

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2022, №6, Том 14 / 2022, No 6, Vol 14 <https://esj.today/issue-6-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/36SAVN622.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Абрамян, С. Г. Повышение энергоэффективности реконструируемых промышленных зданий на основе применения адаптивных светопрозрачных покрытий / С. Г. Абрамян, Т. А. Сабитова, Г. О. Акопян, Е. Д. Соболева // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/36SAVN622.pdf>

For citation:

Abramyan S.G., Sabitova T.A., Akopyan G.O., Soboleva E.D. Improvement of energy efficiency of reconstructed industrial buildings based on adaptive transparent coatings. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(6): 36SAVN622. Available at: <https://esj.today/PDF/36SAVN622.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Абрамян Сусанна Грантовна

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Профессор
ООО «Малое инновационное предприятие Грантмипус», Волгоград, Россия
Генеральный директор
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: susannagrانت@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3938-1096>
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=589709
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6508040964>
Web of Science: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/C-7099-2016>

Сабитова Татьяна Анатольевна

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ta.sabitova@gmail.com
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=554127
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205656211>

Акопян Грачуи Овиковна

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Магистрант
E-mail: akopyangr.2015@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-1028>

Соболева Екатерина Дмитриевна

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград, Россия
Аспирант
E-mail: eka11.97@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1083-1863>
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1154169

Повышение энергоэффективности реконструируемых промышленных зданий на основе применения адаптивных светопрозрачных покрытий

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые основные направления повышения энергоэффективности при реконструкции промышленных зданий на различных этапах жизненного цикла, отмечена важность достижения энергоэффективности на основе

применения светопрозрачных покрытий. Анализ научных публикаций позволил представить архитектурные и технические средства достижения энергоэффективности строительных систем. Подчеркнута необходимость разработки новых технических и совершенствования существующих организационно-технологических и экономических решений по применению адаптивных светопрозрачных наружных покрытий в процессе реконструкции промышленных зданий. Кратко описаны наиболее часто встречающиеся светопрозрачные фасадные системы (СФС), отмечены конструктивные особенности стоечно-ригельной, модульной и спайдерной систем. Изложена сущность и сформулирована цель использования адаптивных светопрозрачных покрытий, охарактеризованы их виды и материалы, рассмотрены системы управления адаптивными элементами, технологии и их характерные особенности, позволяющие изменить пространственное положение адаптивных элементов фасадных систем.

Так как изменение внешнего вида вертикальных наружных покрытий строительных систем с целью обеспечения энергоэффективности зависит не только от применяемых технологий, но и от механизмов, на основе анализа ряда научных публикаций и электронных ресурсов выявлены наиболее часто встречающиеся механизмы, позволяющие изменять геометрическое положение адаптивных элементов вертикальных, горизонтальных и наклонных наружных светопрозрачных покрытий. Рассмотрена возможность применения адаптивных панелей с солнечными батареями в качестве альтернативного источника энергии. В связи с этим внимание уделено технологиям изменения пространственного положения панелей с помощью различных механизмов: подъемно-выдвижного, роликового и телескопических стоек-опор.

Отмечено также, что применение адаптивных светопропускающих элементов ограждающих конструкций представляет собой один из наиболее востребованных и актуальных способов формирования комфортных условий жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: светопрозрачные наружные покрытия; изменение пространственного положения; технологии; механизмы

Введение

Реализация комплекса мероприятий по реконструкции и повышению технико-экономических показателей промышленного сооружения связана с рядом трудностей, в том числе экономическими, архитектурными, технологическими и др. На текущий момент времени многие объекты промышленного производства характеризуются физическим износом и имеют низкие эстетические качества, тем самым внося дисгармонию в архитектурный облик города, а устаревшие технологии и оборудование отрицательно влияют на окружающую среду. Зачастую в такой ситуации встает вопрос о ликвидации объекта, даже если речь идет о производстве, приносящем прибыль. Между тем устранить обозначенные проблемы позволяет эффективная реконструкция.

При этом реконструкцию строительного объекта необходимо рассматривать как новую фазу его жизненного цикла; она, так же как и строительство нового объекта, предполагает прохождение ряда этапов.

Внедрение современных методов проектирования, эффективная организация и проведение строительно-монтажных работ в процессе осуществления мероприятий по реконструкции промышленных зданий и сооружений требуют повышенной ответственности и должны опираться на передовые разработки современной строительной теории и практики, учитывая также специфику действующего производства [1; 2]. Этим обусловлена актуальность данного исследования.

Методы исследования

При выполнении исследования проанализирован ряд научных публикаций отечественных и зарубежных авторов. Представлены архитектурные и технические средства повышения энергоэффективности реконструкции промышленных зданий на различных стадиях жизненного цикла. Выявлены некоторые технологии изменения внешнего вида вертикальных наружных покрытий строительных систем с целью обеспечения энергоэффективности. На основе аналогов предлагаются собственные разработки по адаптации панелей горизонтальных наружных светопрозрачных покрытий.

