

# Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: качество и технико-экономическое обоснование применения

А.Т. ОВЧАРОВ<sup>1, 2</sup>, Ю.Н. СЕЛЯНИН<sup>3</sup>, Я.В. АНЦУПОВ<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ), Томск

<sup>2</sup> ООО «Световые системы», Томск

<sup>3</sup> ООО «Солар», Краснодар

E-mail: oat\_08@mail.ru

## Аннотация

Предложен концептуальный подход к построению гибридных осветительных комплексов (ГОК) для систем совмещённого освещения (ССО), отличающихся высокой энергоэффективностью и комфортностью создаваемой световой среды. Приведено сравнение по энергоэффективности альтернативных систем естественного света на примере реализованного проекта ССО в Семейном Торговом Центре «МЕГА-Адыгея».

При этом выполнен сравнительный анализ ССО на базе ГОК и типовых светопроемов верхнего естественного освещения (зенитные фонари, прозрачная кровля). Показаны лучшие свето- и теплотехнические характеристики и преимущество ГОК как в тёплый период года (малые теплопритоки от солнечной радиации), так и в холодный (малые тепловые потери). Обосновано, что затраты на приобретение и установку ГОК в здании являются капитализацией средств, которые ранее направлялись на оплату услуг энергоснабжения. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций в ГОК для указанного торгового предприятия – менее 3-х лет.

**Ключевые слова:** система совмещённого освещения, гибридный осветительный комплекс, светодиоды, система автоматического управления, спектр излучения, теплопритоки от солнечной радиации, теплопотери, дисконтированный срок окупаемости, светопроемы, зенитные фонари, прозрачная кровля.

## Введение

Нарастающий интерес потребителей к инновационным системам совмещённого освещения (ССО) на базе

гибридных осветительных комплексов (ГОК) как эффективному техническому средству достижения в помещениях объекта световой среды высокого качества при одновременно кардинальном снижении энергопотребления на освещение побудил авторов провести сравнение характеристик ССО на базе ГОК и типовых светопроемов верхнего освещения и разработать оценочный вариант технико-экономического обоснования (ТЭО) применения ГОК как альтернативы указанным традиционным светопроемам (зенитные фонари, прозрачная кровля). Эти обе задачи были решены на примере пилотного проекта ССО, реализованного в 2015–2016 гг. в Семейном Торговом Центре (СТЦ) «МЕГА-Адыгея» [1] (далее – СТЦ).

## Качество световой среды

ССО на базе ГОК, скомбинированная с системой автоматического управления (САУ), комплексно решает задачи создания световой среды высокого качества и систем освещения высокой энергоэффективности [1]. Наличие в ССО естественного света – определяющий фактор создания комфортной световой среды. Использование в осветительных системах

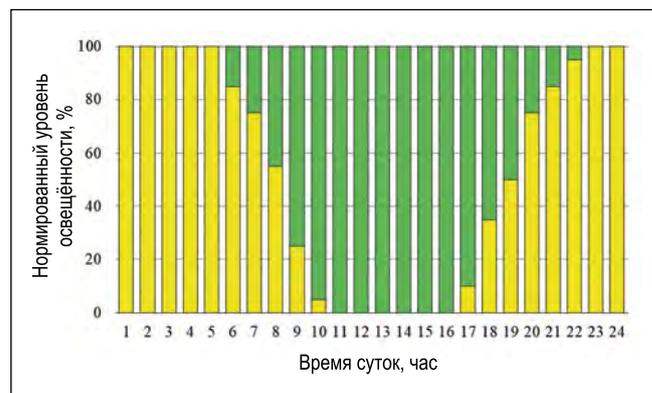
естественного света в сочетании со светодиодами высокой энергоэффективности и САУ искусственным компонентом обеспечивает превосходство ССО над традиционными решениями осветительных систем в плане экономичности.

Отличительной особенностью ССО является стабильность характеристик световой среды при непрерывно меняющемся количественном соотношении её естественного и искусственного компонентов. Регулируемый системой автоматического управления (САУ) колебательный ритм переходов между режимами естественного, смешанного и искусственного света задаёт программируемую динамику количественных соотношений между компонентами ГОК при постоянстве общего уровня освещения (рис. 1).

