УДК 69.059.35

© Ю. Н. Казаков, д-р техн. наук, профессор

© А. Ю. Пермякова, студент

© Д. С. Крупенина, студент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: kazakov@spbgasu.ru, anyapermak1452@yandex.ru,

krupenina.daria@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-95-100

© Yu. N. Kazakov, Dr. Sci. Tech., Professor

© A. Yu. Permyakova, student

© D. S. Krupenina, student

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: kazakov@spbgasu.ru, anyapermak1452@yandex.ru,

krupenina.daria@yandex.ru

РАЗРАБОТКА НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПО УСТРОЙСТВУ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХ ДВОРЫ-КОЛОДЦЫ, ЕСТЕСТВЕННЫМ СВЕТОМ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ЗЕРКАЛ

THE DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGY FOR LIGHTING PREMISES IN BUILDINGS FORMING WELL-COURTYARDS WITH THE NATURAL LIGHT BY MEANS OF A SYSTEM OF MIRRORS

Рассматривается вопрос недостаточной инсоляции во дворах с плохим освещением. Разработан метод освещения помещений зданий, образующих дворы-колодцы, естественным светом с помощью системы зеркальных поверхностей. Данная система представляет собой совокупность двух видов зеркал — выпуклого и плоского, которые совместно работают на основе законов оптики. Конструктивные особенности двора и зданий диктуют геометрические параметры зеркал. Систему зеркальных панелей держит кронштейн. В качестве устройств, следящих за солнцем в течение дня в разных плоскостях, используются актуатор с трекером. Для оценки рациональности использования данного метода рассчитана приблизительная сметная стоимость затрат на материалы.

Ключевые слова: оптика, естественное освещение, инсоляция, система зеркал, актуатор, дворы-колодцы.

The article deals with the issue of low insolation of yards with bad lighting. A method of indoor lighting has been developed for buildings forming well-courtyards. Daylighting is provided there by means of using of a mirrored surfaces system. The system consists of two types of mirrors: convex mirrors and flat mirrors. They work jointly on the basis of the laws of optics. The construction features of the yard cause certain geometrical parameters of mirrors. The system of mirror panels is supported by a bracket. An actuator and a tracker are used as sun tracking devices working throughout the day. Approximate estimated material cost is calculated to assess the rationality of using the described method.

Keywords: optics, daylighting, insolation, the system of mirrors, actuator, courtyards.

Санкт-Петербург — один из красивейших городов мира, знаменитый своей богатой историей. Архитектура этого города очень разнообразна и индивидуальна, сочетает в себе множество стилей. Фасады города также имеют свою историю, например дворы-колодцы. Ранее из-за недостатка свободной земли достраивали всё больше и больше стен к имеющимся домам, так и появлялись дворы, уникальные своими формами.

Как правило, проблема таких зданий, образующих эти узкие дворы, заключается в том, что они стоят плотно и солнечный свет полностью

не освещает всё пространство дворов, а также не попадает в некоторые окна комнат. Целью данной работы является обеспечение достаточной освещенности жилых комнат снаружи с помощью зеркальных поверхностей, с сохранением в полном объеме фасадов — культурного наследия Санкт-Петербурга.

Данная тема актуальна потому, что недостаточность инсоляции неблагоприятно влияет на организм человека. Как известно, естественное освещение стимулирует жизненный тонус человека, успокаивает нервную систему, что опреде-

ляет психоэмоциональное состояние. Солнце является экономичным и экологичным источником освещения. Так почему бы не использовать его для решения этой проблемы?

В статье разработана авторская технология по устройству освещения помещений зданий, образующих дворы-колодцы, естественным светом с помощью системы зеркал.

Обеспечение хорошей освещенности в зонах нехватки света дворов-колодцев — чрезвычайно трудная задача. На сегодняшний день подобных решений в городе Санкт-Петербурге не пришлось видеть [1].

Можно решить эту проблему инженерным способом, с помощью разработки конструкции, имеющей зеркала. Правильное применение зеркальных поверхностей может не только визуально расширить площадь и высоту двора, но главное — увеличить освещенность [2, 3].

В качестве аналогов для исследования авторы использовали проекты, разработанные компанией SunCentral и архитектором Жаном Нувелем.

