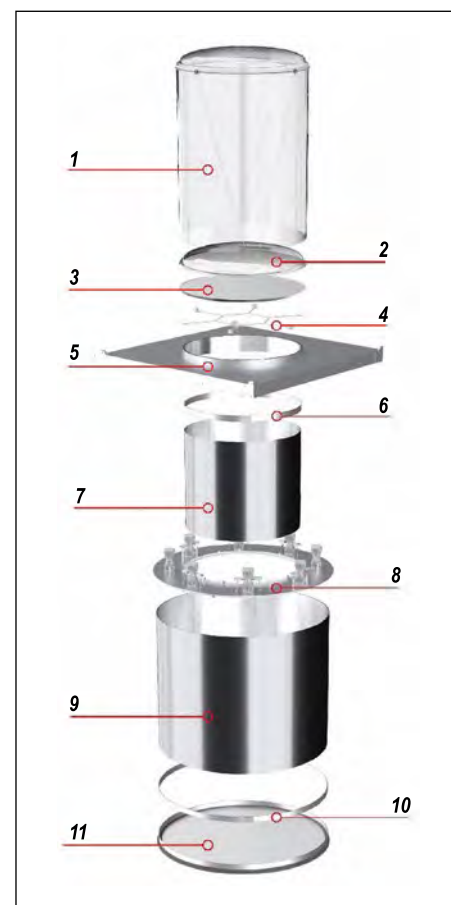


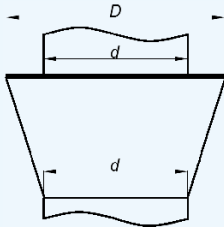
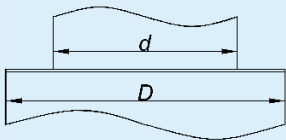
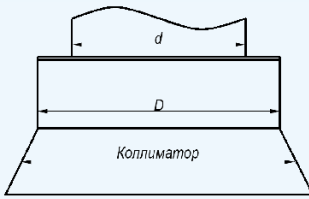
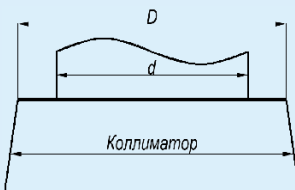
Рис. 2. Декомпозиция ГОК «Solar LED-S» (на базе ПТС «Solatube® M74»):

1 – коллектор «Solatube® M74» серии «SkyVault»; 2 – внешний купол; 3 – внутренний защитный купол; 4 – элемент защиты от проникновения; 5 – бордюрный флешинг; 6 – кольцо фиксации световода; 7 – световод верхней ступени оптического каскада; 8 – СБИС – кольцеобразная монтажная панель, на которой герметично установлены светодиодные блоки в составе СДМ, радиатора охлаждения и управляющего устройства (УУ) СДМ (каждый СДМ закреплён на торцевой поверхности радиатора охлаждения так, чтобы после установки радиатора на монтажную панель СДМ обращался в полость нижней ступени оптического каскада); 9 – световод нижней ступени оптического каскада; 10 – кольцо для фиксации рассеивателя; 11 – призматический рассеиватель



Рис. 1. Свечение коллектора в результате «обратных» отражений светового потока СДМ (а) и зеркальные отражения СДМ (вид сверху через коллектор в канал ПТС) (б)

Результаты определения КПД передачи светового потока η , в зависимости от конструктивного решения оптического тракта ГОК

№ варианта	Конструктивное решение нижней ступени	Схематическое изображение	η , %	d , мм	D , мм
1	Панель – усечённый конус «воронка»		53,7	350	530
2	Панель – труба		99,3	350	530
3			99,5	530	740
4			99,6	740	945
5	Панель – труба с переходом в коллиматор		99,6	530	740
6	Панель – коллиматор		99,8	530	740

положении светодиодного излучателя в полости полого трубчатого световода (ПТС), при котором оптические оси СДМ и ПТС и плоскость отражающей поверхности ПТС параллельны, что позволит значительно снизить обратный световой поток в результате отражений от внутренней поверхности ПТС. Ниже описаны исследования оптического тракта ПТС ГОК в контексте сказанного.