В целом основными методами исследования являются анализ, сравнение, обобщение и аналогия.

Основные направления и конструктивные особенности светопрозрачных и адаптивных фасадных систем

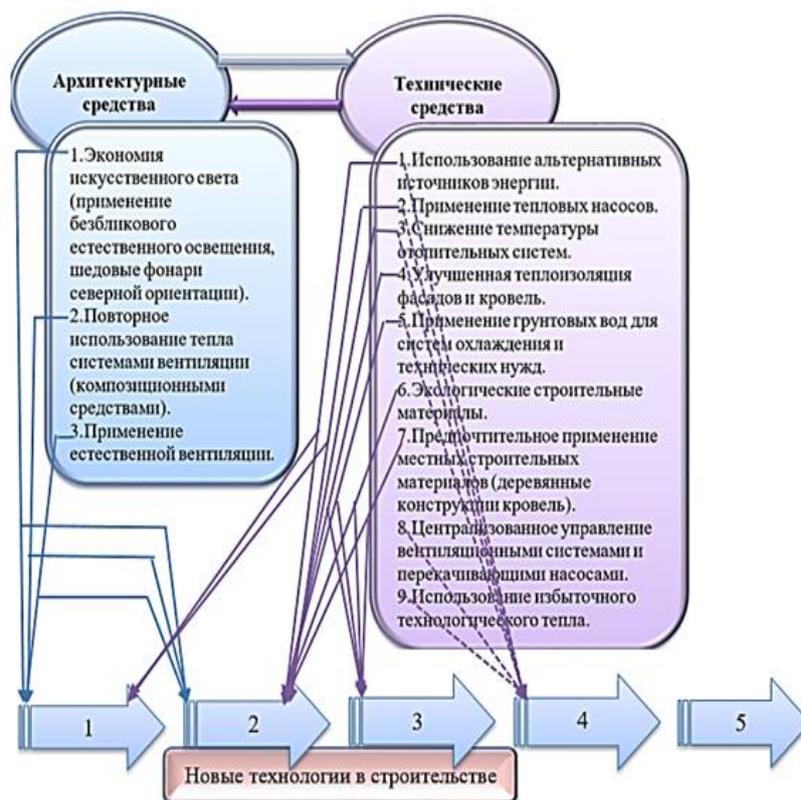
Как показывает анализ научных публикаций [3–5], одним из основных направлений, позволяющих повысить эффективность реконструкции промышленных зданий, является устройство светопрозрачных наружных покрытий, которое к тому же обеспечивает эстетичность и возможность создания уникальных архитектурных форм современной глобализации. Под энергоэффективностью понимается не только способность сохранения тепла на стадии эксплуатации зданий, но и высокая технологичность на стадии выполнения ремонтно-строительных и строительно-монтажных работ. Между тем для этого необходимо применение легких при монтаже ограждающих стеновых панелей, монтируемых с небольшими затратами труда и машинного времени.

Известно, что некоторое время назад главными требованиями, предъявляемыми к предприятиям промышленности, были гибкость планировочного пространства зданий и сооружений и возможность расширения производств. В настоящее же время ключевыми факторами становятся энергетическая эффективность и оптимизация циклических расходов, а именно себестоимость жизненных циклов как различных стройматериалов и технологического оборудования, так и в целом конструктивных элементов, и производственных единиц.

Реконструкция зданий и сооружений требует комплексного подхода, который означает учет всех факторов, обеспечивающих энергоэффективность здания. В работе [6] представлены две группы мероприятий, направленных на повышение эффективности так называемой промышленной архитектуры: архитектурные и технические средства, на которые нужно обратить особое внимание на предпроектной стадии реконструкции. При этом авторы обращают внимание на то, что данное разграничение носит по большей части условный характер и что только совокупное использование соответствующих архитектурных и технических средств будет залогом успешного и эффективного решения поставленной задачи по обеспечению энергоэффективности промышленных зданий. Исследователи считают, что «глубокий анализ возможностей их взаимодействия является основным условием в достижении цели проектирования энергоэффективных производственных зданий» [6].

Согласно [7], комплексный подход к энергоэффективной реконструкции промышленных зданий предусматривает взаимодействие решений на всех стадиях жизненного цикла.

Если представленные авторами [6] направления обеспечения энергоэффективности перенести на новую платформу и рассмотреть с точки зрения жизненного цикла реконструкции промышленных зданий, то архитектурные и технические средства будут относиться к разным этапам, начиная с предпроектного и заканчивая эксплуатационным (рис. 1).



