УДК 69.059:692.23

DOI:10.22227/2305-5502.2021.3.6

Обоснование технических решений фасадов реконструируемых промышленных зданий из условий энергосбережения и безопасности

А.А. Медведев

Главное управление MЧС России по Московской области (ГУ МЧС России по МО); Московская область, г. Химки, Россия

РИДИТОННА

Введение. Осуществляя реконструктивные мероприятия, можно восстановить производственные фонды предприятия, добиться экономической эффективности, решить транспортные и экологические проблемы. Актуальная задача — определить комплекс наиболее важных вопросов при реконструкции промышленного объекта. Разработка проектных предложений по реконструкции промышленных зданий усложняется тем, что, ориентируясь на использование новейших эффективных материалов и современные индустриальные конструкции, проектировщику необходимо композиционно увязать «старую» и «новую» архитектуру, различную по стилю и функциональности. Описаны особенности использования технических решений фасадов при реконструкции промышленных зданий для обеспечения энергосбережения и безопасности.

Материалы и методы. Реконструкция промышленных предприятий выполняет функцию преобразования промышленных территорий. Современная промышленная архитектура нацелена на выполнение производственных задач, таких как защита рабочего места от негативного воздействия окружающей среды (ветер, дождь, холод); организация эффективной освещенности рабочих мест; рациональное размещение рабочих мест, оборудования и производственных линий, вспомогательных и служебных помещений и др.

Результаты. Для того чтобы улучшить условия в старых промышленных зданиях и изменить их технико-экономические характеристики, если существуют социальные и историко-архитектурные причины сохранения постройки, необходимо провести реконструкцию. Реконструкция здания — это переустройство для полного или частичного изменения его назначения с учетом дальнейшей перспективы.

Выводы. При восстановлении изношенных элементов зданий, имеющих историческую ценность, изготавливают новые элементы таким образом, чтобы облик не изменился или принял свой исторический первоначальный вид. Большинство промышленных объектов, построенных до принятия закона об энергоэффективности зданий, не соответствует современным нормативным требованиям к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: промышленные здания, фасады, архитектура, теплоизоляция, энергоэффективность, реконструкция, панели, безопасность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: *Медведев А.А.* Обоснование технических решений фасадов реконструируемых промышленных зданий из условий энергосбережения и безопасности // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11. Вып. 3. Ст. 6. URL: http://nso-journal.ru DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.6

Justification of technical solutions for facades of reconstructed industrial buildings in terms of energy saving and safety

Alexander A. Medvedev

Main Department of the Ministry of Emergency Situations of Russia in Moscow Region; Moscow region, Khimki, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Reconstruction measures can restore production assets of an enterprise, ensure its economic efficiency, solve transportation and environmental problems. A relevant objective is to identify a set of the most important tasks of reconstruction of an industrial facility. Development of draft design proposals for the reconstruction of industrial buildings is complicated by the fact that a designer has to make a compositional link between "old" and "new" architecture, different in style and functionality, while focusing on the use of the most advanced effective materials and modern industrial structures. The article describes features of technical solutions for facades in the course of the reconstruction of industrial buildings aimed at the improvement of their energy efficiency and safety.

Materials and methods. Reconstruction of industrial enterprises performs the function of transformation of industrial areas. Modern industrial architecture is focused on industrial tasks, such as the workplace protection from negative environmental effects (wind, rain, cold); arrangement of effective lighting in the workplaces; rational arrangement of workplaces, office equipment and production lines, auxiliary and service facilities, etc

Results. If there are social, historical, and architectural reasons to preserve a building, it is necessary to reconstruct and improve old industrial buildings and change their technical and economic characteristics. The reconstruction of a building means its modification aimed at changing its functionality in part or in full, taking into account the future prospects of the building.

98 © А.А. Медведев, 2021

Conclusions. When restoring wornout elements of buildings that have historical significance, new elements are made in such a way that the appearance of a building remains unchanged or looks identical to its original historical appearance. Most industrial buildings, built before the law on energy performance of buildings was enacted, do not meet current regulatory requirements in terms of the thermal protection of the building enclosur.

KEYWORDS: industrial buildings, facades, architecture, thermal insulation, energy efficiency, reconstruction, panels, safety

FOR CITATION: Medvedev A.A. Justification of technical solutions for facades of reconstructed industrial buildings in terms of energy saving and safety. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2021; 11(3):6. URL: http://nso-journal.ru. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.3.6 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

В новых социально-экономических условиях главной задачей любого производства является повышение технического уровня и качества выпускаемой продукции, внедрение энергосберегающих технологий путем строительства новых сверхсовременных комплексов, а также восстановления существующего промышленного потенциала страны¹. Реконструкция и техническое перевооружение отдельных промышленных предприятий выполняют структурообразующую функцию преобразования промышленных территорий и восстановления архитектурного облика городов, позволяют устранить противоречия между производством с устаревшим оборудованием и коммуникациями, не соответствующим современным экологическим нормам, и населением.

материалы и методы

Здание, как архитектурный объект, становится промышленным при уточнении характера процесса. Процесс называется промышленным при широком использовании машин, механизмов и оборудования, разделении на технологические операции выпуска серийной продукции. Так появилось промышленное или производственное здание, которому потребовались организация особого пространства для его технологий, различных по назначению и, как следствие, разные материальные, пространственные и архитектурные характеристики. История промышленного здания как начало промышленной архитектуры рассматривается в обзоре общемировой практики строительства и насчитывает более трехсот лет [1]. Историческая ретроспектива промышленного здания позволяет понять механизмы формирования производственных сооружений, особенно их пространственные организации, а также направления их возможного развития в будущем и развития промышленного строительства.

Если проводить сравнительный анализ среди проектов промышленных зданий, применения технологий строительства и стройматериалов, то

можно выделить несколько этапов развития промышленной архитектуры. Все промышленные сооружения, когда массовый процесс производства продукции находился в зачаточном состоянии и использовался ручной труд, можно назвать как «доиндустриальные», а этот период экономики — «доиндустриальным» [2].

После начала промышленной революции, когда машины стали вытеснять ручной труд, появилась необходимость в строительстве функциональных и практичных зданий. Этот период условно можно назвать «становлением индустрии» и началом эпохи индустриального строительства. По мере того, как процессы производства все более автоматизировались в начале XX в., к промышленным сооружениям предъявлялись новые требования с учетом особенности будущего производства, поэтому такой подход считается второй промышленной революцией, открывшей начало новой эры функционализма в архитектуре. Данный этап смело можно назвать «индустриальным» периодом [3].

В это время появляются стандартизированные и унифицированные размеры сечений для каждого типа производственных сооружений, что привело к снижению затрат на строительство заводов и других промышленных объектов, но это обезличило производственную архитектуру, так как сделало ее невыразительной и стандартной².

Этап с конца XX в. и по настоящее время обозначим как «постиндустриальный», поскольку с переходом промышленности на всеобщую автоматизацию, инжиниринг производств, применение энергосберегающих технологий начался новый период в истории промышленной архитектуры. При проектировании в промышленном строительстве упор делается на условия труда человека, безопасность, комфорт и удобство.

Современная промышленная архитектура четко нацелена на выполнение производственных задач, таких как защита рабочего места сотрудника от негативного воздействия окружающей среды (ветер, дождь, холод); организация эффективной освещенности рабочих мест; рациональное размещение рабочих мест, оборудования и производственных линий, вспомогательных и служебных помещений

¹Что такое реконструкция здания и как ее провести // Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Краснодарскому краю. Туапсинский отдел. 09.10.2019. URL: https://frskuban.ru/index.php?option=com/content&view=article&id=64017:2019

² История развития промышленной архитектуры : справочник. URL: https://spravochnikvs.com/istoriya_razvitiya_promyshlennoj_arhitektury

Строительство: Vol. 11. ISSUE 3 (40) наука и образование

и многое другое³. Объемно-планировочных и конструктивных решений для промышленных зданий, классифицируемых по отраслям производства, сейчас большое разнообразие, основной выбор зависит от технологических требований к выпускаемой продукции.

