

УДК 628.921/.928

**Куприянов В.Н.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [kuprivan@kgasu.ru](mailto:kuprivan@kgasu.ru)

**Шашин Р.Е.** – студент

E-mail: [r\\_shashin@mail.ru](mailto:r_shashin@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Горбунов А.П.** – начальник архитектурного отдела

E-mail: [archgorbunov@gmail.com](mailto:archgorbunov@gmail.com)

**ЗАО ФСК «Мостаф»**

Адрес организации: 420124, Россия, г. Казань, ул. Ямашева, д. 37 б

### **Экологичное освещение помещений с использованием полых световодов**

#### **Аннотация**

Развитие современной архитектуры идет в направлении экологичности и «зеленых стандартов». Одним из параметров экологичности зданий является освещение помещений естественным светом солнца. Описаны архитектура зданий и особенности естественного освещения помещений с использованием полых световодов. Рассмотрены конструктивные решения, достоинства и недостатки полых световодов. Приведен анализ Европейского опыта проектирования и строительства зданий с использованием полых световодов для освещения «глухих» помещений.

**Ключевые слова:** естественное освещение, полые световоды, схемы освещения, экологичные здания, подземные этажи.

Развитие современной архитектуры идет в направлении ее экологичности и «зеленых стандартов». Одним из параметров экологичности зданий является освещение помещений естественным светом солнца, поскольку за тысячелетия своего развития глаз человека адаптирован к спектру солнечного света. Любой искусственный светильник имеет спектр излучения отличный от солнечного, в связи с чем искусственный свет воспринимается как инородный, а адаптация к нему человека проходит через болезни.

Естественное освещение помещений является не только экологичным, но также энергосберегающим, поскольку архитектурными средствами можно увеличить продолжительность использования естественного света и, тем самым, сократить расход электроэнергии для искусственного освещения помещений.

Наряду с этим получают развитие ширококорпусные здания и здания с подземными этажами, в которых невозможно обеспечить естественное освещение традиционными окнами: в наружных стенах зданий и в покрытиях (зенитные фонари). Окна в наружных стенах имеют ограничения по глубине помещений (не более 6 м для обеспечения нормируемой освещенности). Зенитными фонарями можно осветить только верхний этаж.

В соответствии с требованиями нормативных документов, помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение. В этом случае проблема естественного освещения в «глухих» помещениях может быть решена использованием новой технологии естественного освещения при помощи полых световодов (рис. 1). Транспортировка света по трубам, подобна газу и воде, по сплошным световодам за счет мощных ламп накаливания давно используется в технике. Транспортировка солнечных лучей в труднодоступные для естественного освещения места за счет использования полых световодов с внутренней зеркальной поверхностью способно кардинально изменить принципы естественного освещения помещений, а также архитектуру зданий.

Полые световоды весьма целесообразно использовать в одноэтажных зданиях со значительной высотой этажа и имеющие высокую плотность расположения оборудования (гипермаркеты, выставочные павильоны, большие производственные помещения), а также в помещениях, расположенных под землей или даже под водой (подземные паркинги, станции метрополитена и др.). Исследования во Всероссийском научно-исследовательском проектно-конструкторском светотехническом институте

(ВНИСИ) показали высокую комфортабельность, экономичность полых световодов и также способность создавать динамичное, постоянно изменяющееся в соответствии с обстановкой естественное освещение помещений [1].



Рис. 1. Направляющие системы естественного света

Полые световоды состоят (рис. 2) светоприемного устройства, которое располагается снаружи здания, из трубчатой секции, транспортирующая свет и диффузора для распределения света в помещении. Оптическое устройство наружного светоприемника имеет способность принимать как прямой свет солнца, так и диффузную его составляющую.