Развитие ССО протекает синхронно с активным внедрением полых трубчатых световодов (ПТС) в системы естественного освещения и светодиодов в системы общего искусственного освещения. Широкое проникновение световодов в область естественного освещения обусловлено прогрессом в создании материалов с рекордными значениями коэффициента отражения (99,7 %) во всей видимой области спектра. Такой технологический прорыв в области отражающих материалов способствует передаче естественного света на большие расстояния с очень малыми потерями и спектральными искажениями (рис. 2) [2].

Ключевым фактором развития ССО явилось бурное развитие и проникновение в сферу общего освещения светодиодов благодаря их: повышенной световой отдаче – до 210 лм/Вт [3] и более; большей управляемости по световому потоку – от 0–10 % до 100 %; близости относительного спектра излучения светодиодов нового поколения к солнечному (рис. 3) [4, 5],

Рис. 1. Принцип работы системы автоматического управления:  
■ – уровень искусственной освещённости, %;  
■ – уровень естественной освещённости, %

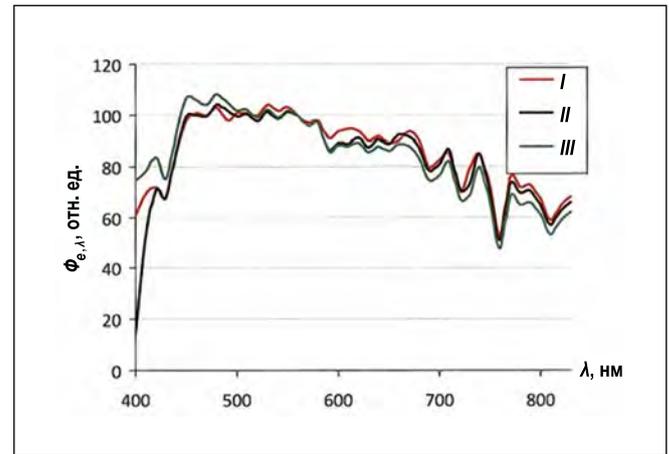


что способствует благоприятному зрительному восприятию совмещённого освещения.

В сумме это стало веским аргументом для применения светодиодов как основы искусственного компонента ГОК. Указанная выше высокая управляемость светодиодами открывает перспективы использования САУ в ССО и сближения естественного и искусственного освещения, в частности, по таким показателям световой среды, как качество цветопередачи и биологическая безопасность. Плавное изменение интенсивности искусственной компоненты смешанного освещения в зависимости от уровня естественной освещённости в помещении делает практически незаметными для глаза переходы между режимами естественного, смешанного и искусственного света.

Принципиальным фактором комфортного зрительного восприятия совмещённого освещения является то обстоятельство, что аддитивное смешение световых излучений происходит в полости оптического тракта ГОК (оптического тракта ПТС). В результате излучение ГОК на уровне рассеивателя, попадающее в поле зрения, воспринимается как однородный белый свет, обладающий свойствами сов-

Рис. 2. Относительные спектры: стандартного источника света «D55» (I); естественного света на выходе оптического канала ПТС «Solatube®» (II) и естественного света на входе ПТС (III)



мещённого излучения. Стабильность светового потока ГОК на уровне рассеивателя обеспечивает стабильность его пространственного светораспределения. Стоит также отметить возможность диммирования обоих компонентов (естественного [6] и искусственного) светового потока ГОК и практически полное отсутствие его пульсации, а также то, что ГОК в ССО помещений способны формировать световую среду высокого качества. Авторы полагают, что ограничения и запреты на совмещённое освещение в ряде нормативных документов [7, 8] могут быть с помощью ГОК для ССО преодолены, что открывает перспек-

тивы для комфортного и физиологически безопасного освещения высокой энергетической эффективности и позволит применять ГОК в системах общего освещения объектов с высокими требованиями к качеству световой среды (детские дошкольные и образовательные учреждения, больницы и др.) без ограничений.