Отрасль производства — составная часть народного хозяйства, к которой относятся транспорт, сельское хозяйство, промышленность, строительство и др. По назначению промышленные объекты подразделяются на производственные, в которых происходят основные технологические процессы (прокатные и сборочные цеха, кондитерские и ткацкие цеха и т.д.); подсобно-производственные; энергетические (ТЭЦ, компрессорные и другие станции); транспортные; складские; санитарно-технические (насосные и очистные станции); административные и бытовые здания⁴. Также к промышленным сооружениям относятся резервуары, дымовые трубы, эстакады, опоры, мачты и пр. По капитальности различают четыре класса сооружений.

Для каждого класса установлены требуемые эксплуатационные качества, а также огнестойкость, долговечность и прочность. По пределу огнестойкости строительных конструкций промышленные здания также делятся на 4 группы, где предел огнестойкости устанавливается в минутах до наступления признаков предельного состояния конструкции. Требуемая степень огнестойкости здания — одна

из задач разработчика еще на стадии проектирования предела огнестойкости, эти данные изложены в ТКП 45-2.02-142-2011. Примерно 80 % промышленных зданий — одноэтажные (это — главный классификационный признак по этажности), так как в них лучшие условия для размещения оборудования, применения транспортных средств, грузоподъемных механизмов.

Многоэтажные промышленные здания строятся для производств с легким технологическим оборудованием или продукцией, которую размещают на междуэтажных перекрытиях [4].

В эпоху «индустриального» строительства основой промышленной архитектуры стало строительство из сборных железобетонных конструкций, превращая процесс в сборку здания из готовых элементов. Появилась новая отрасль промышленности — заводостроительные и домостроительные комбинаты.

Стены являются важным конструктивным элементом промышленных зданий и в общей стоимости одноэтажных зданий составляют 10 %, а в многоэтажных 20 % затрат².

С целью снижения стоимости и трудоемкости на 1 м² стены старались изготавливать из местных строительных материалов и отходов промышленного производства, поэтому легкобетонные панели и панели с обшивкой металлическим листом нашли широкое применение в промышленном строительстве во второй половине ХХ в. [5]. Для зданий с повышенной влажностью или агрессивной средой, связанной с производством изготавливаемой продукции, и зданий небольших размеров с большим количеством дверей, ворот и технологических отверстий устраивали стены из кирпича (рис. 1).



Рис. 1. Промышленное здание с кирпичными стенами, построенное в 1964 г.

³ Какие нормы Градостроительного кодекса и других законов регулируют процесс реконструкции. URL: https://www.law.ru/article/22393-rekonstruktsiya-soglasno-normam-gradostroitelnogo-kodeksa-rf

⁴ Реконструкция зданий. ООО «ИЦ "СтройЭксперт"». URL: https://stroy-ek.ru/article/rekonstruktsiya-zdanij/

Строительство: Vol. 11. ISSUE 3 (40)

При ресурсосберегающей политике того времени снизить материалоемкость здания стало возможным посредством строительства производственных зданий из крупных бетонных блоков, изготавливаемых из легких бетонов — керамзитобетона, аглопоритобетона, перлитобетона, шлакопемзобетона и других, которые появились благодаря активным разработкам новейших добавок к бетону, массово разрабатываемых для повышения свойств строительного бетона, и одновременно его удешевления [6].

Различные свойства новых материалов позволили создавать разнообразные конструкции панелей, отвечающие заданным условиям эксплуатации возможностью изготовления, транспортирования и удобства монтажа. Пример промышленного крупнопанельного сооружения показан на рис. 2.

В качестве вертикальной, облегченной конструкции для неотапливаемых зданий каркасного типа и зданий с избыточным тепловыделением использовали асбестоцементные, алюминиевые и стальные листы. Для ограждений одноэтажных производственных зданий с неагрессивной или слабоагрессивной средой стали применяться стены из узких трехслойных панелей с металлическими обшивками типа «Сэндвич» (серия 1.432.2-12).

Они нашли широкое применение в районах с относительной влажностью не более 60 %, с минимальной температурой наружного воздуха не ниже 65 °С, выявились их значительные преимущества за счет сокращения сроков и снижения стоимости строительства благодаря упрощению строительных решений. Панели изготавливались с обшивкой из стального оцинкованного листа толщиной 0,8 мм или из алюминиевых сплавов с заливочным пено-

полиуретаном в качестве среднего теплоизоляционного слоя.

Трехслойные панели имели номинальную ширину 1 м, длину от 2,4 до 11,4 м (кратно 0,6 м) и толщину от 46,6 до 100 мм. Различались панели также и по очертанию поперечного сечения продольных кромок:

- симметричная кромка в виде паза и гребня;
- кромка с одинаковыми выступающими кромками в виде «кулачков»;
- несимметричные кромки в виде паза и гребня [7].

Развитие данного вида каркасного строительства происходило невероятными темпами, и в короткие сроки появилось огромное количество типовой документации на конструкции, включающие в себя множество новых серий: серия 1.432.2-17, серия 1.432.2-24, серия 1.432-14/80 и др. Один из примеров представлен на рис. 3.

Бетонные и кирпичные промышленные здания, построенные, например, по сериям 1.432.1-31.93, 1.432.1-22, 1.432.1-26 и другим, проектировались по актуальным типовым проектам того периода. Некоторые из них морально устарели, многие серии отменены. Связано это с тем, что теплотехнические требования к ограждающим конструкциям по устаревшим сериям были значительно ниже, а энергоресурсы для отопления настолько дешевы, что тратиться на дорогие энергоэффективные материалы стен было экономически невыгодно. Теплоизоляция и изоляционные материалы не рассматривались архитекторами и проектировщиками в качестве перспективного строительного материала, эта отрасль, например производство теплоизоляционной базаль-



Рис. 2. Корпус бывшего фарфорового завода, построенного из крупных облегченных бетонных панелей



Рис. 3. Промышленное здание из стеновых сэндвич-панелей

товой или «каменной» ваты, только начала развиваться в данном направлении. Чаще всего применялась достаточно не экологичная стекловата — дешевая, но вредная для здоровья из-за формальдегидных смол в составе [8]. Современные типовые серии наружных ограждающих конструкций промышленных зданий подразумевают значительно большее термическое сопротивление и использование современных более эффективных утеплителей [9]. Данные фасадные системы позволяют не только изменить внешний вид сооружения, но и повысить его теплоизоляционные свойства, а также сократить сроки строительства, что для частного предпринимательства — один из важнейших факторов. Принятый в 2003 г. СНиП 23-02-2003 изменил нормы и правила к уровню теплозащиты здания с целью экономии энергии, тем самым удалось повысить энергоэффективность строящихся объектов и реконструировать промышленные здания, устаревшие морально и физически.

В 2009 г. Государственной Думой принят Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», в котором определен комплекс мер по реализации экономии за счет энергоэффективных товаров и услуг. За последние 10–15 лет появились не просто новые материалы, а разработаны целые системы ограждающих конструкций, требующие изучения конструктивно-технологических особенностей фасадных систем. Без этого невозможно грамотное их проектирование и возведение. На многие современные, появившиеся сравнительно недавно материалы для утепления наружных стен с внешней стороны государственные стандарты еще не разработаны.