• Во-вторых, размещение СБИС внутри помещения при большой высоте установки рассеивателей, СБИС и системы автоматического управления (САУ) создаёт серьёзные проблемы эксплуатационного характера. В частности, монтаж и обслуживание ГОК при большой высоте установки (5–20 м) обуславливает необходимость строительства дополнительных конструкций для доступа к ГОК или привлечение для работ промышленных альпинистов. Это вызывает усложнение и удорожание монтажа,

ремонта и обслуживания СБИС ГОК, что противоречит инновационному духу ГОК. Ниже приведены технические решения, снижающие остроту данного вопроса.

При решении названных проблем авторами изменена концепция архитектуры ГОК и проведены исследования его оптического тракта, направленные на повышение КПД передачи светового потока СДМ по оптическому каналу ПТС. На основе исследований предложен конструктивно новый ГОК «Solar LED-S» и представлен типоряд его модификаций.

Новая концепция построения оптического тракта ГОК

В конструкции ГОК «Solar LED-S» реализован каскадный принцип построения оптического тракта [3, 4], с двумя ступенями: верхней и нижней. Верхняя (входная) ступень каскада объединена со све-

топриёмным куполом и выполнена на базе соответствующей модификации ПТС «Solatube®» (естественный свет), а нижняя ступень каскада – на базе ПТС «Solatube®» большего диаметра, следующего в ряду модификаций «Solatube®» – совмещена со СБИС и предназначена для передачи смешанного света (естественного и искусственного). Подробное описание модификаций ПТС «Solatube®» приведено в статье [5].

В ГОК «Solar LED-S» (рис. 2), в отличие от предшественника – ГОК «Solar-LED», СДМ расположены на монтажной панели таким образом, что лицевая сторона печатной платы СДМ обращена внутрь полости нижнего оптического каскада. В такой комбинации оптические оси СДМ, ПТС и плоскость отражающей поверхности ПТС параллельны, благодаря чему устраняются наиболее вероятные причины возникновения «обратного света» в ГОК.

Рис. 3. Внешний вид изделий продуктовой линейки ГОК «Solar LED-S» соответствующей модификации

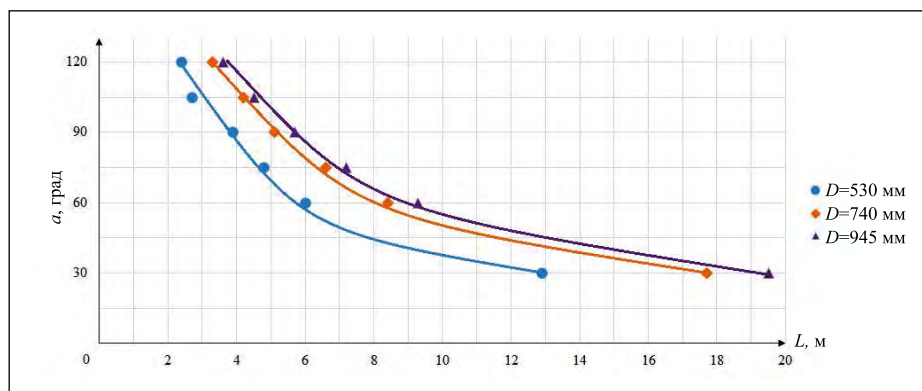
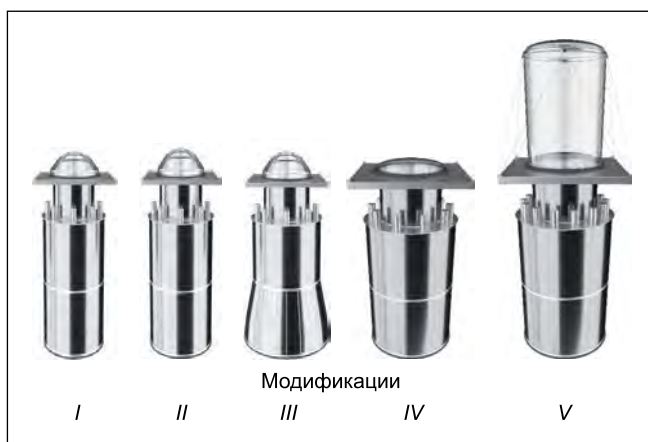


Рис. 4. Зависимость максимальной длины трубы нижней ступени оптического каскада ГОК L (при которой КПД передачи света $\eta_i \geq 95\%$) от угла расходимости светового пучка СДМ α