#### Технико-экономическое обоснование применения

Отправная точка в принятии решения о реализации инвестиционных проектов – ТЭО, и потому в данном случае актуальны оценки экономиче-

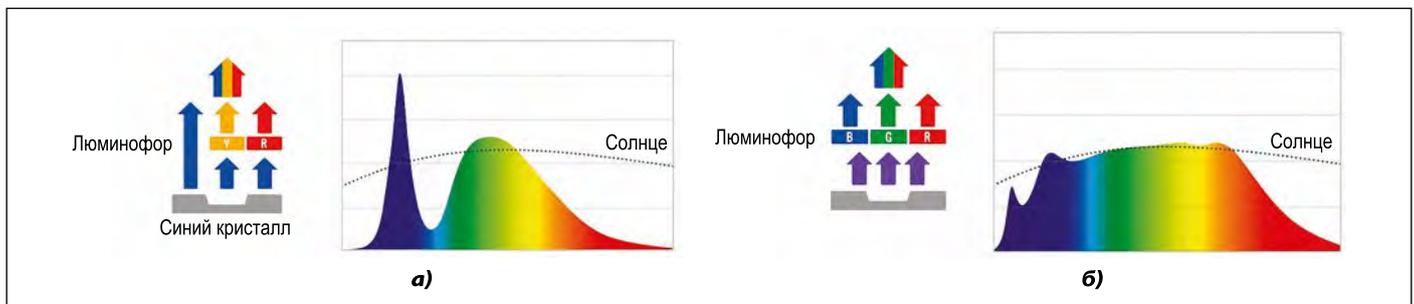


Рис. 3. Относительные спектры излучения и принципы формирования излучения светодиодов первого (а) и нового (б) поколений. Светодиоды нового поколения – производства *Toshiba Materials Co. LTD* (технология «TRI-R») [4] и *Seoul Semiconductor* (серия «SunLike») [5]



Рис. 4. Вид зала № 1 после реконструкции осветительной установки

Рис. 5. Типовое верхнее естественное освещение зала № 2: прозрачная кровля и зенитные фонари



ской эффективности и срока окупаемости инвестиций в построение инновационных ССО на базе ГОК.

### Объекты сравнения

Технико-экономическое сравнение проводилось для двух залов СТП: зал № 1, в котором реализован пилотный проект ССО (рис. 4), и зал № 2, с типовыми светопроёмами верхнего освещения (рис. 5). Сравнение касалось теплоступлений от солнечной радиации и теплопотерь через светопроёмы при прочих равных условиях функционирования залов.

### Сравнительная характеристика световой среды залов

Результаты измерений распределения освещённости в обоих залах СТП, выполненные 14.04.2017, достаточно полно характеризуют световую среду. В зале № 1, оснащённом ГОК: равномерность достаточно высока ( $E_{\min} / E_{\text{ср}} \geq 0,4$ ); уровень освещения соответствует требованиям технического задания ( $E_{\text{ср}} = 493$  лк), независимо от погодных условий, а световую среду можно считать комфортной, без слепящей яркости верхнего освещения. В зале № 2 картина прямо противоположная: высочайшие уровни слепящей яркости прямого солнечного света и неравномерности распределения освещённости; освещённость в полдень в солнечном пятне на полу зала – 23100 лк, а за границей солнечного пятна – 3800 лк (соотношение 6:1); яркое солнечное пятно, слепящее и блуждающее по залу в течение дня, и значительное превышение нормы температурного режима из-за интенсивных теплопритоков от солнечной радиации даже при полной мощности системы кондиционирования создают дискомфорт для покупателей и работ-

ников СТП, причём для устранения этого дискомфорта в летние месяцы светопроёмы верхнего естественного освещения закрываются полупрозрачным материалом.