Для того чтобы улучшить условия в старых промышленных зданиях и изменить их технико-экономические характеристики, если существуют социальные и историко-архитектурные причины сохранения постройки, необходимо провести реконструкцию (п. 14. Ст. 1. Градостроительный кодекс РФ). При выполнении реконструкции можно изменить количество этажей, площадь здания, на крупных промышленных объектах реконструкция может коснуться целого комплекса сооружений, которые расположены на прилегающей территории для создания единого архитектурного ансамбля. Реконструкция здания это переустройство для полного или частичного изменения назначения с учетом дальнейшей перспективы здания. При реконструкции производят частичную разборку, изменение планировки, замену инженерного оборудования, делают надстройки и пристройки, улучшают архитектурную выразительность здания. Для промышленных зданий реконструкция может включать замену оборудования на более современное — тогда это техническое перевооружение, а может менять здание за счет пристроек и замены его оснащения — тогда это преобразование. В зависимости от состояния здания проводится строительно-техническая экспертиза, и по результатам обследования принимается решение по типу реконструкции, виду реконструкции — полная или «комплексная», малая или «частичная», утверждается перечень работ. К реконструкции зданий и сооружений относятся следующие виды работ [10]:

- перепланировка и увеличение высоты помещений, добавление пристроек и надстроек;
 - частичная разборка и замена конструкций;
 - усиление несущих конструкций;
- усиление или укрепление фундамента (цементизация, устройство набивных свай, битумизация и др.);

- улучшение фасада объекта, оштукатуривание и окраска, утепление и окраска, добавление дверных и оконных проемов;
 - замена инженерных коммуникаций;
 - реорганизация объекта;
- проведение кровельных работ (замена гидроизоляционных материалов и утеплителей, усиление крыши, изменение уклона, замена стропильной системы и т.п.).

При восстановлении изношенных элементов зданий, имеющих историческую ценность, изготавливают новые элементы таким образом, чтобы облик здания не изменился или принял свой исторический первоначальный вид. В современной реконструкции для такого рода работ используют два основных метода [11]. Первый, так называемый «мокрый», с применением штукатурных растворов.

Второй — «сухой» с использованием конструктивных навесных элементов, предусматривающих наличие воздушной прослойки между облицовочным наружным экраном и утеплителем. Такое решение получило название «вентилируемого фасада». Обязательным условием при этом является закрепление таких изделий без раствора или клея при помощи клипс, защелок и кронштейнов. Сегодня рынок предлагает для такого вида фасадов огромное разнообразие отделочных материалов, отличающихся свойствами, составом, массой, размерами. Для каждого вида облицовочного материала необходимо подобрать соответствующую конструкцию каркаса⁵. Каркасные системы изготавливают из оцинкованной стали, нержавеющей стали и алюминия. Для керамогранита, фиброцемента, композитных материалов, натурального камня используют более дешевую и пожаробезопасную подсистему из оцинкованной стали. При реставрации зданий рекомендуется применять систему из алюминия, так как это — самый легкий вариант каркасной системы, хотя его минусом является низкая температура плавления, не во всех регионах используется из-за нарушения норм пожарной безопасности. Если система предназначена для кирпича или бетона, то крепление происходит прямо в стену. От внешнего влияния осадков и механических воздействий — сначала стену защищает внешняя облицовочная панель, а влага, скопившаяся в массиве здания и внутри помещения, выводится в вентилируемую зону. Данный эффект пароизоляции надежно защищает от конденсата, пара, сырости и создает комфортный микроклимат внутри помещения. Благодаря утеплителю, уложенному под облицовку, теплопотери сокращаются в 2-3 раза, срок службы стены увеличивается из-за сокращения количества циклов замерзания.

Второй рассматриваемый способ — «мокрый», с применением штукатурных растворов. Он наиболее востребован при утеплении и реконструкции старых зданий, так как позволяет практически воссоздать первоначальный внешний вид с помощью штукатурного слоя, но и в новом строительстве получил широкое распространение из-за более дешевого способа монтажа. Как и каркасный фасад, данный вид теплоизоляции также дает возможность беспрепятственно выпускать пар из сооружения, давая стенам «дышать» и не накапливать внутри влажность.

Основные преимущества штукатурных фасадов — небольшой вес, что исключает дополнительную нагрузку на фундамент, а также простота монтажа и, как говорилось раньше, более дешевый способ монтажа и самой системы. Плотное прилегание к стене и прилегание других слоев «пирога» друг к другу значительно уменьшают возникновение мостиков холода, следовательно, достигаются более высокие показатели энергоэффективности. Использование теплоизоляционных плит из минеральной ваты имеет преимущество перед рулонными утеплителями — выравнивание поверхности под штукатурку практически сводится к минимуму.

В отличие от вентилируемых и штукатурных фасадов, где они не несут нагрузку и не являются конструктивным элементом, существует система, которая выполняет, прежде всего, теплозащитные функции, а также стала частью каркаса здания [12].

При проектировании легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) учитывают требования пожарной безопасности, установленные в СНиП⁶ на здания различного назначения. Легкие стальные тонкостенные конструкции представляют собой каркас из тонкой стали толщиной 3-4 мм. Конструкция ЛСТК получила широкое признание и стала использоваться для строительства жилых зданий небольшой высотности, складов, автостоянок, торговых центров, больниц, школ и др. [13]. Объясняется такая популярность несколькими положительными моментами — здания, возведенные с применением ЛСТК, отличаются геометрической точностью, легкостью конструкции и отсутствием усадки. Простота сборки, компактность комплектующих и отсутствие необходимости в грузоподъемной и тяжелой грузовой технике позволяют успешно использовать ЛСТК для пристроек, надстроек с повышением этажности при реконструкции.

Каркасы из ЛСТК с типовой отделкой без использования легковоспламеняющихся материалов с успехом проходят пожарные испытания и относятся к сооружениям III степени огнестойкости

⁵ Встречают по одежке: вентилируемые фасады. Преимущества и недостатки. URL: https://tion.ru/blog/ventiliruemye-fasady/

⁶ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-Ф3 (последняя редакция).

с пределом огнестойкости R 45/E 15 и классом пожарной опасности КО (45). В зонах с наиболее высоким риском воспламенения (котельные, кухни) может применяться дополнительная защита в виде еще одного слоя огнестойких плит. Кроме того, конструктивные особенности ЛСТК отвечают высоким требованиям по взрывобезопасности и поэтому широко используются для строительства котельных, компрессорных, заправочных станций и других специальных зданий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассматривая ЛСТК с точки зрения энергоэффективности, по сравнению с любой другой строительной технологией, показатели теплопотерь были наименьшими, так как использование термопрофилей, теплоизоляции, парозащитной и ветрозащитной мембран в стенах и перекрытиях позволяет устроить из ограждающих конструкций своеобразный термос, который в закрытом состоянии может хранить тепло до 2–3 суток, не требуя дополнительного отопления, а в жаркое время года существенно снизить потребность в кондиционировании.

Конструкцию ЛСТК смело можно назвать экологичной, потому что каркас и минераловатные плиты внутри него поддаются вторичной переработке и могут быть полностью переработаны в новую продукцию. В качестве наружной общивки каркаса стен на основе ЛСТК может применяться большинство современных атмосферостойких материалов: сайдинг, профнастил, сэндвич-панели, фиброцементные панели и др. [14]. Во внутренней общивке также используется большое разнообразие материалов, выбор которых остается за потребителем, но, как правило, предпочтение отдается экологически чистым материалам.

Внутри каркаса в качестве утеплителя используются минеральная или базальтовая вата, которая считается антиаллергенной, как и сталь для каркаса. Снижение совокупных расходов на строительство, энергосбережение при эксплуатации здания делает технологию строительства ЛСТК наиболее экономичной среди существующих и более подходящей для реконструкции старых промышленных объектов.

В области фасадного утепления требования к пожаробезопасности объектов определены в техническом регламенте, который предписывает необходимость приоритетного выполнения противопожарных мероприятий. ГОСТ 31251-2003 устанавливает класс пожарной опасности наружных стен при наличии внешней изоляции, отделки толщиной более 0,5 мм, оклейки и облицовки. А также дает рекомендации на основе данных, полученных в результате огневых испытаний, по применению теплоизоляционных

систем для зданий определенного класса пожарной опасности и высоты 7 .

