

УДК 628.921

А. В. Палагин, аспирант
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
А. И. Стерхов, генеральный директор
ООО «Соларжи»
Е. В. Корепанов, кандидат технических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ ПО ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ

Проведено сравнение существующих систем естественного освещения, а также сведения об особенностях их функционирования в контексте взаимодействия с другими подсистемами здания, исполнения действующего строительного законодательства, исполнения санитарных норм, требований энерго- и ресурсосбережения. По итогам приведенных материалов сделан вывод, что наиболее перспективным решением задачи освещения является сочетание нескольких технологий.

Ключевые слова: системы естественного освещения, взаимодействие систем, энергосбережение, ресурсосбережение, световоды.

Современное строительство немыслимо без естественного освещения помещений. Обеспечение естественным светом требуют санитарно-гигиенические нормы, т. к. он благоприятен для человека [1–3]. На сегодняшний день используются следующие технологии систем естественного освещения (СЕО):

1. Окна, широко применяемые в строительстве, – светопрозрачные конструкции. Окна являются как средством обеспечения естественного освещения в помещениях, так и ограждающими конструкциями, обеспечивающими комфортный микроклимат, что достигается их конструктивным решением [4–8]. Отличительные особенности окон как источника естественного освещения:

- стекло (стеклопакет) в переплетах из различных материалов;
- проемы вертикальной или наклонной ориентации;
- наиболее известный тип СЕО общего назначения.

2. Зенитные фонари, получившие распространение в производственных цехах, торговых центрах, спортивных сооружениях и прочих крупных одноэтажных зданиях. Отличительные особенности зенитных фонарей:

- стекло (стеклопакет) или светопрозрачный пластик в переплетах из различных материалов;
- проемы горизонтальной ориентации;
- применение в производственных зданиях (в основном).

3. Полые трубчатые световоды представляют собой зенитный фонарь небольшой площади со светопроводной шахтой [9–10]. Отличительные особенности трубчатых световодов:

- точечный зенитный фонарь;
- круглое сечение (до 800 мм в диаметре);
- светопроводная шахта с зеркальным покрытием;
- применяются для любых типов зданий и помещений.

4. Оптоволоконные световоды состоят из проектора, оптических волокон и линзовых насадок и по-

зволяют обеспечить освещение от естественного или искусственного источника в любом малодоступном месте [11]. Отличительные особенности оптоволоконных световодов:

- естественный свет проводится в помещение по пучку оптоволоконка;
- свет в помещение передается по оптоволоконным пучкам;
- система позиционирования и концентрации света отслеживает положение солнца.

5. Световые шахты – решение, тесно связанное с общей планировочной организацией здания. Берет начало от домов атриумного типа. Отличительные особенности световых шахт:

- применяется с защитой от атмосферного воздействия;
- различные отделочные материалы стенок (зеркало, мозаика, штукатурка);
- окна в световую шахту увеличиваются по мере отдаления от крыши.

Каждое из приведенных решений естественного освещения имеет свои достоинства, недостатки, ограничения, обладает различным энергосберегающим потенциалом.

На основных стадиях жизни здание рассматривается как система, находящаяся в постоянном взаимодействии с внешней средой. Каждый компонент, каждая подсистема, входящая в систему «Здание», участвует в этом взаимодействии. Насколько эффективно «участие» отдельной подсистемы (в том числе естественное освещение) для здания в целом можно оценивать по следующим группам факторов:

1. Комфорт, здоровье и безопасность человека.
2. Ресурсоемкость, связанная с возведением здания.
3. Эксплуатационные характеристики.
4. Энергетические критерии.
5. Воздействие на окружающую среду (в том числе негативное).

К первой группе относятся факторы, отвечающие за создание требуемых условий комфортного и безопасного пребывания человека. С точки зрения фак-

торов, относящихся к первой группе, любые системы естественного освещения (будь то окна, зенитные фонари или световоды) – это способ повышения комфорта. Благоприятное влияние СЕО на психофизиологическое состояние человека обусловлено сразу несколькими причинами:

- сохранение естественной динамики освещения на протяжении всего светового дня;
- сохранение естественного спектрального состава освещения;
- возможность поддержки микроклимата;
- визуальный контакт с окружающей средой.