### Метод расчёта теплопритоков

Исходные условия: 1) осветительная установка в зале № 1 – на базе ГОК, конструкция и параметры которых описаны ранее [1]; 2) естественное освещение зала № 2 – посредством типовых традиционных светопроёмов (зенитные фонари и прозрачная кровля); 3) площади обоих залов одинаковы и равны площади зала, для которого выполнен проект ССО на базе ГОК,  $S_{\text{п}} = 1920$  м<sup>2</sup>; 4) нормированное значение горизонтальной освещённости для зала № 1  $E_{\text{г}}$ , по техническому заданию, – не менее 300 лк; 5) расчётное значение КЕО для верхнего освещения обоих помещений  $e_{\text{п}} = 0,03$  (3 %); 6) расчёты удельной мощности теплопритоков проводятся в программе «Cold Balance Pro»; 7) теплопритоки идентифицируются как избыточное поступление тепла от солнечной радиации, которое для восстановления теплового баланса помещений ассимилируется системами вентиляции и кондиционирования; 8) влияние системы вентиляции на тепловой баланс обоих залов принимается одинаковым, и потому в расчётах не учитывается.

Несмотря на то, что КЕО в торговых залах не нормируется [8], его расчётное значение – по известным рекомендациям [9] – было использовано для определения площади остекления типовых светопроёмов.

Расчётная площадь остекления светопроёмов верхнего освещения зала № 2  $S_{\text{ф}}$  при заданных исходных условиях составляет около 400 м<sup>2</sup>. Расчёт  $S_{\text{ф}}$  выполнялся по формуле [9]

$$\frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{п}}} = \frac{e_{\text{п}} \cdot k_3 \cdot \eta_{\text{ф}}}{\tau_0 \cdot r_2 \cdot k_{\text{ф}}},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса;  $\eta_{\text{ф}}$  – световая характеристика;  $\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4$  – общий коэффициент светопропускания светопроёма, где  $\tau_1$  – коэффициент светопропускания материала остекления,  $\tau_2$  – коэффициент вида переплёта,  $\tau_3$  – коэффициент несущей конструкции покрытий,  $\tau_4$  – коэффициент солнцезащитного устройства;  $r_2$  – коэффициент, учитывающий повышение  $e_{\text{п}}$  при верхнем освещении;  $k_{\text{ф}}$  – коэффициент, учитывающий свет, отражаемый от поверхностей фонаря, считая  $k_3 = 1,5$ ;  $\eta_{\text{ф}} = 3,1$ ;  $\tau_0 = 0,576$  ( $\tau_1 = 0,8$ ;  $\tau_2 = 0,8$ ;  $\tau_3 = 0,9$ ;  $\tau_4 = 1$ );  $r_2 = 1,15$  и  $k_{\text{ф}} = 1$ .

Площадь светопроёмов верхнего естественного освещения зала № 1 представлена суммарной площадью поперечного сечения 18-ти ПТС марки «Solatube® M74», равной  $18 \cdot 0,43$  м<sup>2</sup> = 7,74 м<sup>2</sup>, где 0,43 м<sup>2</sup> – площадь сечения одного ПТС.

### Результаты расчёта теплопритоков

Согласно расчётным графикам (рис. 6), в самый жаркий час (в июле) удельные мощности теплопритоков составляют 0,4 Вт/м<sup>2</sup> (зал № 1) и 69 Вт/м<sup>2</sup> (зал № 2), и, соответственно, полные мощности теплопритоков – 0,8 и 132 кВт. Мощность системы кондиционирования должна быть на 15–20 % больше мощности суммарных теплопритоков в помещение [10]. Соответственно, мощность системы кондиционирования, предназначенная для ассимиляции избыточного притока тепла от солнечной радиации, в зале № 1 составляет около 1 кВт, а в зале № 2 – около 158 кВт (соотношение этих значений – 1:158).

Из рис. 7, на котором приведены расчётные графики усреднённых месячных значений энергии теплопритоков от солнечной радиации для обоих залов в течение тёплого периода года, когда наружная температура превышает 22 °С (нормальную комнатную температуру) и обуславливает теплоприток избыточной энергии. Для Краснодара это период с мая по сентябрь. На основании расчётных данных определено среднее значение полного количества тепловой энер-