Одной из основных проблем пожарной безопасности фасадов любых типов остается использование горючих теплоизоляционных материалов. Для штукатурных фасадов главную угрозу представляет быстрое распространение огня по фасаду и на другие этажи здания в том случае, если применяется конструкция системы теплоизоляции на основе пенополистирола.

Согласно ГОСТ 30244-94 пенополистирол относится к группе горючих материалов (П-Г4) и воспламеняется при температуре 220–380 °C, а самовоспламеняется при 460-480 °C.

При температуре 280–290 °C начинается термодеструкция пенополистирола с выделением горючих газов, которые становятся еще большим катализатором распространения огня. К теплоизоляции в конструкции навесных фасадных систем применяются еще более серьезные требования пожарной безопасности, так как в воздушной прослойке между слоем утеплителя и облицовочным слоем возникает восходящее движение воздуха и, если теплоизоляционный материал горючий, то огонь в считанные минуты может распространиться по фасаду всего здания.

Поэтому в вентилируемых фасадах рекомендуется применять утеплители на основе каменной ваты, которая способна выдерживать температуру до 1000 °C. В этом случае теплоизоляционный материал будет препятствовать распространению огня, что повышает класс пожаробезопасности фасада.

Еще одним слоем в вентилируемом фасаде, который считается горючим материалом и быстро воспламеняется, считается ветрозащитная мембрана, хотя ее функция защитить теплоизоляционный слой от осадков и намокания. Именно влаговетрозащитная мембрана сыграла роль «зажженной спички» при возгорании самого высокого здания в центре г. Грозный в 2013 г. (рис. 4).

Решением данного вопроса стало уменьшение гигроскопичности теплоизоляции за счет увеличения ее плотности, что позволяет исключить мембрану из конструктива. Большинство облицовочных алюминиевых композитных панелей также не прошли натуральные огневые испытания по ГОСТ 31251-2003, которые относятся к группе горючести Г4, так как их возгорание происходит при температуре 120 °C. В качестве дополнительных противопожарных мероприятий специалисты рекомендуют устройство противопожарных коробов по периметру сопряжения фасада с оконными проемами, которые обрамляют контур окна

⁷ Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий. 2002. URL: https://lidermsk.ru/media/documents/44/445f822a59d9c131b abd3dd587a7920f.pdf



Рис. 4. Пожар в «Грозный-Сити»

и служат для изменения траектории факела пламени, вырывающегося из оконного проема при возгорании пожара внутри здания. Из облицовочных материалов специалисты по пожаробезопасности выделяют керамогранит, как потенциально опасный материал для внешнего слоя. Опасность керамогранита состоит в том, что, являясь негорючим материалом, при нагревании он растрескивается, в результате чего может произойти частичное обрушение фасада. Проектирование фасадной системы должно осуществляться с учетом особенностей и функциональности здания, а монтаж с четким соблюдением технологии [15]. Эти требования в равной мере применимы как для вентилируемых, так и для штукатурных фасадных систем.

Реконструкция промышленных объектов, как правило, затрагивает все основные элементы здания — фундамент, кровлю, стены, фасад. Реконструкция фасадной части заключается в планировочных и косметических работах — окраске, оштукатуривании, облицовке современными материалами, утеплении, создании дополнительных проемов дверей и окон, а иногда и в полной замене ограждающих конструкций. В промышленных зданиях способ эксплуатации сооружений определяет выбор метода реконструкции. Существует метод, когда остановка производства невозможна или экономически невыгодна, т.е. реставрация должна происходить на объекте, где производственные циклы не прекращаются, и при строительстве в здании будут присутствовать люди. В этом случае

на начальном этапе для минимизации потерь заказчика проектировщику надо условно разбить здание на узлы (или зоны) и разработать четкую последовательность выполнения работ так, чтобы были учтены минимальные перемещения строительной техники и оборудования из зоны в зону, предусмотрены дополнительные пути движения персонала или дополнительные входы и выходы.

Задача сводится к тому, чтобы локализовать реставрационные работы, ограничив их одной зоной, пока в другой зоне продолжаются производственные процессы; предусмотреть мероприятия и дополнительные конструкции, которые снизят шумовой эффект от работ, защитят помещения, оборудование и сотрудников от строительной пыли; разработать огнезащитные мероприятия повышенной степени, так как строительные и сварочные работы всегда являются потенциально опасными видами работ; совместно с заказчиком установить график работ с учетом разрешенного времени для проведения шумных строительных работ [16]. Если реставрируемое здание не относится к числу архитектурных памятников, то технологический цикл подготовки стен к реконструкции облегчается и удешевляется⁸. Происходит это с помощью специальных средств в несколько этапов:

• удаляется верхний слой краски или побелки с использованием современных агрессивных со-

⁸ Этапы подготовки фасадов для реставрации. URL: https://efee.ru/about/articles/etapy-podgotovki-fasadov-dlya-restavratsii/

ставов, после чего краску смывают или счищают вручную;

- снимается цементный штукатурный слой инновационными составами, в частности, с помощью органической сульфокислоты, которая размягчает отделку, а затем также вручную стену счищают или смывают;
- с целью реставрации кирпичной кладки после очистки от грязи и наслоений специальными составами, для закрепления части стены ее обрабатывают специальными пастами, содержащими фториды аммония с загустителем, а затем также вымывают их;
- удаляют грибковые отложения, плесень и мох механическим способом в два раза с помощью раствора, основой активного компонента которого является бор и четвертичные аммониевые соединения;
- высолы на кирпичной кладке зачищают и обрабатывают олигомерным реакционным раствором силоксана, что позволяет покрыть кирпич специальным защитным слоем;
- разрушенный бетон очищают от грязи и старых покрытий с помощью пескоструйного или гидроабразивного метода;
- трещины и крупные дефекты бетона заделывают специальным ремонтным раствором;
- для восстановления бетона применяют метод торкретирования или торкрет-бетонирования с помощью специальной смеси из портландцемента, заполнителя (песка, щебня, гравия), пластификаторов и ускорителей твердения.

После подготовки поверхности к реконструкции приступают непосредственно к реконструктивному этапу, для которого метод штукатурного фасада наиболее целесообразен, так как позволяет и утеплить объект, и воссоздать первоначальный архитектурный вид. Штукатурные фасады не требуют дополнительного каркаса, и теплоизоляционные материалы (рулонные или плитные) наносятся сразу на стену. Рулонный материал раскатывают по поверхности или вырезают элементы из него и крепят к стене специальными дюбелями в целях исключения провисания материала. Плитный утеплитель крепят также к стене специальным крепежом с круглыми шляпками. Иногда и тот, и другой утеплитель может быть приклеен к стене специальным застывающим клеем. После укладки утеплителя его поверхность закрывается и отделывается или облицовывается отделочным защитным слоем из различных материалов. «Мокрый» фасад проще называют штукатурным фасадом или «пирогом», так как он представляет собой конструкцию слоев, наносимых постепенно один за другим: сначала теплоизоляция, затем клей и пластиковые дюбеля, затем армирующую стекло сетку закрепляют клеевым раствором, затем основной слой штукатурки, грунтовки и краски [17].