1 — предпроектный этап (этап инвестиционного замысла обеспечения энергоэффективного промышленного здания после реконструкции); 2 — проектный этап; 3 — этап ремонтно-строительных (включая демонтажные работы) и строительно-монтажных работ; 4 — этап эксплуатации; 5 — этап перехода на другую фазу жизненного цикла или сноса

Рисунок 1. Направления повышения энергоэффективности промышленных зданий на различных этапах жизненного цикла [8]

Отметим, что путем реализации представленных на рисунке 1 архитектурных средств в настоящее время разработано множество проектов с адаптивными светопрозрачными наружными покрытиями для достижения энергоэффективности промышленных зданий после реконструкции. В целом современный этап развития строительной отрасли характеризуется активным развитием и широким внедрением передовых технологий. Это стало возможным благодаря техническому прогрессу и развитию так называемого экологического мышления, причем на уровне не только государств (как правило, экономически развитых), но и самих граждан, демонстрирующих осознанный подход к проблемам экологии и природосбережения.

Возможными способами экономии искусственного света при реконструкции промышленных зданий являются: различные варианты верхнего естественного освещения; использование светоаэрационных фонарей; сплошное остекление фасада здания.

Сплошное остекление фасада здания — относительно новый конструктивный прием, который, помимо несомненной практичности и эффективности, позволяет добиться взаимодействия внешнего облика здания с окружающей средой и гармонично вписать его в ландшафт.

Как отмечается в работе [6], стекло представляет собой совершенно особое средство освоения современного архитектурного пространства: разнообразие визуальных свойств стекла позволяет экспериментировать со стилем и создавать уникальные архитектурные объекты, модифицируя образ городского пространства.

На практике наиболее часто применяются светопрозрачные фасадные системы (СФС), объединяющие в себе все фасадные элементы строительного объекта, которые могут пропускать свет в помещение (будь то окна, витражи, двери, наружные ограждающие конструкции).

Существует ряд параметров, по которым принято классифицировать СФС: прежде всего, это их теплоизоляционные свойства; также СФС различают по виду крепления светопрозрачных элементов и по способу установки; кроме того, СФС классифицируются по конфигурации, геометрии в плане и по способу монтажа. Более подробная классификация СФС представлена в работе [9]. Авторы статьи [10] отмечают, что классификация светопрозрачных фасадов должна выполняться с учетом как архитектурных, так и конструктивных решений проектируемого здания, поскольку выбор того или иного варианта фасадного остекления будет зависеть, с одной стороны, от архитектурного решения, в зависимости от соответствующих планировочных и художественных задач, а с другой — от конструктивного решения, с учетом особых требований, предъявляемых к самим конструкциям и материалам.

Необходимо отметить, что, помимо этого, профильные конструкции и светопрозрачные элементы систем остекления фасадов могут изготавливаться из различных материалов, что, в свою очередь, также служит одним из оснований для дифференциации различных видов СФС.

В зависимости от технологии установки и некоторых других характеристик различают три вида СФС, которые используются при энергоэффективной реконструкции промышленных объектов: стоечно-ригельная, модульная и спайдерная. Дадим краткую характеристику каждому виду.

Стоечно-ригельная система (СРС) фасадов промышленных зданий состоит из вертикальных стоек и горизонтальных ригелей, благодаря чему можно быстро и без труда устанавливать элементы заполнения, что весьма практично. Такая особенность обеспечила востребованность СРС в современной строительной практике. Немаловажно и то, что данный тип фасадного остекления открывает широкие возможности для воплощения различных дизайнерских идей и позволяет рационально подходить к вопросу использования материалов, тем самым обеспечивая экономию средств.

Внешняя часть может быть украшена различным декором. Стеклопанель пропускает достаточно света, конструкция подходит практически для любых строений. Наиболее широкое применение имеет при реконструкции административно-бытовых и административных корпусов промышленных зданий.

Считается, что СРС является оптимальным решением при реконструкции промышленных зданий, когда площадь фасадного остекления не превышает 5000 м². Такая система предполагает возможности для создания сложных форм и адаптации к неровным поверхностям.

СРС представляет собой несущую ограждающую фасадную конструкцию, состоящую из металлического вертикально-горизонтального каркаса и светопрозрачного заполнения.

Каркас системы формируется при помощи вертикальных профилей — стоек, к которым крепятся горизонтальные балки — ригели. Фиксация стеклопакетов к несущему каркасу осуществляется при помощи прижимных планок, на которые затем устанавливаются декоративные крышки.

Энергоэффективная реконструкция промышленных зданий обеспечивается с помощью таких неоспоримых преимуществ структурного остекления СРС, как высокая технологичность; максимальная сопротивляемость конструкции агрессивной внешней среде, с которой

непосредственно контактируют только поверхность стекла и слой герметика; водонепроницаемость; звукоизоляция; теплопроводность; долговечность.

Структурную систему остекления принято рассматривать как наиболее сложную, однако именно она дает декоративный эффект непрерывной плоской стеклянной поверхности за счет минимума видимых алюминиевых профилей, что придает зданию высокие эстетические свойства. Кроме того, при структурном остеклении можно обеспечить хорошую гидроизоляцию вертикальных и наклонных поверхностей. Все это делает структурную систему остекления одним из наиболее перспективных вариантов устройства СФС применительно к энергоэффективной реконструкции промышленных зданий и сооружений.