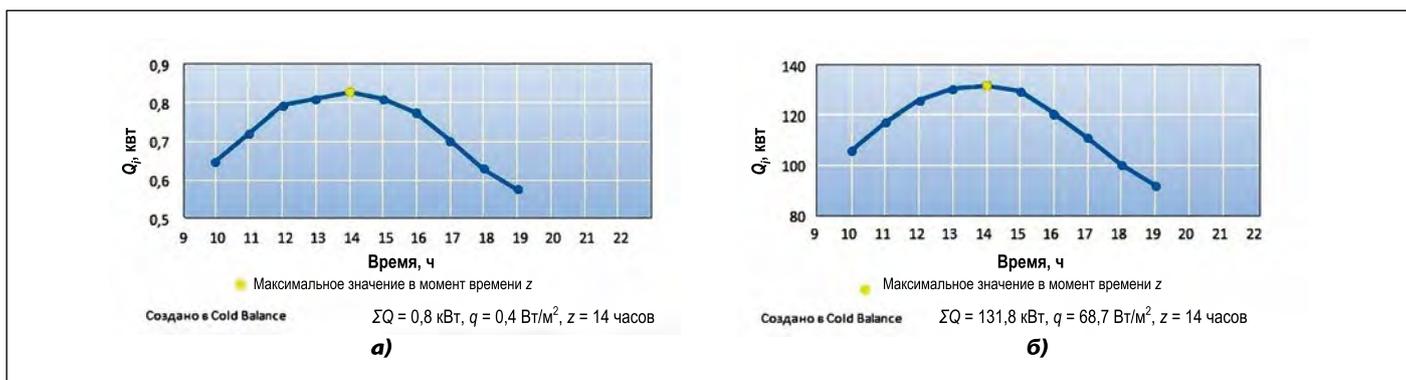


Рис. 6. Расчётные графики теплоступлений от солнечной радиации (мощность теплопритоков)  $Q_i$  в течение рабочего дня СТЦ (для июля): а – зал № 1; б – зал № 2

гии теплопритока в течение тёплого периода года, которое используется для расчёта дополнительной мощности кондиционирования и эксплуатационных затрат для поддержания оптимального микроклимата в помещении. Соответственно, для каждого зала получены следующие суммарные усреднённые значения избыточной полной энергии теплопритоков в год: 0,9 МВт·ч/год (зал № 1) и 149 МВт·ч/год (зал № 2). При этом экономия эксплуатационных расходов (потребление электроэнергии на ассимиляцию избыточных теплопритоков при 9-часовом режиме работы СТЦ (без выходных дней) составит 177 МВт·ч/год, что при условно принятом тарифе на электроэнергию в 6 руб./кВт·ч соответствует годовой экономии средств на оплату электричества, потребляемого системой кондиционирования, в 1,07 млн руб.

### Метод расчёта теплопотерь

В холодные периоды года индикатором энергетической эффективно-

сти сравниваемых светопроёмов залов СТЦ служат тепловые потери через светопроёмы  $Q_{\text{пот}}$ . Как известно [11], отопительный период – период года, когда устойчивая среднесуточная температура наружного воздуха меньше или равна  $+8^\circ\text{C}$ . Для Краснодарского края он равен 149 суткам (ноябрь – март) [12]. Расчёт  $Q_{\text{пот}}$  производился по формуле [13]

$$Q_{\text{пот}} = \frac{A_o \cdot \Delta t}{R_i},$$

где  $A_o$  – площадь покрытия (кровли) зала, принятая равной  $S_{\text{п}}$  ( $1920 \text{ м}^2$ ),  $\Delta t$  – разность между внутренней ( $22^\circ\text{C}$ ) и наружной температурами,  $R_i$  – расчётное приведённое сопротивление теплопередаче кровли:

$$R_i = \frac{R_o \cdot A_o}{A_o + n \cdot A_i \cdot K_{oi}}, \quad (1)$$

где  $R_o$  – сопротивление теплопередаче однородного покрытия (кровли),  $n$  – количество светопроёмов верх-

него освещения,  $A_i$  – площадь одного светопроёма верхнего освещения,  $K_{oi}$  – коэффициент светопроёма верхнего освещения.

Значения величин, входящих в формулу (1), для залов СТЦ приведены в табл. 1.