Если по проекту необходимо придать реконструируемому зданию новый вид и стиль, спрятать неприглядный старый бетонный фасад за современными яркими отделочными панелями, то основным методом будет устройство навесного вентилируемого фасада. Конечно, предварительно необходимо рассчитать увеличение нагрузки за счет каркаса и облицовочного материала на существующий объект и, если все необходимые расчеты и проведенные методы по усилению грунта и фундамента позволяют использовать данный метод реконструкции, то выбор этой системы придаст ряд положительных свойств реконструируемому объекту:

- защита от внешних атмосферных воздействий;
- снижение расходов на отопление за счет укладки под облицовку слоя утеплителя;
- создание комфортного микроклимата внутри помещений, так как за счет естественной вентиляции фасада поддерживается термоизоляция, фасад становится солнцезащитным экраном;
- повышение звукоизоляции стен в два раза, что особенно актуально для цехов с шумным производством;
- обеспечение пожарной безопасности при использовании негорючих базальтовых матов в качестве теплоизоляционной прослойки;
- изменение внешнего вида объекта, создание уникального, неповторимого дизайна за счет применения и комбинирования отделочных материалов.

Способов монтажа фасадных систем существует много, и зависят они, прежде всего, от вида облицовочного материала и реконструируемой стены. Бывают варианты, что на одной стене здания можно прикрепить кронштейны к стене, а на другой, которая выполнена из крупноформатного кирпича с полыми отверстиями внутри, крепить вентилируемый фасад нельзя. В этом случае существует технология крепления вентфасада к монолитным межэтажным перекрытиям. Сами каркасные системы крепятся разными способами в зависимости от вида материала, например, профили из оцинкованной стали можно крепить вертикально и горизонтально, поэтому на фасадах собираются некие «клетки» из профилей. А каркас из алюминия возможно прикрепить только вертикально с любым шагом. Именно данные различия в используемых материалах для вентфасада создают множество методов монтажа и крепления навесных фасадов, это технологии:

- крепления керамогранита на кляммерах;
- монтажа кассетных фасадов;
- монтажа листов фиброцемента на заклепки;
- крепления клинкерного кирпича на планку;
- монтажа натурального камня скрытым способом;
- другие технологии, индивидуально разработанные для крепления стеклянных, металлических, композиционных и иных панелей к стене.

При любом методе крепления вентилируемого фасада к стенам первым этапом является разметка и нанесение контрольных точек для крепления с помощью рулетки или лазерного уровня, строго следуя данным проекта. Затем по разметкам закрепляют кронштейны с помощью анкеров с использованием паронитовой прокладки, которая препятствует появлению мостиков холода в стене. Важный момент на данном этапе — вынос кронштейнов на разную длину с учетом неровности стены, это еще один положительный момент вентилируемого фасада, так как позволяет компенсировать неровности поверхности. Затем крепится теплоизоляция при помощи дюбелей и часто для увеличения теплоизоляционных свойств ее монтируют из двух слоев, располагая слои со смещением относительно друг друга. Верхний слой выбирают повышенной плотности от 80 до 120 кг/м³, нижний слой — с плотностью не менее 50 кг/м³. Как было сказано выше, использование ветрозащитной мембраны является пожароопасным фактором, поэтому целесообразно выбрать верхний слой утеплителя с кэшированной поверхностью, которая защитит изоляцию от выдувания. Следующим этапом монтажа будет монтаж направляющих по разным схемам в зависимости от выбранного профиля — горизонтально, вертикально или перекрестно с помощью нержавеющих саморезов. Запрещено использование оцинкованных саморезов. Крепеж может быть либо из нержавейки, либо из алюминия. Если смонтировать алюминиевый каркас оцинкованными саморезами, то место крепления прогниет за год, потому что разные металлы (черный и цветной) вступают в химическую гальваническую реакцию [18]. И последний этап — монтирование облицовки фасада, которая крепится по-разному в зависимости от выбранного материала: на кляммеры, профили, каретки, горизонтальные планки. Вентилируемый фасад можно монтировать в любое время года и при любых температурах, что также служит его преимуществом при реконструкции зданий.

Изменение пространственно-архитектурной части реконструируемого объекта выполняют чаще всего с помощью технологии ЛСТК. Это позволяет в короткие сроки расширить или надстроить производственное помещение, а внешний отделочный материал применить тот же, что и для реконструкции основных несущих стен. Тем самым визуально невозможно будет понять после реконструкции, какие размеры и формы имело здание первоначально. Стены зданий по технологии ЛСТК представляют собой каркасную панель с наполнителем внутри из минеральной ваты и двухсторонней обшивкой.

Каркас стен ЛСТК состоит из стоечных С-образных термопрофилей с шагом 600 мм, закрепленных в поперечные направляющие профили П-образного

сечения. В каркасной системе прочность, жесткость и устойчивость здания создают пространственные рамные каркасы. Жесткость невысоких зданий обеспечивается поперечными рамами — фермами, а для устойчивости в продольном направлении используют жесткий диск покрытия — вертикальные металлические связи жесткости крестообразного или портального очертания.

Профили ЛСТК имеют высокую прочность, и при средней плотности стали 7,85 г/см вес 1 м² несущего профиля составляет около 30–45 кг, а вес 1 м² готового здания в среднем — 150 кг. Легкость конструкции и небольшой вес позволяют снизить нагрузку на фундамент или использовать его облегченную форму, тем самым расширить возможности строительства на нестабильных грунтах. Срок службы каркаса ЛСТК составляет от 50 до 80 лет и более, он не подвержен биологическим воздействиям, устойчив к грибкам, насекомым и грызунам⁹.

Большинство промышленных объектов, построенных до принятия закона об энергоэффективности зданий, не соответствует современным нормативным требованиям к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций¹⁰. Например, на территории Москвы и Санкт-Петербурга значения сопротивлений теплопередаче наружных стен не превышают 1 м².°С/Вт (0,98 м².°С/Вт для Москвы, 0,94 м².°С/Вт для Санкт-Петербурга). В 2000 г. с утверждением СНиП 23-02-2003 требования к уровню тепловой защиты значительно возросли и согласно СП 50.13330 требуемое сопротивление теплопередаче применительно для климатических условий Москвы и Санкт-Петербурга составляет 2,99 м².°С/Вт.

На этом основании все здания, построенные до 2000 г., не удовлетворяют современным требованиям, морально устарели и нуждаются в реконструкции. В настоящее время расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление зданий всех видов за отопительный сезон в России производится согласно приложению Г СНиП 23-02-2003. Также разработан национальный стандарт РФ, который утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25.10.2013 № 1211-ст.

⁹ Сысоева О.И. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Реконструкция объектов архитектуры и градостроительства». Раздел III «Реконструкция промышленных объектов» // Белорусский национальный технический университет. 2019. URL: http://rep.bntu.by/handle/data/57787

¹⁰ Журавлев Д. Сопротивление теплопередаче стен. URL: http://www.homeideal.ru/data/stenateplo.html#:~:text= Чтобы%20определить%20сопротивление%20теплопередаче%20стены%2С,значение%20сопротивления%20теплопередаче%20всей%20стены

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 13790:2008. Данный российский стандарт — нормативный документ по расчету годовых затрат тепловой и электрической энергий на поддержание микроклимата в помещениях при отоплении или охлаждении. Стандарт предназначен для:

- оценки соответствия отдельных элементов систем нормам поддержания необходимого микроклимата и тепловой защиты здания;
- сравнения энергетических характеристик различных альтернативных решений проектируемого здания;
- выяснения уровня энергетических характеристик существующих зданий;
- оценки планируемых мер по энергосбережению в эксплуатируемых зданиях с помощью расчета энергопотребления с и без принятия мер по энергосбережению;
- проведения прогноза потребности в энергии на региональном или национальном уровне с помощью расчета энергопотребления типичных зданий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для промышленного здания с учетом его технологий требуется организация особого пространства при использовании специальных архитектурных решений и материалов с повышенными нормативными требованиями.

Современная промышленная архитектура четко нацелена на приоритетные задачи по охране труда человека, рациональное размещение рабочих мест, оборудования и производственных линий, вспомогательных и служебных помещений и др.