Среди недостатков модульных фасадных систем следует отметить прежде всего более высокие финансовые затраты на их транспортировку к месту строительства, а также необходимость последовательно вести монтажные работы. Это объясняется тем, что для соединения смежных стеновых модулей используются замки специальных конфигураций, что диктует определенную последовательность монтажа (при СРС стены можно монтировать в более свободном порядке).

В [11] на основе обзора научных публикаций установлено, что к готовым модульным фасадным элементам относятся также структурные мембранные конструкции или мембранные подушки из отдельных и комбинированных материалов из текстиля, фольги, пленок ЭТФЭ (этилентетрафторэтилен), ПТФЭ (политетрафторэтилен), поливинилхлорида, стекла, сетки из стекла и др. Подобные фасадные элементы, как показывает практика, доказывают свою энергоэффективность уже на стадии строительства зданий и сооружений. Что касается реконструкции существующих строительных систем, то здесь довольно часто используется такое решение, как устройство двойных фасадов — так называемых стеклянных оболочек [12; 13]. Следует отметить, что неоспоримым преимуществом мембранных фасадов является возможность их применения для реализации различных архитектурных концепций. Характерно, что, несмотря на свободную форму и сложную геометрию, мембранные фасады не отличаются высокой технологической сложностью и не являются экономически затратными. Также мембранные фасады выгодно зарекомендовали себя в практике строительства и реконструкции благодаря своему относительно небольшому весу.

Спайдерная (планарная) система остекления — одна из наиболее молодых технологий. Ее принципиальным отличием является то, что конструкция не подразумевает закрепления стекла или стеклопакета на несущем алюминиевом профиле. Поэтому данная система также называется беспрофильной. Для фиксации и удержания светопрозрачных элементов в проектном положении используется точечное крепление посредством особых кронштейнов — так называемых спайдеров.

Основными несущими конструкциями при спайдерном остеклении могут быть: классические пространственные конструкции (сферы, полусферы, ломанные и плоские конструкции крыш, арки и др.), существующие каркасы.

Спайдерная система позволяет выполнять остекление по всему периметру реконструируемого здания или сооружения, независимо от площади, и создавать пространственные конструкции (например, для крыш), обеспечивая при этом практически беспрепятственную видимость. Благодаря достигаемому эффекту единой стеклянной поверхности здание со спайдерной системой остекления приобретает современный, элегантный, «невесомый» внешний вид.

Основой технологии, которую подразумевает спайдерная система, является собственно спайдерное крепление, представляющее собой лучевую стальную конструкцию, выполненную

из прочных материалов, на которую впоследствии крепится светопрозрачное многослойное стекло.

Известно, что реконструкция любой строительной системы имеет определенные общеизвестные цели: экономические, социальные, градостроительные и экологические. Согласно [14–16], в зависимости от внешних и внутренних условий активно и пассивно меняющиеся во времени фасадные системы (адаптивные) позволяют достичь поставленных целей. Как отмечают авторы, целью исследований было выявить на основе обзора научных публикаций, каким образом «климатически совместимые фасадные системы в энергоэффективном исполнении» позволяют значительно сокращать энергопотребления в зданиях и снизить выбросы CO₂.

В работе [17] подчеркивается, что адаптивные фасадные системы — это продукт инновационной деятельности в сфере обеспечения энергоэффективности объектов жилого фонда, главной отличительной чертой которого является способность оптимизировать свои характеристики, накапливая и преобразовывая энергию внешней среды. Подчеркнем: анализ многих исследований показывает, что это утверждение справедливо не только для объектов жилого фонда, но и в целом для объектов недвижимости самого различного функционального назначения, и особенно применительно к реконструкции промышленных зданий.

В [18] представлены следующие виды адаптивных фасадных систем: динамические (кинетические); хромогенные; солнцезависимые (солнечные активные); активные вентилируемые фасады и их характеристики. В публикации [19] рассматривается материал (стекло, которое после некоторой обработки приобретает адаптивные свойства), обеспечивающий энергоэффективность фасадных систем. Авторы отмечают, что компоновка стекла, обладающего адаптивными свойствами, с механизмами, позволяющими менять свое первоначальное пространственное положение, дает возможность создать адаптивные фасадные системы.

Стекло с адаптивными свойствами можно использовать также при устройстве других энергоэффективных фасадных систем, в частности двухслойного фасада (ДСФ — DSF).

Известно, что в зависимости от достижения определенной цели по обеспечению комфорта людей и энергоэффективности самой строительной системы могут использоваться различные системы управления адаптивными элементами фасада: автономная (самостоятельно реагирует на изменение климатических условий посредством датчиков), с помощью пользователя и комбинированная.