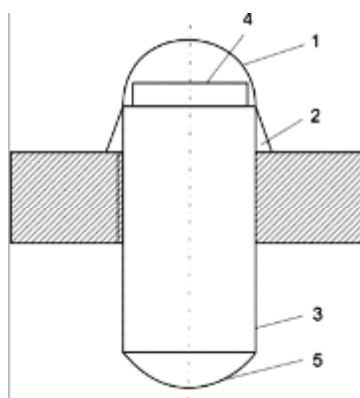


Рис. 2. Принципиальная схема световода:

- 1 – купол из светопрозрачного пластика со светонаправляющим устройством (4);
- 2 – стеклянная система, интегрированная в кровлю;
- 3 – трубчатый канал для транспортирования света;
- 5 – диффузор для распределения света в интерьере

Покрытие светопроводящих труб состоит из многослойной светоотражающей пленки с высоким коэффициентом отражения, достигающий 0,99. После многократного отражения внутри светопроводящей трубы свет попадает в помещение через светораспределяющее устройство. Так, например, световод фирмы «Solarspot» (Италия) длиной 5 м и диаметром 25 см при наружной освещенности около 5000 лк способен

осветить помещение площадью 8 кв.м с освещенностью 80 лк. При диаметре световода 38 см освещенность этого помещения увеличится в 3 раза, при 53 см – в 5 раз и при 63 см – в 7 раз. Фирма «Solarspot» имеет опыт использования световодов длиной до 10 м с различными отводами под 30, 60 и 90° [2].

Наружные устройства могут располагаться как на крыше, так и на фасадах зданий. На рис. 3 показаны схематические примеры устройства естественного освещения при помощи световодов [2].

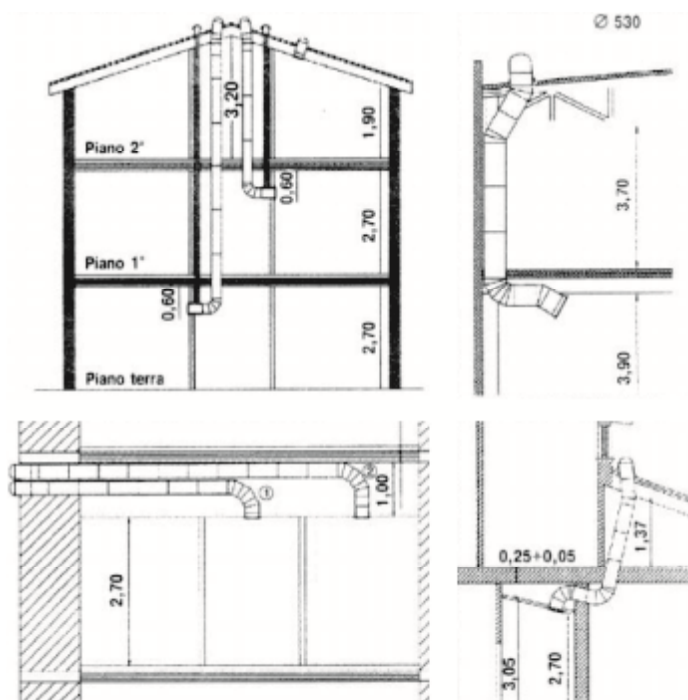


Рис. 3. Схематические примеры использования световодов

Благодаря простоте конструкции, энергоэффективности, относительно невысокой цене и потребности в систематической эксплуатации элементов световода, новые системы широко стали применяться в школах и детских учреждениях, складах, гаражах и других основных и вспомогательных помещениях жилых, общественных и промышленных зданий многих стран Европы и Северной Америки [3].

Одной из первых уникальных крупных осветительных установок Heliobus, на примере четырехэтажной школы в St. Gallen (Швейцария), удалось в два раза снизить установленную мощность, в 3,5-5 раз уменьшить потребление электроэнергии и благодаря этому сократить время использования искусственного освещения и качественно улучшить световую среду (рис. 4). Установка запроектирована во ВНИСИ и воплощена в реальность в симбиозе с фирмами Buhler/Scherler и Signer. Похожее проектное решение было осуществлено и в осветительной установке двухэтажной школы в горном поселке Schiers (Швейцария). В обоих проектных решениях внутренняя поверхность световодов была покрыта призматической пленкой SOLF фирмы 3M. Отличительной чертой этих двух установок является использование принципиально разных конструкций гелиостатов. В Heliobus использовался гелиостат полностью герметичной конструкции стационарного типа, который является фигурой пересечения двух цилиндрических форм одинакового диаметра и переходное устройство с источниками света, расположенными сверху. В установке школы в Schiers применялись открытые зеркальные гелиостаты, которые имеют возможность вращаться в двух направлениях, что позволяет им постоянно быть ориентированными на солнце, а в ночное время световой поток возвращался в небо, проделав путь, обратный прохождению солнечного света, благодаря источникам света, расположенным в основании световода. При этом, в установке «Heliobus» использовался полый световод квадратного сечения