Промышленные объекты в зависимости от назначения разделяются по капитальности, этажности, прочности, долговечности, огнестойкости и другим признакам. Стандартизация производственных объектов в середине и конце XX в. позволила снизить затраты на строительство, но обезличила производственную архитектуру, сделав ее невыразительной и стандартной.

Реконструкция здания — это переустройство с целью полного или частичного изменения назначения с учетом дальнейшей перспективы здания.

При реконструкции фасадов чаще всего используют два основных метода — «мокрый» с применением штукатурных растворов и «сухой» или вентилируемый с применением конструктивных навесных элементов.

В процессе реконструкции для пристроек и надстроек широко используется каркасная система ЛСТК.

Одной из основных проблем пожарной безопасности фасадов любых типов остается использование горючих теплоизоляционных материалов.

При выборе метода реконструкции, когда остановка производства невозможна, предусматривают мероприятия по снижению шумовых эффектов, защиты от строительной пыли, дополнительные огнезащитные меры.

Перед реконструкцией фасадов осуществляют подготовку и защиту поверхности стены специальными методами [19].

Метод штукатурного фасада позволяет утеплить объект и воссоздать первоначальный архитектурный вид.

Если необходимо придать реконструируемому зданию новый вид и стиль, основным методом будет устройство навесного вентилируемого фасада.

Легкость конструкции и небольшой вес конструкций ЛСТК расширяют возможности строительства на нестабильных грунтах [20].

Здания, построенные до 2000 г., не удовлетворяют современным требованиям к уровню тепловой защиты наружных ограждающих конструкций, морально устарели и требуют реконструкции.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Береговой А.М.* Здания с энергосберегающими конструкциями : дис. . . . д-ра техн. наук. Пенза, 2005. 344 с.
- 2. *Морозова Е.Б.* Промышленное здание в истории архитектуры. Минск : БНТУ, 2017. 303 с.
- 3. *Менейлюк А.И.* Современные фасадные системы. Киев: Освита Украины, 2008. 340 с.
- 4. *Безбородов Е.Л*. Наружные стены с каркасом из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) // Инновации и инвестиции. 2018. № 2. С. 186–190.
- 5. Корнилов Т.А., Герасимов Г.Н. Наружные стены малоэтажных домов из легких стальных тон-

- костенных конструкций для условий Крайнего Севера // Жилищное строительство. 2016. № 7. С. 20–24.
- 6. Шихов А.Н. Реконструкция гражданских и промышленных зданий : монография. Пермь : ПрокростЪ, 2015. 399 с.
- 7. Иванов Г.С, Спиридонов А.В., Хромец Д.Ю., Морозов А.М. Энергосбережение при реставрации и капитальном ремонте зданий // Жилищное строительство. 2002. № 1. С. 7–9.
- 8. Девятаева Γ .В. Технология реконструкции и модернизации зданий. М. : Инфра-М, 2003. С. 15–18.

- 9. *Ларионова Ю.В., Агеева А.М.* Вопросы энергоэфективности при эксплуатации жилых зданий // Сб. мат. IX Всерос. науч.-практ. конф. 2018. 6 с.
- 10. Григоренко К.А., Петренева О.В. Энергосберегающие технологии при реконструкции домов массовых серий // Наука, образование и культура. 2017. Т. 2. № 5 (20). С. 64–66.
- 11. Дмитриев А.Н. Энергосберегающие ограждающие конструкции гражданских зданий с эффективными утеплителями : дис. ... д-ра техн. наук. М.: РГОТУПС, 1999. 373 с.
- 12. *Подолян Л.А.* Энергоэффективность жилых зданий нового поколения : дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 185 с.
- 13. *Монахов Г.В., Красовский Б.М.* Количественная оценка надежности существующих и перспективных систем теплоснабжения // Известия Академии наук СССР. Энергетика и транспорт. 1988. № 3. С. 23–27.
- 14. Саперова Е.В., Беляков С.И., Обоснование выбора технологии облицовки фасада для жилых многоквартирных домов // Сб. мат. IX Всерос. науч.практ. конф. 2018. 5 с.
- 15. Лакетич С.К. Современные конструктивные решения и формообразование при проектировании зданий кинетического типа на примере многофункционального высотного общественного

здания // Международный студенческий строительный форум — 2017. 2017. С. 150–156.

- 16. *Цуркина С.К.* Кинетическая архитектура: ее типы, особенности и возможности реализации «движения» в зданиях // Международный студенческий строительный форум 2016 (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства). 2016. С. 248–252.
- 17. Чернышов Е.М. Материаловедение и технология строительных композитов как система научного знания и предмет развития исследований. Часть 1. Постановка проблемы и ее существо // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 12 (720). С. 41–51.
- 18. Береговой А.М., Петрянина Л.Н., Дерина М.А. Повышение энергоэффективности построенных домов коттеджного типа в г. Пенза // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5–2 (38). С. 87–90.
- 19. Иванов Г.С., Спиридонов А.В., Хромец Д.Ю., Морозов А.М. Энергосбережение при реставрации и капитальном ремонте зданий // Жилищное строительство. 2002. № 1. С. 7–9.
- 20. Дерина М.А., Береговой А.М., Мальцев А.В., Петрянина Л.Н. Комплекс мероприятий по увеличению энергосбережения в малоэтажных жилых домах // Перспективные вопросы мировой науки: мат. VI науч.-практ. конф. 2013. Т. 38. С. 14–17.

Поступила в редакцию 3 августа 2021 г. Принята в доработанном виде 24 сентября 2021 г. Одобрена для публикации 24 сентября 2021 г.

О б А в т о Р Е: Александр Александрович Медведев — полковник внутренней службы, начальник управления надзорной деятельности и профилактической работы, главный государственный инспектор Московской области по пожарному надзору; Главное управление МЧС России по Московской области (ГУ МЧС России по МО); Московская область, 141501, г. Химки, Новокуркинское шоссе, влад. 34; m8903685@yandex.ru.

INTRODUCTION

In the new socio-economic environment, the principal objective of any production is to improve the technical level and quality of products, introduce energy-saving technologies through the construction of new cutting-edge facilities, and restore the existing industrial potential of the country¹. Reconstruction and technical retooling of particular industrial enterprises perform the function of structurization within the framework of transformation of industrial territories and restora-

tion of the architectural appearance of cities, allow to do away with contradictions between a production facility that uses outdated equipment and communications that do not meet modern environmental standards, and the population.

MATERIALS AND METHODS

Being an architectural facility, a building becomes industrial when the nature of the process is clarified. The process is called industrial, if machines, mechanisms and equipment are extensively used and if large-scale production is split into process operations. This is how an industrial or a production building appeared. It needed a dedicated space for its technologies, that were different in purpose and, as a result, industrial buildings had different material, spatial and architectural characteristics. The history of an industrial building as the starting point

¹ What the reconstruction of a building is and how can it be carried out. Departments of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography of the Krasnodar Territory. The Tuapse department. October 9, 2019. URL: https://frskuban.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=64017:2019

of industrial architecture is considered within a review of the global construction practice which is over three hundred years old [1]. The historical retrospective of an industrial building allows to understand the mechanisms of development of industrial structures, especially their spatial organization, as well as the directions of their potential evolution and the development of industrial construction.

If we carry out a comparative analysis of industrial building designs, the application of construction technologies and building materials, we can identify several stages in the development of industrial architecture. All industrial structures, when the mass production process was in its infancy and manual labour was used, can be called "pre-industrial", and this period in the economic development can be called "pre-industrial", as well [2].

Following the commencement of the industrial revolution, when machines began to replace manual labour, there was a need for the construction of functional and practical buildings. This period can be conditionally called "the formation of industry" and the beginning of the era of industrial construction. As production processes became more and more automated at the beginning of the 20th century, new requirements were imposed on industrial structures, taking into account the features of the future production; therefore, this approach is considered the second industrial revolution that marked the beginning of a new era of functionalism in architecture. This stage can be called the "industrial" period [3].