Для визуального комфорта важным критерием является равномерность освещения. Так, распределение освещенности, создаваемой окном, носит весьма неравномерный характер: человеку, рабочее место которого расположено вблизи проема (средняя освещенность 10 000–20 000 лк в солнечный день), при перемещении по зданию (средняя освещенность 150–200 лк) требуется время для адаптации к смене световой среды. В табл. 1 приведены сведения об особенностях решения задачи создания комфортной световой среды различными типами СЕО.

Ко второй группе (табл. 2) относятся факторы, критически важные на стадии возведения здания, монтажа и пуска-наладки систем.

Таблица 2. Капитальное возведение*

Критерий сравнения	Наименование светопрозрачной конструкции			
	Окно	Зенитные фонари	Полюе трубчатые световоды	Опволоконные световоды
Ограничения, налагаемые на глубину освещаемого помещения	<i>До 6 м</i>	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют
Ограничения, налагаемые на удаленность от крыши (последнего перекрытия)	Отсутствуют	<i>Только последний этаж</i>	До третьего сверху этажа (12 м)	До 15 м
Капитальные затраты (для создания требуемой освещенности)	<i>Значительные</i>	<i>Значительные</i>	Незначительные	<i>Значительные</i>
Наличие сложных механизмов и узлов	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют	<i>Система позиционирования. Система концентрации солнечного света</i>
Затраты на монтаж и пуско-наладку оборудования	<i>Значительные: возможна потребность в спецтехнике (вышки, леса); высокая стоимость</i>	<i>Значительные: потребность в спецтехнике; высокая стоимость</i>	Незначительные	<i>Значительные: очень высокая стоимость оборудования</i>
Дополнительные капитальные затраты на отопительную мощность	<i>Имеются, т. к. окна – источники теплопотерь</i>	<i>Имеются, т. к. фонари – источники теплопотерь</i>	Отсутствуют, т.к. теплопотерь нет	<i>Отсутствуют, т. к. теплопотерь нет</i>
Дополнительные капитальные затраты на холодоснабжение	<i>Имеются, т. к. окна – источники теплопритоков</i>	<i>Имеются, т. к. фонари – источники теплопотерь</i>	Отсутствуют, т.к. теплопритоки не проводятся в помещении	<i>Отсутствуют, т. к. теплопритоки не проводятся в помещении</i>

* Жирным курсивом выделены ячейки, значения в которых в полной мере не удовлетворяют требованиям.

Ключевыми здесь являются параметры стоимости оборудования и сроков монтажа. Кроме того, при монтаже систем существуют объективные ограничения в применении некоторых решений. Например, с помощью зенитного фонаря можно осветить только

Таблица 1. Комфорт и здоровье человека*

Критерий сравнения	Наименование светопрозрачной конструкции			
	Окно	Зенитные фонари	Полюе трубчатые световоды	Опволоконные световоды
Зависимость КЕО от облачности	Не зависит	Не зависит	Не зависит	<i>Зависит: концентраторы эффективны только в ясную погоду</i>
Возможность проветривания	Имеется	Имеется	<i>Отсутствует</i>	<i>Отсутствует</i>
Визуальный контакт с окружающей средой	Сохранен	<i>Отсутствует</i>	<i>Отсутствует</i>	<i>Отсутствует</i>
Равномерность освещения	<i>Неравномерное</i>	равномерное	равномерное	равномерное

* Жирным курсивом выделены ячейки, значения в которых в полной мере не удовлетворяют требованиям

последний этаж, а окнами нецелесообразно освещать помещения глубже 6 м. Применение некоторых СЕО влечет за собой дополнительные расходы уже на стадии монтажа, т. к. требуют дополнительного инженерного оснащения и инфраструктуры. Так, нали-

чие окон предполагает более металлоемкую систему отопления (больше площадь отопительных приборов, больше диаметр трубопроводов, более мощный теплогенератор) и холодоснабжения (более мощный кондиционер).