625x625 мм и высотой 10 м, а в установке школы Schiers – световод эллиптического сечения (F5 x 52 см) и высотой 7 м. Во всех представленных решениях на внутреннюю поверхность световодов была нанесена призматическая пленка SOLF фирмы ЗМ. Условное число узлов трансформации солнечного света (пропускания, отражения, преломления) в установке «Heliobus» составляло 3, в проекте Schiers-4 (без учета полных внутренних отражений в пленке SOLF). Этот показатель в определенной степени характеризует масштаб потерь светового потока в системе, т.е. ее КПД. И чем он меньше, тем выше КПД при прочих равных условиях. Типовые архитектурно-планировочные решения современных зданий порой не позволяют через остекление стен осветить солнечным светом зоны, в которых располагаются сотрудники и клиенты. На примере энергосберегающей системы световодов Solartube® удалось добиться освещения зон, ранее недоступных солнечному свету, а также снижения энергопотребления и тепловой нагрузки на здание. Системы Solartube® имеют низкую теплопроводность, следовательно передача света проходит без теплопритоков, а значит, уменьшается необходимая мощность кондиционирования. Благодаря такой системе, интенсивность освещения становится одинаковой в течение всего светового дня и не зависит от ориентации здания по сторонам света.

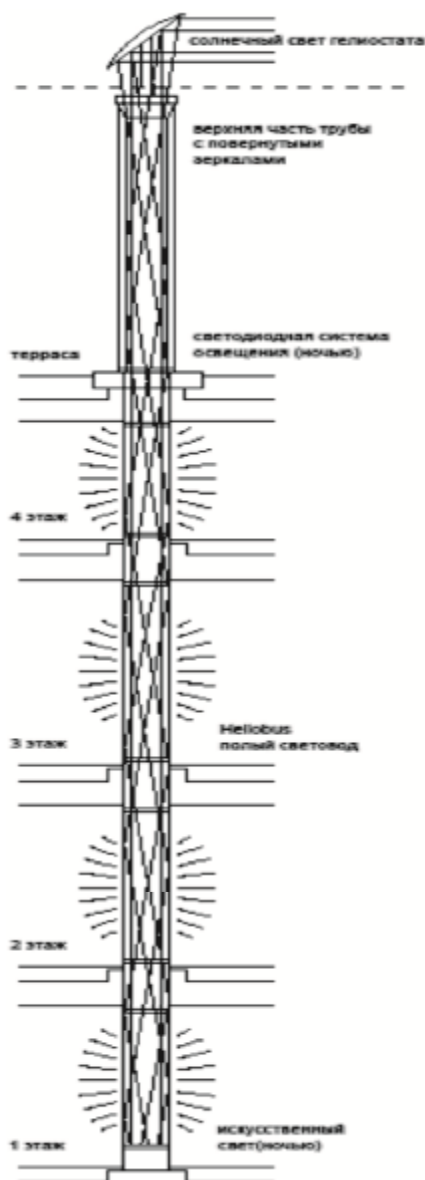


Рис. 4. Установка Heliobus четырехэтажной школы в St. Gallen (Швейцария)

Использование систем естественного освещения с полыми световодами является отличным примером комплексного подхода в строительстве, когда отдельные, проверенные временем технические решения, объединяясь в систему, приобретают новые уникальные свойства, не свойственные составляющим ее отдельным компонентам.

Удивительным примером стал спортивный зал Пекинского научно-технического университета, который оснащен 148 системами Solatube 750 DS (21 дюйм или 530 мм в диаметре), обеспечивающие естественным светом 2400 квадратных метров спортивной арены вместимостью более 8000 зрителей. Высокая светопередача материала световода – Spectralight® Infinity позволила проложить путь через чердачные помещения и обеспечить передачу светового потока более чем на 8 метров. Входящие в состав системы диффузоры OptiView® равномерно рассеивают свет внутри помещения, не вызывая слепящего эффекта, а диммеры Daylight Dimmer позволяют регулировать освещенность помещения для большей энергоэффективности и комфорта [4]. Наиболее интересным сооружением, где был применен принцип улавливания солнечных лучей и транспортировка их в низлежащие этажи, был купол здания Рейхстага.