Канадская компания SunCentral является создателем изделий, которые обеспечивают поступление солнечного света внутрь здания. Система «Солнечный тент» — один из лучших проектов компании (рис. 1). Основу конструкции составляет рама с множеством легких небольших зеркал, следящих за движением солнца при помощи небольших исполнительных устройств (актуаторов). С этих зеркал свет преломляется и идет на две пары параболических зеркал, сжимающих поток света и направляющих его в канал светового короба, внутри покрытого зеркальной пленкой. Призматический рассеиватель находится в нижней части короба и доставляет свет, идущий по коробу, в комнату. Для ночного освещения или в пасмурную погоду изнутри короба устанавливаются лампы. Таким образом, освещение будет производиться в любую погоду и время суток.

Одним из ярких проектов французского архитектора Жана Нувеля является работа по жилому комплексу One Central Park в Сиднее (рис. 2). Жан Нувель спроектировал платформу, установленную на высоте 100 м на 29-м этаже. Эта платформа поддерживает гелиостат площадью 200 м², который использует систему подвижных зеркал для захвата солнечного света. Гигантский

гелиостат, нависающий между двумя объектами небоскреба, как 40-метровый консольный выступ, имеет 320 вмонтированных отражателей (подвижных зеркал), предназначенных для перенаправления солнечных лучей на 40 гелиостатов и далее на крыши более низкой башни. Это архитектурное решение позволило обеспечить атриум между башнями, зону с бассейном и окружающий башню парк достаточным солнечным светом круглый год, хоть они и находятся в тени.

В основе разработанной авторами идеи лежит работа группы рассеивающих и плоских зеркал. Они должны располагаться напротив друг друга в несколько уровней, в зависимости от высоты здания и габаритных размеров двора-колодца.

Верхний уровень группы зеркал располагается на фасаде здания ниже карниза. Сама система представляет собой соединение двух видов зеркал: выпуклого и плоского: работая вместе с помощью актуаторов, они будут направлять солнечные лучи света туда, где само солнце не проникает. Актуатор в нашем случае обеспечивает подвижность зеркал для правильного отражения солнечных лучей таким образом, чтобы световой пучок падал на нужный ряд окон и систему зеркал. Изначально пучки солнечного света при-

Рис. 1. Схема системы и масштабный макет «ловушки» (фото SunCentral)

Рис. 2. Схема работы гелиостата

нимают верхняя часть выпуклых зеркал и плоские, расположенные в их нижней части (рис. 3). Далее работает закон отражения света — часть света отражается выпуклой зеркальной поверхностью на группу зеркал, расположенных напротив, а другая часть рассеянными лучами освещает фасад между двумя уровнями (рис. 4). Также плоское зеркало, принимая лучи, перенаправляет их на нижнюю часть выпуклой поверхности, которая в свою очередь рассеивает их. Необходимо учесть, что габариты зеркал принимаются таким образом, чтобы не затенять оконные проемы, и за счет этого верхний уровень, как правило, будет иметь большие размеры, нежели последующие уровни.

В авторской разработке применялись зеркальные выпуклые поверхности, ширина этих зеркал должна быть равна ширине окон (рис. 5). Радиус выпуклости и другие геометрические характеристики определяются в зависимости от параметров здания и двора. Плоское зеркало имеет такую же ширину, как и выпуклое, а длина его составляет примерно $\frac{1}{4}$ дуги выпуклого зер-

кала. Зеркала имеют не алюминиевое металлическое покрытие, а будут покрыты такими металлами, как диоксид кремния и нитрид кремния. Эти типы покрытия используются в качестве хороших отражателей и являются защитной отделкой на металлическом покрытии для зеркал. В исследуемой системе зеркал не требуются высокие параметры отражающей способности, достаточно 95 %. Таким показателем обладают обычные зеркала в начале службы, а это означает, что данная система будет экономичной.

При расчете эффективности работы конструкции авторами был проведен анализ по увеличению освещенности во дворах и окнах жилых помещений, в ходе которого были рассмотрены данные освещенности:

- солнечными лучами в полдень (на средних широтах) — 100 000 лк;
- солнечными лучами на открытом месте в пасмурный день — 1000 лк;
- на улице при искусственном освещении — до 4 лк [4].

Из этого следует, что естественный свет во много раз выигрывает у искусственных источников освещения. Освещенность в ясный день на поверхности первой системы зеркал примерно равна 100 000 лк, а на поверхности земли двора будет меньше на 15–20 %. Следовательно, увели-

Рис. 3. Ход солнечных лучей от системы зеркал

Рис. 4. Схема действия зеркал по освещению внутреннего двора

чится освещенность в помещениях зданий, достигая требуемых значений.