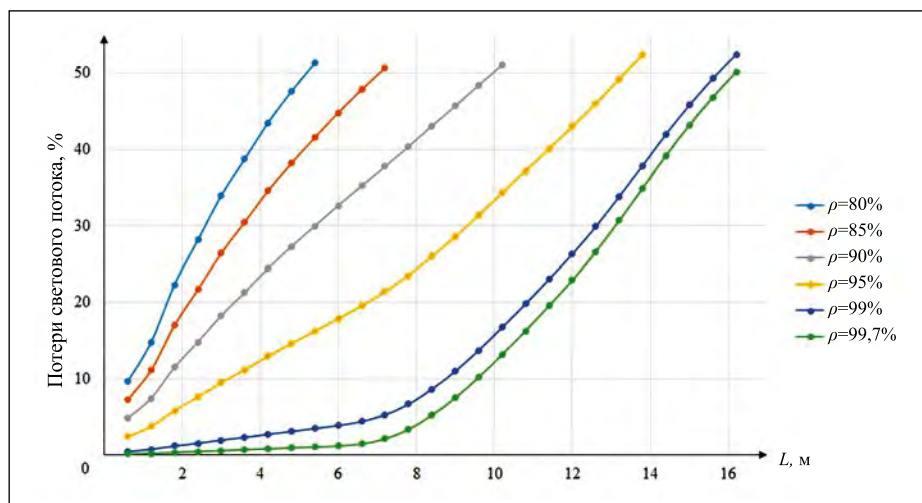


Рис. 5. Зависимость световых потерь от длины канала передачи света по ПТС L при разных коэффициентах отражения внутреннего покрытия

Исследование нижней ступени оптического каскада ГОК

Сразу отметим, что верхняя ступень оптического каскада имеет конфигурацию и параметры ПТС, в конструкцию которого не внесено никаких изменений. Особенностью же нижней ступени оптического каскада ГОК является объединение воедино систем передачи естественного и искусственного (све-

тодиодных излучателей) света. Фактически нижняя ступень транспортирует смешанный свет. Монтажная панель со встроенными светодиодными блоками (рис. 2, поз. 8) объединяет ступени каскада и одновременно выполняет роль переходного узла от верхней к нижней ступени [4]. Нижняя ступень оптического каскада по всей длине представляет собой полую трубу одного диаметра. Такому решению

ГОК предшествовали исследования оптического тракта нижней ступени каскада методом компьютерного моделирования в программной среде «LightTools». Искомым результатом и критерием сравнительной оценки вариантов конструктивного решения принят КПД передачи светового потока оптического тракта ГОК η_i . Исходные условия для моделирования приняты следующие:

- угол расходимости светового пучка СДМ $\alpha = 120^\circ$;
- длина нижней ступени оптического тракта $L = 600$ мм;
- входной световой поток (световой поток СДМ) $\Phi_{ex} = 12000$ лм;
- коэффициент отражения внутренней поверхности ПТС – 99,7 %;
- измеренный выходной световой поток в плоскости рассеивателя ГОК – $\Phi_{вых}$;
- η_i оценивается как отношение $(\Phi_{вых}/\Phi_{ex}) \cdot 100\%$.

Результаты компьютерного моделирования и расчётов приведены в табл. 1.

Результаты моделирования и оценки η_i в зависимости от конструктивного решения подтверждают правильность выбранной конфигурации нижней ступени оптического каскада, при которой $\eta_i > 99\%$. Полученные данные моделирования были положены в основу разработки оптимальной конструкции ГОК «Solar LED-S».

Номенклатура производственной продуктовой линейки ГОК «Solar LED-S»

Указанные результаты моделирования и расчётов и существующий типоряд ПТС «Solatube®» составили базу для разработки номенклатуры производственной продуктовой линейки (ППЛ) ГОК «Solar LED-S» (табл. 2). В таблице приведены номинальные значения естественного светового потока $\Phi_{v,EO}$ для соответствующих модификаций ПТС «Solatube®» [1], которые являются базовыми для определения значений искусственного светового потока $\Phi_{v,IO}$. Последние задаются с учётом коэффициента эксплуатации MF согласно указаниям [6, табл. 4.3]. Например, для помещений с нормальными условиями среды MF принимается равным 0,71.

На рис. 3 показан внешний вид конструкций из номенклатуры ППЛ ГОК «Solar LED-S» согласно табл. 2.