Изменение внешнего вида вертикальных наружных покрытий строительных систем с целью обеспечения энергоэффективности зависит от применяемых технологий и механизмов. Например:

поворотом — в данном случае возможно два варианта: (1) элементы фасада вращаются вокруг собственной оси; (2) элементы фасада поворачиваются относительно своего начального положения, в то время как одна точка элемента остается неподвижной;

сложением — форма элементов фасада изменяется, когда они складываются;

изгибом — происходит либо искривление осей элементов фасада, либо изменение кривизны осей;

скольжением — предполагается движение элементов фасада вдоль оси (направляющих);

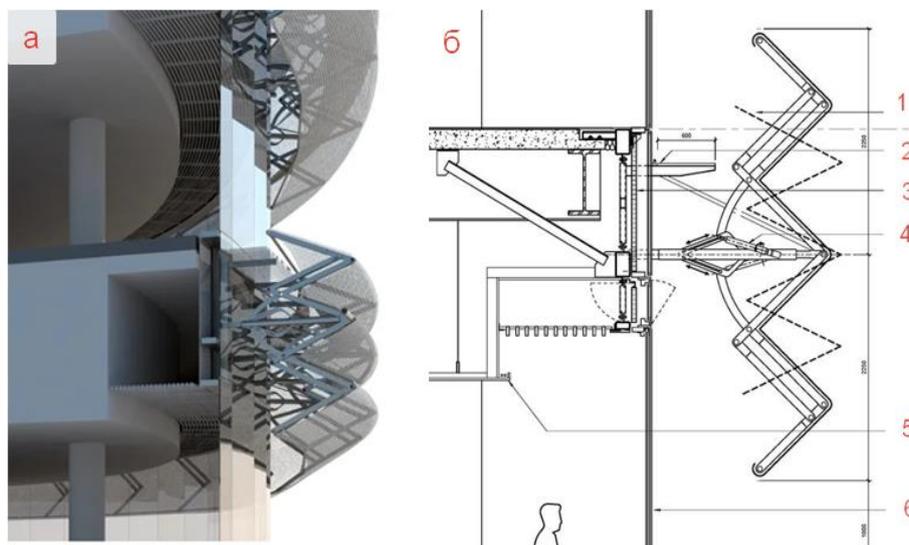
растяжением (или сжатием) — имеет место продольная деформация элементов фасада в случае приложения к ним нагрузки по отношению к продольной оси, что обеспечивается благодаря использованию гибких материалов либо гибких соединений между элементами;

раздвижкой (равномерной и неравномерной) — происходит изменение некоторых элементов фасадной системы полностью на определенную длину или с наклоном и др.

Используются также комбинированные технологии на основе совмещения различных подъемных, раздвижных и выдвигаемых механизмов.

Механизмы, обеспечивающие выполнение перечисленных технологий, представлены в электронном ресурсе¹.

На рисунке 2 приведен фрагмент адаптивного фасада и конструкция механизма, позволяющая изменить пространственное положение фасадного элемента технологией «сложение» (эффект «складного зонта»).



1 — складчатый экран; 2 — платформа из алюминиевого профиля с системой защиты; 3 — теневая составляющая из изолированной композитной металлической панели; 4 — линейный привод; 5 — свет в нише; 6 — стеклопакеты с опорой на рифленую кромку

Рисунок 2. Изменение пространственного положения элементов адаптивного фасада технологией «сложение»: а — фрагмент фасада; б — конструкция механизма (<https://yazdanistudioresearch.wordpress.com/2011/11/15/cj-rd-center-kinetic-facade>)

Перечисленные технологии после некоторых модификаций или в первоначальном виде можно использовать при создании горизонтальных и наклонных светопрозрачных адаптивных систем.

Ранее отметили, что возможными способами экономии искусственного света при реконструкции промышленных зданий являются различные варианты верхнего естественного освещения; использование светоаэрационных фонарей и др., которые должны быть учтены при реконструкции промышленного здания.

На рисунке 3 представлен внешний вид промышленного здания в нескольких положениях после реконструкции. При этом здание перепрофилировано, изменены объемно-планировочные решения, увеличена площадь наружных вертикальных светопрозрачных покрытий, частично спроектированы двухслойные стеклянные оболочки, на горизонтальных светопрозрачных покрытиях дополнительно установлены панели с целью получения альтернативного источника энергии — энергии солнца.

¹ <https://ru.pinterest.com/>.

Как видно из рисунке 3, панели с солнечными батареями меняют свое изначальное геометрическое положение в нескольких направлениях. Обратим внимание на то, что в данной статье представлено лишь три варианта адаптации панелей, хотя современные технологии позволяют не ограничиваться приведенными тремя вариантами.