Систему зеркал и устройство трекера с актуатором держит кронштейн (рис. 6). Для зеркал верхнего уровня он крепится к зданию ниже карниза крыши, не нарушая систему водостока, с помощью анкеров 25–30 см, которые загоняются в стену. Потом через втулки 10 см прикру-

Рис. 5. Схема фасада здания

чивают кронштейн. Зеркала сзади крепятся на подвижную часть трекера, которая тем самым обеспечивает необходимое положение зеркал. А последующие уровни зеркал крепятся между окнами двух этажей.

Полная комплектация трекера по назначению разработанной технологии экономически нецелесообразна, однако зависит и от других факторов. Например, в солнечных батареях используются более сложные по устройству трекеры, которые дополнительно включают в себя:

- механизмы, обеспечивающие защиту от молний, перегрузок, навигацию, стабилизацию и пр.;

- удаленный доступ;
- инвертор для преобразования энергии [5, 6].

Солнечный трекер, применяемый в технологии, состоит:

- из несущей конструкции, состоящей из фиксированной и подвижной частей, подвижная часть имеет одну или две оси вращения;

- системы ориентации (позиционирования) подвижной части трекера, состоящей из актуаторов и устройства управления ими [7].

Составляющими актуатора являются исполнительное устройство (механизм) и регулирующий орган. Простой механизм с двигателем будет выглядеть следующим образом: выдвижной шток, двигатель, редуктор.

Рис. 6. Устройство кронштейна с трекером

Сметная стоимость материалов

№ п/п	Наименование	Количество	Цена, руб.	Стоимость, руб.
1	Выпуклые зеркала (1,15×1,5; 1,15×1,0)	32,2 м ²	2100	67 620
2	Плоские зеркала (1,15×0,5; 1,15×0,3)	10,12 м ²	1900	19 228
3	Кронштейн	24 шт.	500	12 000
4	Трекер с актуатором	24 шт.	5000	120 000
			Всего	218 848

С помощью актуатора можно переориентировать трекер и систему зеркал, подключив и настроив GPS-систему слежения за максимально яркой точкой, при установленном наклоне и повороте [8, 9].

Такая конструкция долговечна, но при эксплуатации требуется очистка зеркальных поверхностей от грязи, которая должна производиться не реже 2–3 раз в год. Если зеркало будет иметь отколы и трещины, то его необходимо заменить, так как это нарушит ход лучей при его отражении.

Рассмотрев вопрос, касающийся безопасности данной технологии, был сделан вывод, что данная система будет являться пожаробезопасной, так как главная часть нашей конструкции это выпуклые зеркала, за счет выпуклости свет будет рассеиваться в разных направлениях, а не отражаться в одну точку.

Стоимость данного устройства рассмотрим на примере пятиэтажного здания с двором площадью 10×10 м, имеющего трехуровневую систему зеркал (см. таблицу). В расчет включены исключительно материалы без монтажа. Сумма затрат на реализацию разработанной технологии составляет 219 тыс. руб. и более.

Этапы монтажа системы зеркальных поверхностей:

1. Крепление кронштейна на фасаде зданий.
2. Установка трекера.
3. Закрепление системы зеркал и их регулировка
4. Установка актуаторов на трекер. Подключение и настройка GPS-системы слежения за максимально яркой точкой при установленном наклоне и повороте.

Разработанная новая технология была рассмотрена на примере дворов-колодцев города

Санкт-Петербурга, но также ее можно применять в любых узких или малоосвещенных местах, труднодоступных солнечному свету.

Эффективность заключается в том, что применение разработанной методики освещения естественным светом экономически выгодно. Использование предложенной технологии позволит жителям уменьшить затраты на электроэнергию при условии долговременной эксплуатации.