Номенклатура и характеристики модификаций ГОК «Solar LED-S»

№ мод.	*Условное обозначение модификации ГОК	** $\Phi_{V,EO}$, лм	*** $\Phi_{V,IO}$, лм	Комплектность СБИС	Рекомендуемая высота установки рассеивателя ГОК, м
I	350/СБИС/530	3000	6000	4 СДМ × 15Вт 4 УУ	≤ 4
II	530/СБИС/740	8000	12000	8 СДМ × 15Вт 8 УУ	≤ 7
III	530/СБИС/740У	8000	12000	8 СДМ × 15Вт 8 УУ	≤ 7
IV	740/СБИС/950	18500	27000	9 СДМ × 30Вт 9 УУ	> 7
V	К/740/СБИС/950	30000	42000	14 СДМ × 30Вт 14 УУ	> 7

Примечания:

* Структура условного обозначения построена по принципу перечисления сверху вниз элементов ГОК. Например, модификация III – 530/СБИС/740У: 530 – диаметр трубы световода верхней ступени оптического каскада, мм; СБИС – монтажная панель с блоками светодиодных модулей; 740 – диаметр трубы световода нижней ступени оптического каскада, м; У – конусообразный усилитель (коллиматор); (К – коллектор).

** $\Phi_{V,EO}$ – номинальный естественный световой поток, передаваемый по ПТС верхней ступени оптического каскада.

*** $\Phi_{V,IO}$ – номинальный световой поток СБИС, передаваемый по ПТС нижней ступени оптического каскада.

Исследование влияния вторичной оптики светодиодных модулей на КПД передачи светового потока в протяжённом полом световоде

Многообразие архитектурных и инженерных сооружений обуславливает применение ГОК с разной протяжённостью нижней ступени оптического каскада, вплоть до 20 м. В этой связи, несмотря на рекордное значение коэффициента отражения покрытия внутренней поверхности ПТС (99,7 %), возможны световые потери, обусловленные характером распространения света по полой трубе, определяемым углом расходи-

мости светового пучка СДМ (α). Световые потери ограничивают максимальное расстояние передачи света по протяжённому ПТС. Для оценки возможных потерь и определения расстояний эффективной передачи светового потока СДМ по ПТС авторами выполнены исследования зависимости световых потерь от α в рамках оптимизации параметров вторичной оптики СДМ. Исследования проводились в программе «LightTools» для нижних ступеней оптического каскада, отличающихся диаметром трубы. Граничным критерием отбора данных моделирования служили потери светового потока на уровне 5 %, соответствующем расстоянию эффек-

тивной передачи света на уровне $\eta_i \geq 95\%$. Результаты исследования приведены на рис. 4 и указывают на зависимость световых потерь от угла расходи-мости светового пучка СДМ, что отражает связь потерь с характером многократных отражений и, соответственно, предполагает выбор оптимальной вторичной оптики для СДМ.

Как видно из рис. 4, наилучшие параметры обеспечиваются при $\alpha < 60^\circ$. Это обстоятельство предопределило выбор вторичной оптики для СДМ ППЛ ГОК «Solar LED-S» с $\alpha = 30-60^\circ$. При этом ГОК обеспечивает высокую эффективность передачи света для большинства проектов ССО архитектурных сооружений. С другой сто-

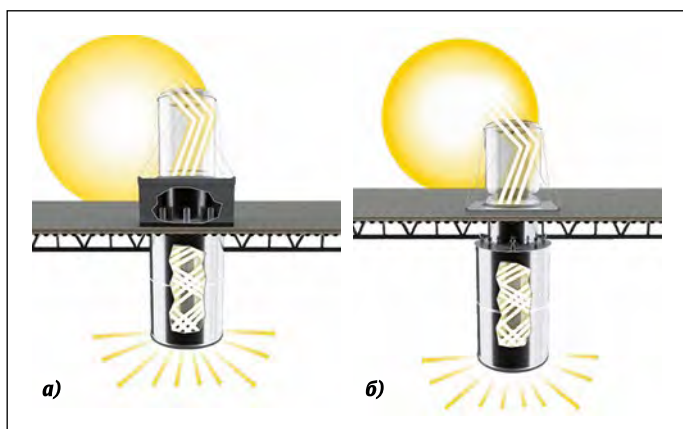
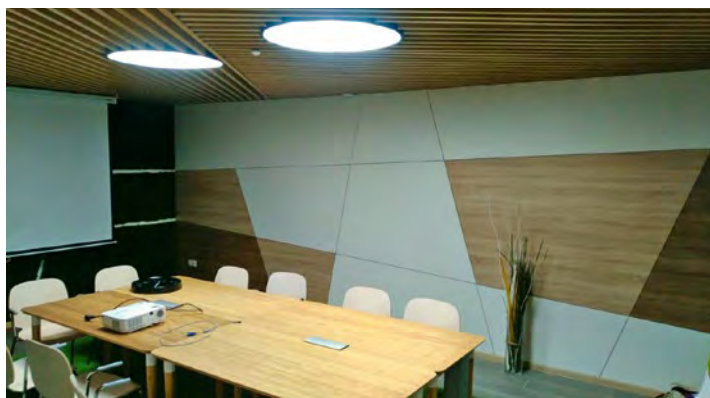