### Результаты расчёта теплопотерь

Результаты расчётов потерь тепловой энергии и дополнительных затрат на компенсацию этих потерь приведены в табл. 2. В расчётах тепловых потерь через светопроёмы принято считать, что системы отопления работают с полной нагрузкой 12 ч в сутки. В нерабочее время нагрузка автоматически снижается системой диспетчеризации и управления зданием в целях экономии.

Согласно расчётам, сопротивление теплопередаче через ПТС втрое больше, чем через типовые светопроёмы, что обуславливает резкое снижение теплопотерь при оборудовании помещений системами с ПТС для верхне-

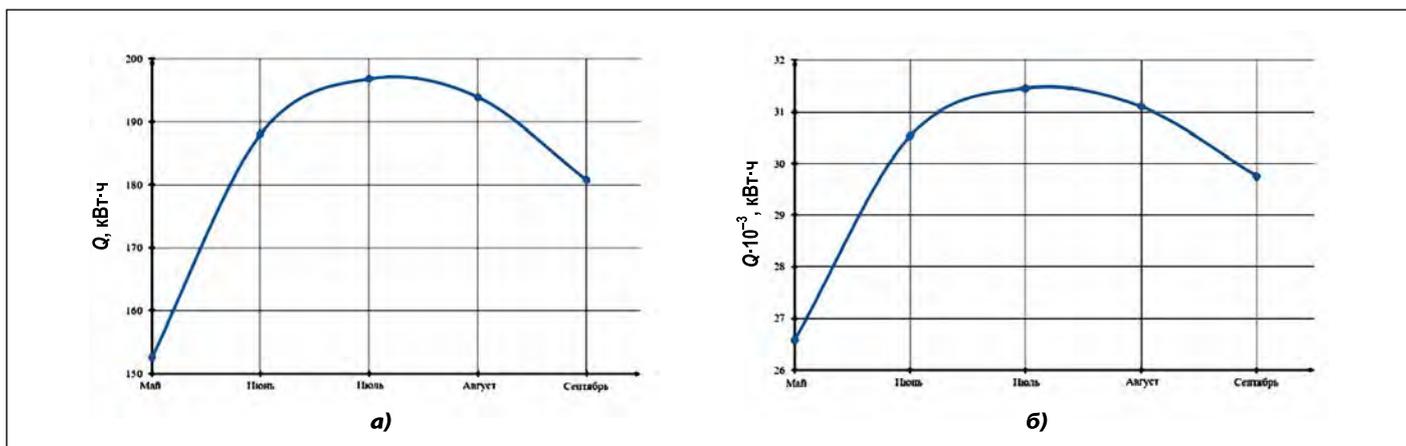


Рис. 7. Расчётные графики усреднённой помесечно энергии теплопритоков от солнечной радиации  $Q$  в течение периода май–сентябрь: а – зал № 1; б – зал № 2

Значения величин, входящих в формулу (1)

Таблица 1

Параметр	Значения параметра	
	Зал № 1	Зал № 2
$R_o, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	4,159	
$n, \text{шт.}$	18	1
$A_i, \text{м}^2$	$A_1 = 0,43$	$A_2 = 400$
$K_{oi}$	$K_{o1} = 32,874$	$K_{o2} = 14$

го естественного освещения. Для залов СТС применение ПТС в системе естественного освещения снижает тепловые потери в 170 раз и создаёт экономию порядка 22 тыс. руб. за 149 суток отопительного сезона.

**Оценка эффективности систем совмещённого освещения на базе ГОК**

Общая годовая экономия электроэнергии от внедрения естественного верхнего освещения на базе ГОК взамен типовых решений на примере одного из залов СТС составляет порядка 190 МВт·ч (или в денежном выражении – 1,1 млн руб./год).