К третьей группе (табл. 3) относятся факторы, важность которых необходимо учитывать на стадии эксплуатации здания.

На этой стадии подсистемы здания находятся под негативным воздействием окружающей среды. Подсистема в данном случае должна сохранять начальные характеристики и при этом не должна дискредитировать смежные подсистемы при взаимодействии с ними (конденсат, образующийся на окнах, может повредить отделку; снег, осевший на зенитном фонаре, вызывает дополнительную нагрузку на конструкцию кровли). Критически важным фактором на ста-

дии эксплуатации является стоимость поддержания подсистемы в требуемом состоянии.

Следующая группа факторов оценки подсистемы (технологии), установленной в здание, – это критерии, связанные с энергоснабжением здания (табл. 4). При анализе эффективности работы подсистемы здесь оценивается взаимное влияние подсистем друг на друга с позиций затрат энергии. Так, решение задачи освещения с помощью окна влечет за собой увеличение расходов на отопление (т. к. теплопотери через окна составляют значительную часть теплопотерь здания) и холодоснабжение (теплопритоки вследствие инсоляции компенсируются затратами на кондиционирование).

К последней группе относятся факторы, отражающие влияние (в том числе негативное) здания в целом и его подсистем на окружающую среду (табл. 5).

Таблица 3. Критерии сравнения эксплуатационных характеристик здания*

Критерий сравнения	Наименование светопрозрачной конструкции			
	Окно	Зенитные фонари	Полые трубчатые световоды	Опволоконные световоды
Несанкционированный доступ в помещение	<i>Возможен</i>	<i>Возможен</i>	Невозможен	Невозможен
Техническое обслуживание	Не требуется, но возможна потребность в спецтехнике	<i>Требуется, но возможна потребность в спецтехнике</i>	Не требуется	<i>Требуется: обслуживание наружных узлов концентрации и позиционирования</i>
Выпадение конденсата на внутренних поверхностях	<i>Выпадает</i>	<i>Выпадает</i>	Не выпадает	Не выпадает
Снег	Не задерживается	<i>Задерживается</i>	Не задерживается	<i>Задерживается, может нанести повреждение</i>

* Жирным курсивом выделены ячейки, значения в которых в полной мере не удовлетворяют требованиям.

Таблица 4. Энергетические критерии*

Критерий сравнения	Наименование светопрозрачной конструкции			
	Окно	Зенитные фонари	Полые трубчатые световоды	Опволоконные световоды
Теплопотери в ХПГ	<i>Присутствуют</i>	<i>Присутствуют</i>	Отсутствуют	Отсутствуют
Теплопритоки в ТПП	<i>Присутствуют</i>	<i>Присутствуют</i>	Отсутствуют	Отсутствуют
Затраты на дополнительные источники искусственного света в дневное время суток	<i>Имеются: в следствие неравномерности освещения</i>	Отсутствуют	Отсутствуют	Отсутствуют

* Жирным курсивом выделены ячейки, значения в которых в полной мере не удовлетворяют требованиям.

Таблица 5. Экологические факторы*

Критерий сравнения	Наименование светопрозрачной конструкции			
	Окно	Зенитные фонари	Полые трубчатые световоды	Опволоконные световоды
Загрязнение окружающей среды	<i>Повышены:</i> • вследствие неравномерности освещения ИИС постоянно используются, следовательно постоянно, выгорают, выбрасываются • дополнительные ресурсозатраты на борьбу с теплопритоками и теплопотерями	<i>Повышены:</i> • дополнительные ресурсозатраты на борьбу с теплопритоками и теплопотерями	Снижены: • нет теплопритоков и теплопотерь; • равномерное освещение	Снижены: • нет теплопритоков и теплопотерь; • равномерное освещение

* Жирным курсивом выделены ячейки, значения в которых в полной мере не удовлетворяют требованиям.