Библиографический список

1. Казаков Ю. Н., Рафальский Ю. Е. Архитектура и строительство в Санкт-Петербурге: вчера и сегодня. СПб.: СПбГАСУ, 2007. 140 с.
2. Глюк И. И все это делают зеркала: пер. с англ. М.: Мир, 1970. С. 61.
3. Патент РФ № 2014140279/06, 06.10.2014. Шириев Р. Р., Садыков М. Ф., Нургалиева Э. И. Устройство для освещения солнечным светом помещений многоэтажного здания // Патент России № 154267. 2015. Бюл. № 23.
4. Виссарионов В. И., Дерюгина Г. В., Кузнецова В. А., Малинин Н. К. Солнечная энергетика. М.: МЭИ, 2008. С. 13–62.
5. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991. С. 156–195.
6. Петрусёв А. С. Построение солнечной установки с использованием ориентирующих и концентрирующих систем // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. 2015. № 3. С. 279–280.
7. Немихин Ю. Е., Матвеев А. В., Немков Д. А., Одинаев И. Н. Разработка и создание системы слежения за положением солнца // Технические науки в мире: от теории к практике. Ростов н/Д, 2015. С. 35–38.
8. Воротынцев Д. В., Ануфриев О. В., Теряев Р. Э., Стеценко К. П. Повышение эффективности работы солнечной панели при помощи солнечного трекера //

Современные проблемы управления и регулирования: теория, методология, практика. Пенза: Наука и просвещение, 2017. С. 39–43.

9. Воротынцев Д. В., Ануфриев О. В., Стеценко К. П., Теряев Р. Э., Васьков А. Г. Оптимизация работы солнечной панели при использовании системы слежения за солнцем // Молодежный научный форум: технические и математические науки. 2017. № 1 (41). С. 67–72.

References

1. Kazakov Yu. N., Rafal'skiy Yu. E. *Arkhitektura i stroitel'stvo v Sankt-Peterburge: vchera i segodnya* [Architecture and construction in St. Petersburg: yesterday and today]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2007, 140 p.

2. Glyuk I. *I vse ehto delayut zerkala* [And all this is done by mirrors]. Transl. from English. Moscow, Mir Publ., 1970, p. 61.

3. Shiriev R. R., Sadykov M. F., Nurgalieva Eh. I. *Patent RF no. 2014140279/06, 06.10.2014. Ustroystvo dlya osveshcheniya solnechnym svetom pomeshcheniy mnogoehtazhnogo zdaniya* [Patent RF no. 2014140279/06, 06.10.2014. Installation for the sunlight lighting of premises in the high rise building]. Patent Rossii no. 154267, 2015, Bulletin no. 23.

4. Vissarionov V. I., Deryugina G. V., Kuznetsova V. A., Malinin N. K. *Solnechnaya ehnergetika* [Solar power]. Moscow, MPEI Publ., 2008, pp. 13–62.

5. Kharchenko N. V. *Individual'nye solnechnye ustanovki* [Individual solar installations]. Moscow, Ehnergoatomizdat Publ., 1991, pp. 156–195.

6. Petrusyov A. S. *Postroenie solnechnoy ustanovki s ispol'zovaniem orientiruyushchikh i kontsentriruyushchikh sistem* [Creation of solar installation with use of the focusing and concentrating systems]. *Nauchno-obrazovatel'nyy potentsial molodezhi v reshenii aktual'nykh problem XXI veka – Scientific and educational potential of youth in the solution of urgent problems of the 21st century*, 2015, no. 3, pp. 279–280.

7. Nemikhin Yu. E., Matveev A. V., Nemkov D. A., Odinaev I. N. *Razrabotka i sozdanie sistemy slezheniya za polozheniem solntsa* [Development and creation of system of tracking the sun position]. *Tekhnicheskie nauki v mire: ot teorii k praktike* [Technical science in the world: from theory to practice]. Rostov-on-Don, 2015, pp. 35–38.

8. Vorotyntsev D. V., Anufriev O. V., Teryaev R. Eh., Stetsenko K. P. *Povyshenie ehffektivnosti raboty solnechnoy paneli pri pomoshchi solnechnogo trekera* [Increasing the overall performance of the solar panel by means of a solar tracker]. *Sovremennye problemy upravleniya i regulirovaniya: teoriya, metodologiya, praktika* [Modern problems of management and regulation: theory, methodology, practice]. Penza, *Nauka i prosveshchenie – Science and education*, 2017, pp. 39–43.

9. Vorotyntsev D. V., et al. *Optimizatsiya raboty solnechnoy paneli pri ispol'zovanii sistemy slezheniya za solntsem* [Optimization of operation of the solar panel using the sun tracking system]. *Molodezhnyy nauchnyy forum: tekhnicheskie i matematicheskie nauki – Youth scientific forum: technical and mathematical science*, 2017, no. 1 (41), pp. 67–72.