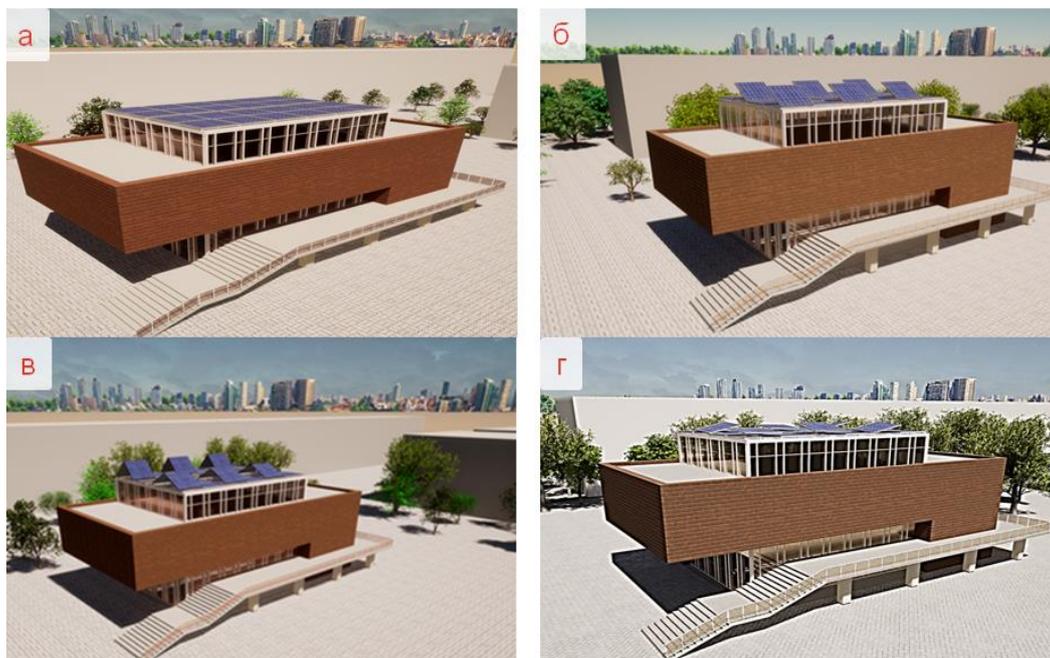
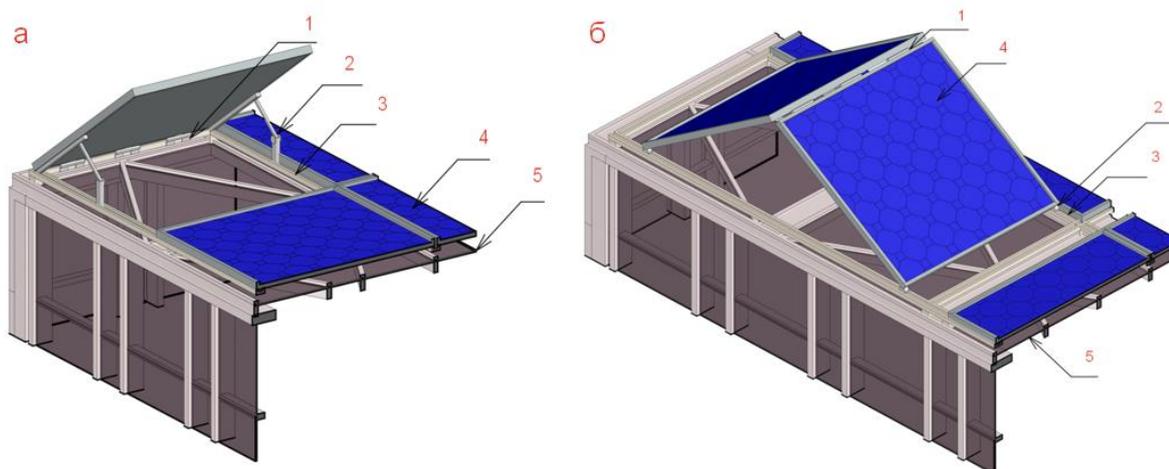


Рисунок 3. Внешний вид промышленного здания с адаптивными солнечными панелями: а — панели в горизонтальном положении; б — панели в наклонном положении с одной стороны; в — панели в наклонном положении с двух сторон; г — панели в наклонном положении и подняты (авторская работа Акоюн Г.О.)

Рассмотрим технологии адаптации панелей с солнечными батареями (рис. 4).

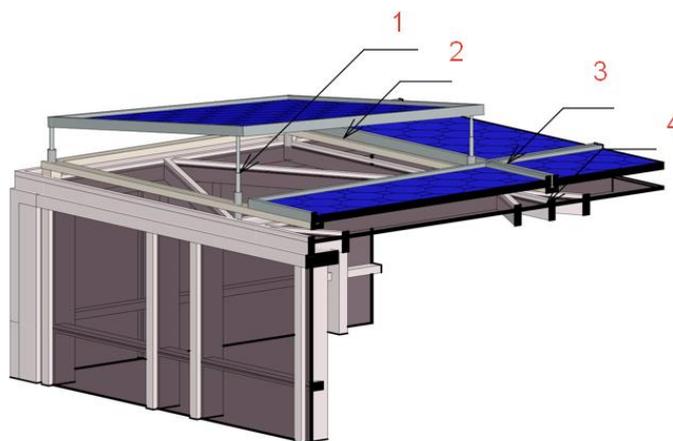


1 — петли; 2 — механизмы, обеспечивающие изменение пространственного положения (а — подъемный механизм, б — роликовый механизм); 3 — каркас, на который опирается (подъемный) или обеспечивает движение (роликовый) механизмов; 4 — панель с солнечными батареями; 5 — светопрозрачное горизонтальное верхнее покрытие