Рис. 6. Варианты монтажа ГОК «Solar LED-S»: а – наружный монтаж, СБИС установлен в бордюре; б – внутренний монтаж, СБИС установлен в помещении



Рис. 7. ГОК «Solar LED-S» в помещении «Комната переговоров» (процесс монтажа). СБИС размещён в пространстве технического этажа, расположенного над потолком этого помещения под кровлей (внутреннее исполнение)

Рис. 8. Помещение «Комната переговоров». Естественная освещённость при высокой облачности неба – 400 лк. При солнечной погоде предусмотрено регулирование естественного светового потока с помощью диммеров, которые позволяют не только регулировать естественный световой поток, но и выполнять полное отключение естественного освещения при проведении видеопрезентаций



Каскадная конструкция ГОК обладает универсальностью в отношении способа и места монтажа. Помимо наружного исполнения возможны варианты и внутреннего монтажа, который при некоторых обстоятельствах или архитектурных особенностях сооружения может быть предпочтительней (рис. 6, б), как в случае

применения ГОК «Solar LED-S», приведённом ниже.

роны, оптимальный выбор вторичной оптики для нижних ступеней оптического каскада разной протяжённости позволяет минимизировать ценовые показатели ГОК и предоставляет возможности управлять светораспределением в плоскости рассеивателя, влияя на КСС ГОК.

Критичность выбора материала отражающего покрытия ПТС демонстрирует зависимость световых потерь от длины тракта передачи света при разных коэффициентах отражения покрытия (рис. 5). Зависимость имеет классический вид, демонстрирующий динамику роста световых потерь по мере распространения света по протяжённому ПТС (в результате многократных отражений) при заданном коэффициенте отражения покрытия. Для протяжённых ПТС удовлетворительные показатели имеют покрытия с коэффициентом отражения 99,0 % и выше.

Особенности монтажа ГОК «Solar LED-S»

Новая концепция каскадного построения оптического тракта ГОК [3, 4] успешно решает проблему эксплуатационного порядка, устраняя недостаток, связанный с большой высотой монтажа ГОК. Решение проблемы заключается в расположении СБИС

и элементов управления снаружи, над кровлей сооружения (наружное исполнение) (рис. 6, а). При этом СБИС размещают внутри бордюра, установленного на кровле. Все элементы, расположенные внутри бордюра, защищены сверху бордюрным флешингом, обеспечивающим надёжную гидроизоляцию. В каждой из четырёх стенок бордюра выполнены сервисные лючки, которые обеспечивают доступ к монтажной панели СБИС для выполнения ремонтных и сервисных работ. (Комплектность изделий из номенклатуры ППЛ ГОК «Solar LED-S» приведена в табл. 2.) Управляемый СБИС имеет блочную конструкцию, обеспечивающую обслуживание без применения специальных инструментов. Строительно-монтажная конструкция выполнена таким образом, что между трубой ПТС верхней ступени каскада, бордюром, флешингом и панелью образован свободный объём, достаточный для размещения СДМ и производства работ по их обслуживанию. При этом обслуживающий персонал находится на поверхности кровли здания на уровне сервисных лючков. В рабочем состоянии последние закрываются герметичными дверцами. Наружное строительно-монтажное исполнение минимизирует затраты на монтажные, сервисные и ремонтные работы при обслуживании ГОК.

применения ГОК «Solar LED-S», приведённом ниже.

Применение ГОК «Solar LED-S»

В 2017–2018 гг. ГОК «Solar LED-S» получил первое применение в помещении «Комната переговоров» штаб-квартиры ТЦ «ИКЕА Белая Дача» (рис. 7–9), где были установлены две модификации II – 530/СБИС/740, по табл. 2, снабжённые САУ и датчиком постоянной освещённости (рис. 8), установленным на потолке между рассеивателями. При этом была реализована полностью автономная система питания осветительной установки посредством солнечных батарей (рис. 9).