At this time, standardized and unified section sizes for each type of production facilities appeared, which reduced the cost of construction of factories and other industrial facilities, but depersonalized industrial architecture, since it had turned featureless and standard².

The stage between the end of the 20th century and the present time can be called "postindustrial", since a new period in the history of industrial architecture began with the transition to universal automation, production engineering, and the use of energy-saving technologies. Any design process in industrial construction places emphasis on the workplace environment, safety, comfort and convenience.

Modern industrial architecture focuses on tackling the tasks of industrial production, such as protecting the workplace of an employee from the negative effects of the environment (wind, rain, cold); organization of effective illumination of workplaces; rational arrangement of workplaces, machines and production lines, auxiliary and office premises and many other issues³. Space-planning and structural solutions for industrial buildings, classified by industry, are now very diverse; the choice depends on the technology requirements for the products.

A production branch is an integral part of the national economy, which includes transport, agriculture, industry, construction, etc. According to their function, industrial facilities are subdivided into production facilities that accommodate the main technology processes (rolling and assembly shops, confectionery and weaving shops, etc.) etc.); auxiliary production facilities; energy facilities (thermal power plants, compressor and other stations); transportation facilities; warehouses; sanitary facilities (pumping and treatment plants); administrative buildings⁴. Also, industrial structures include reservoirs, chimneys, overpasses, supports, masts, etc. Four classes of structures are distinguished by their reliability and durability.

Performance characteristics, as well as fire resistance, durability and strength, are established for each class of structures. Industrial buildings are also divided into four groups according to the limit of fire resistance of building structures. The limit of fire resistance is set in minutes before the emergence of signs of the limiting state of a structure. The required degree of fire resistance of a building is one of the tasks of the developer at the stage of designing the fire resistance limit. This data is specified in Technical Code of Common Practice 45-2.02-142-2011. Approximately 80 % of industrial buildings are one-story (the number of stories is the main classification criterion), since one-story buildings have the best conditions for the arrangement of equipment, use of vehicles and lifting mechanisms.

Multi-story industrial buildings are built for production facilities using light process equipment or products, which are placed on inter-floor constructions [4].

In the era of "industrial" construction, the backbone of industrial architecture is the use of prefabricated reinforced concrete structures in construction, that has transformed the process into the assembly of a building from ready-made elements. A new branch of industry appeared, that represented the production of prefab elements for industrial and other types of buildings.

Walls are important structural elements of industrial buildings, and their share in the total cost of single-story buildings is 10 %, and it reaches 20 % for multistory buildings².

In order to reduce the cost and labour intensity per square meter, walls were most frequently made of local building materials and industrial waste; therefore, lightweight concrete panels and panels having metal sheathing were widely used in industrial construction in the second half of the 20th century [5]. Buildings characterized by high humidity, an aggressive environment

² The history of the development of industrial architecture: a reference book. URL: https://spravochnikvs.com/istoriya_razvitiya_promyshlennoj_arhitektury

³ What norms of the Urban Planning Code and other laws regulate the reconstruction process. URL: https://www.law.ru/article/22393-rekonstruktsiya-soglasno-normam-gradostroitelnogo-kodeksa-rf

⁴Reconstruction of buildings. LLC "EC "StroyExpert".URL: https://stroy-ek.ru/article/rekonstruktsiya-zdanij/

associated with the production process, small buildings with a large number of doors, gates and technological openings, had brick walls (Fig. 1).

The resource-saving policy of that time period allowed to reduce the consumption of materials by constructing industrial buildings from large concrete blocks made of lightweight concrete, such as expanded-clay concrete, aggloporite concrete, perlite concrete, slag and pumice concrete, etc., which appeared due to the active development of novel additives to concrete, massively developed to improve the properties of structural concrete, and reduce its cost [6].

Various properties of new materials made it possible to develop a variety of panel designs that meet pre-set operating conditions, that were easy to produce, transport and install. An example of an industrial large-panel structure is shown in Fig. 2.

Asbestos-cement, aluminum and steel sheets were used as a vertical, lightweight structure for unheated framed buildings and buildings releasing large amounts of heat. Enclosures of one-story industrial buildings with a non-aggressive or slightly aggressive environment represented walls made of narrow three-layer panels with metal cladding of the "Sandwich" type (series 1.432.2-12).



Fig. 1. A brick industrial building, built in 1964

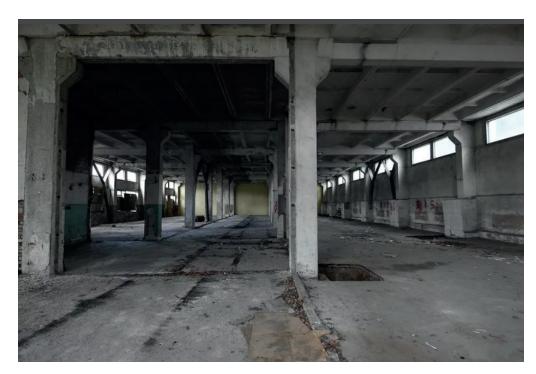


Fig. 2. The building of a former porcelain factory, built of large lightweight concrete panels

They were widely used in the areas with the relative humidity of no more than 60 %, the minimal outside temperature of, at least, 65 °C; their significant advantages included faster construction and smaller construction costs due to simplified construction solutions. Panels had sheathing made of galvanized steel sheets 0.8 mm thick or aluminum alloys with polyurethane foam as the middle heat-insulating layer.

Three-layer panels were 1 m wide, 2.4 to 11.4 m long (multiples of 0.6 m), and 46.6 to 100 mm thick. The panels also differed in the cross-section of their longitudinal edges:

- a symmetrical groove and ridge edge;
- an edge having identical protruding edges in the form of "cams";
 - asymmetrical groove and ridge edges [7].

The development of this type of framework construction proceeded at an incredible pace and in a short time there was a huge amount of standard documentation for structures, including numerous new series: series 1.432.2-17, series 1.432.2-24, series 1.432-14/80, etc. One of examples is presented in Fig. 3.

Concrete and brick industrial buildings, built, for example, according to design series 1.432.1-31.93, 1.432.1-22, 1.432.1-26, were designed according to relevant standard designs of that period. Some of them are obsolete, many design series are no longer used. This is due to the fact that heat engineering requirements applied to enclosure structures of obsolete series were less rigorous, while energy resources needed for heating were so cheap that it was economically unreasonable to spend money on expensive energy-efficient wall materials. Thermal insulation and insulating materials were not considered by architects and designers as the building materials that had great

potential; this industry, for example, the production of heat-insulating basalt or "rock" wool, has just begun to develop in this direction. Most often, rather non-environmentally friendly glass wool was used; it was cheap, but bad for the human health due to formaldehyde resins it contained [8]. Modern standard series of external enclosure structures of industrial buildings imply a significantly higher thermal resistance and the use of modern, more efficient insulation [9]. These facade systems allow not only to change the appearance of a structure, but also to improve its thermal insulation properties and reduce the time of construction, which is one of the most important factors for private entrepreneurship. SNiP 23-02-2003, adopted in 2003, changed the rules and regulations applied to the level of insulation of a building in order to save energy, thereby increasing the energy efficiency of facilities under construction and reconstructing morally and physically obsolete industrial buildings.

In 2009, the State Duma adopted the Federal Law "On Energy Saving and Increasing Energy Efficiency", which defines a set of energy-saving measures through energy efficient goods and services. Over the past 10–15 years, not only new materials have appeared, but the whole systems of enclosing structures have been developed, requiring the study of the structural and technological features of facade systems. It is impossible to competently design and build these façade systems without these studies. State standards have not yet been developed for numerous modern and relatively new external wall insulation materials.