**Купол Рейхстага** – это одна из популярнейших смотровых площадок Германии, с которой можно увидеть весь Берлин, заседание Бундестага и собственное отражение. Такой эффект достигается за счет того, что этот шедевр современной архитектуры состоит из стекла и зеркал. Этот германский символ сочетает в себе модернизм и рационализм. История здания Рейхстага и его купола связана с разрушениями. Пожар 1933 г. нанес огромный урон куполу здания, а воздушные бомбардировки 1945 г. в окончательной степени разрушили его. В 1954 г. правительство произвело демонтаж конструкции в целях безопасности. Спустя почти полвека британский архитектор лорд Норман Фостер выиграл конкурс проектов реконструкции Рейхстага. Изначально в проекте предполагалось использование плоской крыши с навесом над зданием. Но в данном варианте здание утратило бы свое единение и величие. В 1999 г. на свет появился грандиозный фостеровский стеклянный купол диаметром 40 м и высотой 23,5 м. На крышу здания, в западной ее части, поднимаются два лифта. Над этой крышей-террасой возвышается стеклянный купол. 230-метровые круговые ramпы спирального типа выводят на смотровую площадку, расположенной под вершиной купола. Оттуда, с высоты более 40 м, открывается взору круговая панорама Берлина. Еще одной уникальной частью здания является перевернутый конус с зеркальными панелями, заключенный в полусферу купола. Конус, начиная с пленарного зала, увеличивается и достигает диаметра в 16 м. 360 зеркальных панелей создают необыкновенную игру света, вызванную отражениями этих зеркал. Специальное зеркальное покрытие имеет как отражающую, так и пропускающую способность. Зеркальные панели оборудованы специальными запрограммированными фильтрами. С помощью этих фильтров происходит регулировка количества дневного света, проходящего в пленарный зал, в любое время года. Помимо этого в воронке располагается шахта вентиляции пленарного зала. Выходящий из нее воздух впоследствии пропускается через специальную теплообменник, что снижает энергозатраты. Таким образом, купол является не только восхитительным архитектурным элементом, но также является частью экологичной независимой энергосистемы здания (рис. 5). Перспективность интегральных систем совмещенного освещения зданий глубокого заложения и других сооружений без достаточного солнечного освещения не вызывает сомнений (рис. 6).



Рис. 5. Купол Рейхстага



Рис. 6. Потсдамская площадь в Берлине (Potsdamer Platz in Berlin)

**Достоинства и недостатки****Достоинства:**

- возможность обеспечения естественным светом внутренних пространств помещений, не имеющих прямой визуальной связи с окружающей средой;
- малые теплотери, в сравнении с окнами и световыми фонарями;
- возможность постоянного «слежения» за положением солнца на небосводе;
- улавливание не только диффузного света, но и прямых солнечных лучей в течении всего светового дня;
- простота конструкции систем;
- малый вес систем, что означает минимальную нагрузку на конструкции здания, возможность широкого использования при реконструкции;
- возможность регулирования интенсивности освещения при помощи компактных несложных устройств;
- использование световодов для транспортировки воздушных масс системами кондиционирования и вентиляции;
- интегрирование источников искусственного и естественного света в одном устройстве-светильнике;
- снижение энергозатрат на содержание и обслуживание здания;
- широкие возможности при создании интерьеров помещений, для обогащения архитектуры и рекреационных пространств. Возможность создания светящихся объектов различных форм и конфигураций;
- отсутствие слепящего действия;
- освещение необходимых зон «точечно»;
- обеспечение естественным светом закрытых опасных производств, где необходимо поддерживать свой микроклимат;
- обеспечение естественным светом подземных помещений;
- возможность передачи света по световоду на большие расстояния, огибая препятствия; Недостатки:
- малая распространенность в РФ;
- отсутствие производства комплектующих в РФ;
- отсутствие рекомендаций и опыта по проектированию систем в условиях средней полосы;
- необходимость ухода за отражающими поверхностями систем, их регулярная чистка;
- хрупкие отражающие элементы светопринимающих устройств имеют малую защищенность от вандальных действий граждан;
- принцип «один светоприемник – один-два светильника» влечет за собой необходимость конструирования большого количества небольших световых каналов для освещения большого количества помещений, что ведет к значительному усложнению планировочной структуры верхних этажей;
- необходимость постоянного ухода за светопринимающим устройством, очистки от снега, пыли;
- необходимость сооружения подвесных потолков, массивных коробов, для прокладки полых световодов, что отрицательно сказывается на пространстве помещения, вводит ограничения по высоте потолков;
- большие сложности при монтаже системы из-за соседства с системами вентиляции и кондиционирования, и прочих коммуникаций, которыми насыщено современное здание.