Заключение

Разработанная номенклатура ППЛ ГОК «Solar LED-S» носит инновационный характер, предназначена для создания высокоэффективных ССО и, благодаря универсальности, применима в объектах практически любых архитектурных решений. Первый опыт применения ГОК «Solar LED-S» в пилотной ССО помещения «Комната переговоров» штаб-квартиры ТЦ «ИКЕА Белая Дача» положил начало их внедрению в практику освещения.

Авторы выражают благодарность П.О. Егорьеву за профессионально выполненные монтажные, пуско-наладочные работы и предоставленные фотографии объекта (рис. 7–9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: концепция, состояние проблемы, опыт применения // Светотехника.– 2018.– № 1. – С. 28–34.
2. Гибридная система освещения Solatube® M74 Smart LED / СОЛАР: магиче-

Рис. 9. Вид на крышу. Вводный узел ГОК и солнечные панели



ский свет. [Сайт компании]. Сор. 2004–2015. URL: <http://www.solatube.ru/katalog-modeley-solatube-i-solar-star/zenitnyie-fonari-novogo-pokoleniya-sistemyi-solnechnogo-osveshheniya-solatube-m74-skyvault/> (дата обращения: 12.02.2018).

3. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н. Ресурсосберегающий гибридный светильник для совмещённого освещения / ПМ № 170978 РФ. 2017. Бюл. № 14.

4. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В. Ресурсосберегающий гибридный светильник / ПМ № 180084 РФ. 2018. Бюл. № 16.

5. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н. Технология Solatube®: перспективы в архитектуре и строительстве в России // Светотехника.— 2016.— № 1. — С. 35–40.

6. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95*».



Овчаров Александр Тимофеевич, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1966 г. Томский институт радиоэлектроники и электронной техники. Профессор кафедры «Архитектурное проектирование» ТГАСУ. Директор ООО «Световые системы». Действительный член МАНЭБ. Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering».



Селянин Юрий Николаевич, инженер. Окончил в 1973 г. Таганрогский радиотехнический институт, в 1981 г. – Военную академию им. Ф.Э. Дзержинского и в 1992 г. – адъюнктуру при ней. Генеральный директор ООО «СОЛАР», официального дистрибьютора технологии «Solatube® Daylighting Systems» на территории РФ, Беларуси и Казахстана.



Анцупов Ярослав Валерьевич, магистр электроэнергетики и электротехники. Окончил в 2017 г. Томский политехнический университет (ТПУ). Инженер ООО «Световые системы».

Аспирант 1-го года обучения НИ «ТПУ»

Обращения в министерства и ведомства

СВЕТО ТЕХНИКА

LIGHT & ENGINEERING

От редакции

Учитывая огромное значение состояния освещения школ для здоровья молодого поколения, редакция направила всем губернаторам регионов России письмо от Отраслевого НТС «Светотехника», журнала «Светотехника» и офтальмологической клиники МОНИКИ с просьбой обратить особое внимание на приведение в соответствие с действующими нормами освещение школ в период ремонта зданий и подготовки к новому учебному году. Ниже публикуем текст этого письма.

Для здоровья школьников имеет исключительно важное значение состояние электрического освещения школьных зданий. Существующее освещение, находящееся в крайне плохом состоянии (в 80 % школ уровень освещённости на партах составляет не более половины от нормируемых значений), школьные доски в абсолютном большинстве классов вообще не освещены, коэффициент пульсации светового потока ламп во всех школах составляет вместо нормируемых 10 % в десятки раз большие значения из-за неправильного выполнения электрической сети (отсутствия расфазировки ламп и светильников).

В результате количество школьников с пониженной остротой зрения и болезнью глаукомой превышает 25 % от числа выпускников школ.

В связи с недопустимостью такого положения и для скорейшего его исправления убедительно просим Вас усилить контроль в процессе летнего ремонта и подготовки школ к новому учебному году за строгим выполнением норм освещения школ.

– для квалифицированного контроля за выполнением нормативных требований (400лк. на партах, 500лк. на школьной доске, пульсация светового потока не более 10 %) просим Вас ввести в состав комиссий по приёмке зданий школ в процессе ремонта: инженера-электрика из службы сетей наружного освещения города и учителя физики этой школы, а также одного из родителей учащихся.

Надеемся, что важность поднятого нами вопроса настолько велика, что найдёт отклик в руководимом Вами регионе.