Оценка эффективности инвестиций в инновационное освещение на основе ГОК на фоне типовых решений предполагает расчёт срока окупаемости дополнительных капитальных финансовых вложений. При этом целесообразно определять дисконтированный срок окупаемости, так как накопление денежных средств от доходов в результате экономии электричества будет происходить по дисконтной ставке минимум в 20 % в год (рост тарифов на электроэнергию). Принятые условия позволяют применять для расчёта ди-

сcountированного срока окупаемости выражение

$$\frac{K_1}{\text{Э} \cdot \left[ \sum_{T=1}^n (1+E)^T \right]} \approx K_2,$$

где  $T$  – дисконтированный срок окупаемости инвестиций в инновационный продукт, год;  $K_i$  – капитальные вложения по сравниваемым вариантам, руб.;  $\text{Э}$  – эффект экономии энергоресурсов, руб.;  $E$  – ставка дисконтирования (в данном расчёте принята равной 0,2);  $n$  – количество расчётных финансовых периодов.

Капитальные затраты на строительство осветительной системы зала № 2 предусматривают кроме затрат на устройство прозрачной кровли дополнительные затраты на создание осветительной установки искусственного освещения (по аналогии с ГОК), которая является неотъемлемой частью полной системы освещения зала (рис. 5). При этом принято считать, что основные компоненты осветительных систем искусственного освещения для обоих залов и САУ искусственным светом представляют собой полные аналоги по экономическим и техническим параметрам. Согласно [14], капитальные затраты на устрой-

ство прозрачной кровли с расчётными габаритами для зала № 2 составляют 3,3 млн руб. Сметная стоимость строительства осветительной установки искусственного света зала № 2 при заданных условиях (стоимость строительно-монтажных работ и осветительной техники со светодиодами) равна 1,25 млн руб. Таким образом, полная стоимость строительства осветительной системы (естественное + искусственное освещение) в зале № 2 составляет примерно 4,55 млн руб. А капитальные затраты на строительство ССО на базе ГОК, составляют около 7,56 млн руб, что обуславливает расчётный срок окупаемости менее 3-х лет.

Учитывая, что ГОК – перспективный инновационный продукт со сроком службы более 20 лет и гарантийным сроком 10 лет, экономически такой срок окупаемости вполне комфортен.

К сожалению, в расчётах не учтены дополнительные существенные экономические факторы, влияющие на стоимость объекта на стадии строительства: 1) требуемая подключаемая мощность питающих сетей (и соответствующий денежный эквивалент); 2) стоимость климатической техники, которая напрямую коррелирует с её мощностью. При этом практикой применения систем кондиционирования установлено, что стоимость 1 кВт мощности охлаждения в сметной стоимости строительства системы кондиционирования (оборудование, материалы, строительно-монтажные работы) равна \$800. С учётом этого обстоятельства, за счёт экономии в системе кондиционирования (в летнее время экономится 158 кВт мощности), окупаемость проекта ССО достижима уже на стадии проектирования.

Таблица 2

Результаты расчётов потерь тепловой энергии через светопроёмы верхнего освещения

Параметр	Значения параметра	
	Зал № 1	Зал № 2
$R_i, \text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	$R_1 = 3,67$	$R_2 = 1,07$
Теплопотери за отопительный сезон*, Гкал	0,07	11,7
Дополнительные затраты отопительной системы для компенсации теплопотерь**, руб.	130	22500

Примечания:

\* теплопотери за отопительный сезон идентифицируются как дополнительная тепловая энергия, которую необходимо выработать для компенсации тепловых потерь через светопроёмы;

\*\* тариф на тепловую энергию 1920 руб./Гкал.

Стоит также отметить и другие плюсы использования ГОК как альтернативы типовым решениям для светопроёмов. Они не имеют прямого денежного выражения, но их роль существенна для торговой деятельности, в частности, СТЦ и может быть определяющей в психологии восприятия посетителями качества и привлекательности товаров, удобства и комфорта торговых залов, что может способствовать росту торговых оборотов СТЦ (и торговых центров вообще). Международная практика доказывает, что комфортное естественное освещение залов торговых центров увеличивает товарооборот на 40 % [15].

### Заключение

Основа концепции построения ГОК для ССО, отличающихся высокой энергоэффективностью и комфортностью создаваемой световой среды, – интеграция трёх компонентов совмещённого освещения: система передачи естественного света (базовый компонент); система со светодиодами для энергоэффективного искусственного освещения и САУ (ключевой компонент). Базовый компонент – ПТС – обеспечивает наличие естественной световой составляющей, а блок искусственного света на основе светодиодов нового поколения равноценно её дополняет. САУ благодаря непрерывному и плавному светорегулированию ГОК делает незаметной для глаз динамику функционирования компонентов ГОК.