При этом отдельная подсистема здания на стадии выполнения своих функций может непосредственным образом и не воздействовать на окружающую среду (например, окно не «производит» мусор и не выделяет ядовитых веществ). Однако все подсистемы между собой находятся в тесном взаимодействии, а потому рациональное исполнение функций одной подсистемы в некоторых случаях будет приводить к нерациональным режимам работы другой подсистемы. Так, окно, выполняющее функцию освещения в помещении глубиной до 5–6 м, не в состоянии освещать более глубокие помещения. Вследствие этого конечный пользователь вынужден будет включать искусственное освещение в дневное время суток, что приведет к досрочной выработке ресурса ламп и потребности их утилизации.

Каждая СЕО обладает своими достоинствами и недостатками. Особое внимание следует обратить на набирающую популярность технологию полых трубчатых световодов, способных решать задачу естественного освещения в «чистом» виде, без сопряжения с теплопритоками и теплопотерями, свойственными окнам и зенитным фонарям. Перспективным направлением развития СЕО являются следующие решения:

1. Сочетание нескольких технологий на одном объекте. Например, схема «окно+световоды» позволит создать равномерно освещение с сохранением визуального контакта с окружающей средой.

2. Зонирование здания по освещению. Например, в рекреационных зонах предпочтительно использовать окна или зенитные фонари, в производственных – полые световоды, в чистых помещениях – световоды полые или оптоволоконные.

Важность задачи естественного освещения на сегодняшний момент закреплена в действующем законодательстве (ТК РФ, СанПиН, СНиП, СП), а потому использование новых эффективных и совершенство-

вание существующих систем естественного освещения в ближайшее время не потеряет свою актуальность.

Библиографические ссылки

1. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. – М. : Техносфера, 2005. – 536 с.
2. Руководство по проектированию естественного освещения зданий. – М. : Стройиздат, 1978. – 96 с.
3. Йозеф Косо. Солнечный дом. Естественное освещение в планировке и строительстве. – М. : Контэнт, 2008. – 174 с.
4. Корепанов Е. В. Свободная конвекция в воздушных прослойках окон с двойным остеклением // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 2. – С. 106–112.
5. Корепанов Е. В. Математическое моделирование теплопередачи через наружные стены зданий с окнами : монография. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2011. – 192 с.
6. Корепанов Е. В. Термическое сопротивление теплопередаче окна с селективным покрытием и газовым заполнением // Энергосбережение и водоподготовка. – 2005. – № 6. – С. 59–62.
7. Корепанов Е. В. Теплопередача через наклонные окна с двойным остеклением // Известия вузов. Строительство. – 2006. – № 2. – С. 101–107.
8. Корепанов Е. В. Численное моделирование процесса теплопередачи через стеклопакеты с газовым наполнением // Вестник ИжГТУ. – 2004. – № 3. – С. 29–32.
9. Саломатин А. В., Казаков Ю. Н. Научное обоснование новых технологий устройства солнечного освещения в зданиях // Энергосовет. – 2013. – № 6. – С. 55–58. – URL: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=440.
10. Соловьев А. К. Полые трубчатые световоды и их применение для естественного освещения зданий // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 2. – С. 53–55.
11. Дорошин А. Н., Савельев Д. А. Солнечный модуль с преломляющими концентраторами и оптоволоконными световодами // Ползуновский альманах. – 2009. – № 3. – Т. 2. – С. 14–17.

A. V. Palagin, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. I. Sterkhov, Director General, "Solargy" Ltd.

E. V. Korepanov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Comparison of natural lightening systems of buildings according to functional energy factors

Existing systems of natural lightening are compared. Features of their functioning are revealed with regard to interaction with other subsystems of the building, execution of current building legislation, execution of sanitary rules, requirements to energy and resource saving. Conclusion is made that the most progressive solution of lightening task is combination of several techniques.

Keywords: natural lightening systems, system interaction, energy saving, resource saving, light guides.

Получено: 14.10.14