Рисунок 4. Изменение пространственного положения панелей с солнечными батареями: а — подъемом; б — комбинированной технологией (скольжением и сложением) (разработано авторами)

На рисунке 4а представлено изменение геометрического положения (адаптация) панели посредством подъемно-выдвижного механизма, т.е. технологией частичного подъема, поскольку одна сторона панели остается на прежнем месте. На рисунке 4б представлена комбинированная технология (скольжения и сложения) адаптации панели посредством роликового механизма. Механизм работает с пульта управления, так как предусмотрено встречное движение роликов, панель складывается в местах установки петель. Угол наклона панелей в обоих случаях зависит от направления солнечных лучей, регулируется автономно или пользователем.

Разработана технология адаптации панелей с помощью телескопических подъемных механизмов (рис. 5), они и служат в качестве опор-стоек.



1 — механизм, обеспечивающий изменение пространственного положения (телескопическая стойка); 2 — каркас, на который опирается подъемный механизм; 3 — панель с солнечными батареями; 4 — светопрозрачное горизонтальное верхнее покрытие

Рисунок 5. Изменение пространственного положения панелей с солнечными батареями с помощью автоматизированных телескопических стоек (технологией неравномерного подъема) (разработано авторами)

При этом панели поднимаются вверх неравномерно: как указано, у каждой условной опоры своя высота подъема. По мере изменения направления солнечных лучей высота подъема телескопических опор-подъемников может изменяться, что достигается с помощью программного управления. Если климатические условия не позволяют аккумулировать солнечную энергию или существуют иные причины, то опоры-подъемники можно поднять — с целью увеличения освещенности здания естественным светом.

Интегрировав данные разработки с разработками, представленными в [20], можно создать благоприятные условия для производственной деятельности людей после реконструкции промышленного здания.

Заключение

Необходимо отметить, что одной из основных форм развития современного промышленного производства является реконструкция, направленная на внедрение энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий не только на стадии эксплуатации, но и при выполнении демонтажных, ремонтно-строительных, монтажных и других видов работ.

В данной работе рассмотрены лишь некоторые направления обеспечения энергоэффективности реконструируемых промышленных зданий на основе применения адаптивных светопрозрачных покрытий, которые успешно применяются при возведении

зданий и сооружений любого функционального назначения и различных объемно-планировочных решений. При реконструкции требуется индивидуальный подход: обеспечение энергоэффективности одних зданий, даже экономически обоснованное, может быть неприемлемым для других. Нужно учесть и географическое положение, и климатические условия местности, используя существующие цифровые технологии.

Хотя энергоэффективная реконструкция промышленных зданий на основе применения светопрозрачных покрытий обеспечивает высокую технологичность выполнения работ, на современном этапе их применения необходимы более совершенные разработки организационно-технологических, экономических, новых технических решений. Объясняется это тем, что повышается технический уровень, качество выпускаемой продукции на основе существующего промышленного потенциала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейн В.В. Обзор существующих подходов к архитектурной реконструкции промышленных зданий // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4474> — (дата обращения 03.11.2021).
2. Гулак Л.И., Фалькина Ю.Ю. Исследование возможностей реконструкции промышленных зданий // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Материалы межрегиональной научно-практической конференции «Высокие технологии в экологии». — 2012. — № 1. — С. 77–80.
3. Bedon C., Zhang X.H., Santos F., Honfi D., Kozłowski M., Arrigoni M., Figuli L., Lange D. Performance of structural glass facades under extreme loads — Design methods, existing research, current issues and trends // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 163. Pp. 921–937. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.153.
4. Koo B., Lee K., An Y., Lee K. Solar Heat Gain Reduction of Ventilated Double Skin Windows without a Shading Device // Sustainability. 2018. Vol. 10 (Iss. 1). Article number: 64. DOI: 10.3390/su10010064.
5. Vigna I., Bianco L., Goia F., Serra V. Phase Change Materials in Transparent Building Envelopes: A Strengths, Weakness, Opportunities and Threats (Swot) Analysis // Energies. 2018. Vol. 11 (Iss. 1). Article number: 111. DOI: 10.3390/en11010111.
6. Фисенко А.А., Бассе М.Е. Энергоэффективность промышленной архитектуры: современная теория и практика // Архитектура и современные информационные технологии. — 2013. — № 2(23). 13 с.
7. Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания — состояние, проблемы и пути решения. — Иваново: ПресСто, 2016. — 276 с.
8. Абрамян С.Г. Строительные энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии: монография. — Москва: РУСАЙНС, 2022. — 286 с.
9. Абрамян С.Г., Ишмаметов Р.Х. Устройство светопрозрачных покрытий современных зданий и сооружений: материалы и технологии. — Волгоград: ВолГТУ, 2017. — 132 с.
10. Магай А.А., Дубынин Н.В. Светопрозрачные фасады высотных многофункциональных зданий // Вестник МГСУ. — 2010. — № 2. — С. 14–21.