Выявленные достоинства и недостатки полых световодов для организации естественного освещения в помещениях без светопроемов позволяют сформулировать комплексную задачу развития архитектуры зданий с использованием световодов.

**Список библиографических ссылок**

1. Соловьёв А.К. Полые трубчатые световоды: их применение для естественного освещения зданий и экономия энергии // Светотехника, 2011, № 5. – С. 41-47.

2. Бракле Д.Ж. Естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световодной системы «SolarSpot» // Светотехника, № 5, 2005. – С. 34-42.
3. Гусев Н.М. Естественное освещение зданий. – М.: ГСИ, 1961.
4. Айзенберг Ю.Б., Буоб В., Майсен Т. Гелиостатно-световодная система освещения рекреаций школы // Светотехника, 2002, № 4. – С. 24-25.
5. Пейн Т. Развитие полых световодов в Великобритании // Светотехника, 2004, № 3.
6. URL: <http://www.illuminator.ru> (дата обращения: 02.02.2015).
7. URL: <http://www.iricond.ru> (дата обращения: 15.02.2015).
8. URL: [www.solarspot.it](http://www.solarspot.it) (дата обращения: 20.02.2015).

**Kupriyanov V.N.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [kupriyan@kgasu.ru](mailto:kupriyan@kgasu.ru)

**Shashin R.E.** – student

E-mail: [r\\_shashin@mail.ru](mailto:r_shashin@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Gorbunov A.P.** – chief of architectural department

E-mail: [archgorbunov@gmail.com](mailto:archgorbunov@gmail.com)

**JSC FCC «MOSTAF»**

The organization address: 420124, Russia, Kazan, Yamashev st., 37 b

### Ecological lighting using hollow light guides

#### Resume

The development of modern architecture goes in the direction of sustainability and «green standards». One of the parameters is a green building lighting rooms with natural light of the sun. Natural lighting is not only ecological, but also energy saving. In according to building documents, rooms for a long stay must have natural lighting. This problem can be solved with using a new technology of hollow light guides. The use of hollow light guides is highly desirable in the high single-storey buildings with a high density arrangement of equipment and the difficulty of service, as well as in basements and underground rooms.

Identified advantages and disadvantages of the hollow light guides for the organization of natural light in rooms without windows allow us to formulate a comprehensive task of developing the architecture of buildings with using hollow light guides.

**Keywords:** natural lighting, hollow light guides, lighting schemes, ecological buildings, underground floors.

#### Reference list

1. Solovyov A.K. Hollow light guides: their use for natural lighting of buildings and energy saving // Svetotekhnika, 2011, № 5. – P. 41-47.
2. Barkle D.Z. Natural lighting with the new passive fiber optic systems «SolarSpot» // Svetotekhnika, № 5, 2005. – P. 34-42.
3. Gusev N.M. Natural lighting of buildings. – М.: SBU, 1961.
4. Ajzenberg Y.B., Buob V., Majsen T. Heliostats with a light guide lighting system in the school recreation // Svetotekhnika, 2002, № 4. – P. 24-25.
5. Pejn T. The development of hollow light guides in the United Kingdom // Svetotekhnika, 2004, № 3.
6. URL: <http://www.illuminator.ru> (reference date: 02.02.2015).
7. URL: <http://www.iricond.ru> (reference date: 15.02.2015).
8. URL: <http://www.solarspot.it> (reference date: 20.02.2015).