Проведённое сравнение ССО на базе ГОК с типовыми светопроёмами верхнего естественного освещения показало лучшие свето- и теплотехнические характеристики ГОК и бесспорное преимущество их применения в качестве систем общего освещения. Это позволяет утверждать, что затраты на приобретение и установку ГОК в зданиях являются капитализацией средств, ранее направленных на оплату услуг энергоснабжения. Преимущество ССО на базе ГОК перед типовыми светопроёмами:

- соотношение площадей светопроёмов при заданном уровне освещения – 1: 52;
- соотношение мощностей кондиционирования торговых залов – 1: 158;
- соотношение тепловых потерь – 1: 170;

• дисконтированный срок окупаемости инвестиций в ГОК на фоне строительства типовых светопроёмов для СТЦ – менее 3-х лет, но с учётом экономии на приобретение климатической техники инвестиции уже окупаются на этапе проектирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анципов Я.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещённого освещения: концепция, состояние проблемы, опыт применения // Светотехника.– 2018.– № 1. – С.
2. Заключение № 12113–2145/71 от 11.02.2014 ФГБУН ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН «О соответствии спектрального состава света, формируемого системой солнечного освещения – ССО (оптической световодной осветительной системой) «Solatube Daylighting Systems», спектральному составу естественного дневного освещения».
3. Acrich MJT5630D+ (от Seoul Semiconductor) со световой отдачей до 210 лм/Вт – оптимальный выбор для разработчиков осветительных приборов со светодиодами // СЭА Электроникс. URL: <http://www.searu.com/news/view3567.html> (дата обращения: 15.09.2017).
4. TRI-R Technology. Cop.2015 URL: <http://trir-pj.com/en/technology/> (дата обращения: 15.09.2017).
5. Seoul Semiconductor. «SunLike» Series LEDs. Cop. 2017. URL: <http://www.seoulsemicon.com/en/technology/Sunlike/> (дата обращения: 15.09.2017).
6. Solatube® Daylighting Systems. «Daylight Dimmer Integration Guide». Cop. 2017. URL: [http://www.solatube.com/sites/default/files/field/files/tech\\_resources/solution-center-for-integrated-lighting-applications-daylight-dimmer-integration-guide.pdf](http://www.solatube.com/sites/default/files/field/files/tech_resources/solution-center-for-integrated-lighting-applications-daylight-dimmer-integration-guide.pdf) (дата обращения: 15.09.2017).
7. СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования».
8. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
9. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006.– 972 с.
10. Расчёт теплопритоков в помещениях. URL: <https://www.promventholod.ru/tekhnicheskaya-biblioteka/raschet-teploptokov-v-pomeshcheniya.html/> (дата обращения: 15.09.2017).
11. Постановление Правительства РФ № 857 от 27.08.2012.

12. СНиП 23–01–99\* «Строительная климатология».

13. Соловьёв А.К., Туснина О.А. Сравнительный теплотехнический расчёт систем верхнего естественного освещения (зенитные фонари и полые трубчатые световоды) // Инженерно-строительный журнал.– 2014.– № 2. – С. 24–35.

14. Светопрозрачная кровля от производителя. URL: <http://osteklenie.ehg.ru/alyuminievye-okonnye%20konstrukcii/svetoprozrachnaya-krovlya/> (дата обращения: 15.09.2017).

15. Heschong Mahone Group (HMG). «Skylighting and Retail Sales» / Detailed Report for Pacific Gas and Electric Company, 1999. – Fair Oaks, CA. URL: <http://www.h-m-g.com/> (дата обращения: 15.09.2017).



**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 году Таганрогский радиотехнический институт, в 1981 году – Военную Академию им. Ф.Э.Дзержинского, в 1992 году – адъюнктуру при этой академии. Генеральный директор ООО «СОЛАР», официального представителя технологии Solatube® Daylighting Systems на территории ЕАЭС



**Анципов 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»