11. Абрамян С.Г., Котляревский А.А., Саутиев А.У. Энергоэффективные фасадные системы и применяемые строительные материалы // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, № 6(2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/40TVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
12. Parra, J., Guardo, A., Egusquiza, E., Alavedra, P. Thermal Performance of Ventilated Double Skin Facades with Venetian Blinds. ENERGIES. (2015); Volume: 8 (Iss. 6); pp. 4882–4898. DOI: 10.3390/en8064882.
13. Figaszewski J., Sokolowska-Moskwiak J. The Concept of Multifunctional Wall — an Energy System Integrated in a Single Wall // Architecture Civil Engineering Environment. 2017. Vol. 10 (Iss. 1). Pp. 5–10.
14. Bekler C., Aycam I. Göksen F. Evaluation of Climate Adaptive Building Skins in the Last Decade. Periodica Polytechnica Architecture. 2022. Vol. 53(1). Pp. 82–94. DOI: 10.3311/PPar.18279.
15. Shady A., Romain L., Quentin D. Future trends and main concepts of adaptive facade systems. Energy Science and Engineering. 2020. Vol. 1. Pp. 1–18. DOI: 10.1002/ese3.725.
16. Voigt M., Roth D., Kreimeyer M. Main Characteristics of Adaptive Façades. Proceedings of the Design Society. 2022. Vol. 2. Pp. 2543–2552. DOI: 10.1017/pds.2022.257.
17. Коуркин С.В., Чулков В.О. Рациональный выбор ограждающих конструкций жилого строения, как киберфизических систем, по критерию энергоэффективности // Вестник Евразийской науки, 2020 № 5, <https://esj.today/PDF/32SAVN520.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/32SAVN520.
18. Attia S., Lioure R., Declaude Q. Future trends and main concepts of adaptive façade systems // Energy Science & Engineering published by the Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd, Liege, Belgium, 2020, P. 1–18.
19. Struck Ch., Almeida M., Silva S., Mateus R., Lemarchand Ph., Petrovski A., Rabenseifer R., Wansdronk R., Wellershoff F., De Wit J. Adaptive facade systems — review of performance requirements, design approaches, use cases and market needs. 2015. 10th Energy Forum on Advanced Building Skins At: Bern (CH) Vol.: 1. DOI: 10.13140/RG.2.1.2023.8165.
20. Михеев Г.В., Капогузова Е.Я., Юрий А.В., Халиуллин Т.Д., Халили Ф. Инженерные и архитектурные технологии проектирования зданий с учетом климатических особенностей территории // Вестник Евразийской науки, 2021 № 1, <https://esj.today/PDF/02SAVN121.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

Abramyan Susanna Grantovna

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
Small Innovative Enterprise Grantmipus, Volgograd, Russia
E-mail: susannagrants@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3938-1096>
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=589709
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6508040964>
Web of Science: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/C-7099-2016>

Sabitova Tatyana Anatol'evna

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
E-mail: ta.sabitova@gmail.com
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=554127
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205656211>

Akopyan Grachui Ovikovna

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
E-mail: akopyangr.2015@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-1028>

Soboleva Ekaterina Dmitrievna

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia
E-mail: eka11.97@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1083-1863>
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1154169

Improvement of energy efficiency of reconstructed industrial buildings based on adaptive transparent coatings

Abstract. The paper discusses certain mainstream trends in improving energy efficiency of industrial buildings during their reconstruction at various lifecycle stages, highlighting the importance of achieving energy efficiency with the use of transparent coatings. Based on a review of research publications, the architectural and technical arrangements have been identified to achieve energy efficiency of structural systems. Emphasis is placed on the development of new technical solutions and upgrading the existing organizational, technological and economic solutions for introducing adaptive transparent exterior coatings in the reconstruction of industrial buildings. A brief description of the most common transparent façade systems (TFS) is provided specifying the design features of column-and-beam, modular and spider type systems. The paper gives the basics of adaptive transparent coatings and describes their intended purpose, types and materials, as well as adaptive element controls, related technologies and their characteristics allowing for spatial reorientation of adaptive elements of façade systems.

Because customization of vertical exterior coatings for structural systems aimed at ensuring energy efficiency depends not only on technologies, but also on mechanisms involved, the review of a number of research publications and electronic resources helped single out the mechanisms most commonly used to change the geometric position of adaptive elements of vertical, horizontal and inclined transparent exterior coatings. A potential use of adaptive panels with solar batteries was considered as an alternative energy source, addressing the specific technologies for spatial reorientation of panels with the use of various hoisting and draw-out mechanisms with roller supports and telescopic tower stands.

A further point is made that the use of adaptive transparent envelope elements is one of the most marketable and up-to-date methods of providing comfortable conditions for human activities.

Keywords: transparent exterior coatings; spatial reorientation; technologies; mechanisms