It is necessary to carry out reconstruction (paragraph 14, Article 1. Urban Planning Code of the Russian Federation) to improve the indoor environment in old industrial buildings and change their technical



Fig. 3. An industrial building made of sandwich wall panels

and economic characteristics, if there are social, historical and architectural arguments for the preservation of the building. The number of floors and the area of a building can be changed in the process of reconstruction; the reconstruction of large industrial facilities may affect the whole group of structures that are located in the adjacent territory and represent a single architectural ensemble. Reconstruction of a building means modification aimed at the complete or partial change of its function with regard for further building use. Reconstruction includes partial dismantling of a building, its layout is changed, the engineering equipment is replaced, superstructures and extensions are added, and the architectural expressivity of the building is improved. For industrial buildings, reconstruction can include the replacement of equipment with more modern items, then it is technical re-equipment, and it can change the building due to extensions and replacement of its minor items of equipment, then it is transformation. Depending on the condition of the building, its construction and technical examination is carried out and, based on its results, a decision is made on the type of reconstruction: it can be full or "complex", small or "partial", a list of works is approved. The following types of work are included into the reconstruction of buildings and structures [10]:

- the replanning and increase in the height of premises, the addition of extensions and superstructures;
- partial disassembly and replacement of structures;
 - reinforcement of bearing structures;
- reinforcement or strengthening of the foundation (cementation, pile driving, bituminization, etc.);
- improvement of the facade of a facility, plastering and painting, insulation and painting, adding door and window openings;
 - · replacement of utility systems;
 - reorganization of the facility;
- roofing works (replacement of waterproofing materials and insulation, roof reinforcement, change of slope, replacement of the rafter system, etc.).

When restoring worn-out elements of buildings of historical value, new elements are made in such a way that the appearance of the building does not change or remains the same as its original appearance. Two main methods are used in modern reconstruction to perform this kind of work [11]. The first one is the so-called "wet" method that encompasses the use of plaster solutions.

The second one is "dry" and it entails the use of hinged structural elements that allow for an air gap between the outer screen and the insulation layer. This solution is called "a ventilated facade". A binding condition is the need to fix such products without mortar or glue and to use clips, latches and brackets instead. Today the market offers a huge variety of finishing materials for this type of facades; they differ in properties, composition, weight, and size. It is necessary to select

the appropriate frame design for each type of cladding materials⁵. Frame systems are made of galvanized steel, stainless steel and aluminum. A cheaper fireproof sub-system, made of galvanized steel, is used for porcelain stoneware, fiber cement, composite materials, and natural stone. It is recommended to use an aluminum system to restore buildings, since this is the lightest version of a frame system, although its low melting temperature is a weakness; this system is not used in all regions due to violation of fire safety standards. If the system is designated for bricks or concrete, it is fixed directly to the wall. As for environmental effects, such as precipitation and mechanical impacts, the wall is first protected by an external facing panel, and the moisture accumulated in the building and on the premises is discharged into the ventilated area. This vapor barrier secures indoor premises from condensation, steam, dampness, and creates a comfortable indoor climate. Thanks to the insulation placed under the lining, heat loss is reduced by 2–3 times, the service life of the wall is increased due to a smaller number of freezing cycles.

The second method under consideration is the "wet" one. It entails the use of plaster solutions. It is most widely used to insulate and reconstruct old buildings, since it allows to restore their nearly original appearance with the help of a plaster layer. It has also become widespread in new construction due to the cheaper installation. Same as the frame facade, this type of insulation also makes it possible to release steam from the structure, allowing the walls to "breathe" and not accumulate moisture inside.

The main strengths of plaster facades include low weight, which prevents any additional load on the foundation, simple installation and, as it was mentioned earlier, cheapness of the system and its mounting process. Its firm adherence to the wall and adherence between the layers of the "cake" drastically reduce the number of cold joints; therefore, higher energy efficiency is achieved. The use of thermal insulation boards made of mineral wool has an advantage over roll thermal insulation, since surface leveling for the plaster layer is practically reduced to a minimum.

In contrast to ventilated and plaster facades, which bear no loads, since they are not structural elements, there is a system that primarily performs heat-shielding functions, and acts as part of the building frame [12].

Fire safety requirements, established in SNiP⁶ for buildings having various functions, are taken into account when light steel thin-walled structures (LSTS) are designed. A light steel thin-walled structure is a frame made of 3–4 mm thick thin steel. The LSTS design is widely accepted and used for the construc-

⁵ First impressions count: ventilated facades. Advantages and disadvantages. URL: https://tion.ru/blog/ventiliruemye-fasady/ ⁶ Technical regulations on fire safety requirements: Federal Law of 22.07.2008. No. 123-FZ (most recent edition).

tion of low-rise residential buildings, warehouses, parking lots, shopping centers, hospitals, schools, etc. [13]. This popularity is explained by several positive aspects: LSTS buildings are known for geometric accuracy, light weight and absence of contraction. The ease of their assembly, the compactness of their components and the absence of the need for lifting machines and heavy vehicles make it possible to successfully use them to make extensions and superstructures, if the number of stories is increased during reconstruction.

Frames made of LSTS, having standard finishing that has no flammable materials, successfully pass fire tests and are attributed to structures of the 3rd degree of fire resistance with the fire resistance rating of R 45/E 15 and the fire hazard class K0 (45). In the areas featuring the highest risk of fire (boiler rooms, kitchens), supplementary protection can be applied in the form of a supplementary layer of fire-resistant boards. In addition, the structural features of LSTS meet high explosion safety requirements; therefore, they are widely used for the construction of boiler houses, compressor stations, gas stations and other special buildings.

RESULTS

Considering LSTS from the point of view of energy efficiency, its heat loss was lowest in comparison with any other construction technology, since the use of thermal profiles, thermal insulation, vapour barriers and windproof membranes in the walls and ceilings makes it possible to make a kind of an "insulated flask" from the enclosing structures, which can store heat for up to 2–3 days without additional heating, and during hot seasons it can significantly reduce the need for air conditioning.

The LSTS design can be called environmentally friendly, because the frame and mineral wool boards inside it are recyclable and can be fully recycled into new products. Most modern weather-resistant materials can be used as the outer sheathing of the wall frame for LSTS: siding, corrugated board, sandwich panels, fibercement panels, etc. [14]. The interior cladding also entails a wide variety of materials, the choice of which is up to the consumer, but as a rule, preference is given to environmentally friendly materials.

Mineral or basalt wool is used as insulation inside the frame, These materials are considered antiallergenic, like frame steel. Lower total costs of construction, energy saving during the operation of the building makes the LSTS construction technology the most economical among the existing ones and more suitable for the reconstruction of old industrial facilities.

As for the facade insulation, its fire safety requirements are defined in the technical regulations, which prescribe the priority implementation of fire-fighting measures. GOST 31251-2003 establishes the fire hazard class for external walls having external insulation, finishes, whose thickness exceeds 0.5 mm, pasting and cladding. It also has recommendations based on the data

obtained as a result of the fire testing of thermal insulation systems for buildings having a certain fire hazard class and height⁷.

One of the main problems of the fire safety of all types of facades is the use of combustible heat-insulating materials. The rapid spread of fire along the facade and to other floors of the building is the main threat to plastered facades, if the thermal insulation system is made of expanded polystyrene.

According to GOST 30244-94, expanded polystyrene belongs to the group of combustible materials (P-G4); it ignites at the temperature of 220–380 °C and self-ignites at 460–480 °C.

At the temperature of 280–290 °C, thermal destruction of polystyrene foam begins with the release of combustible gases, which become an even greater catalyst of fire. Even tighter fire safety requirements are applied to the thermal insulation of hinged facade systems, since air moves in the upward direction inside the air gap between the insulation layer and the facing layer and, if the thermal insulation material is combustible, the fire can spread along the facade of the entire building in a matter of minutes.

Therefore, it is recommended to use rockwool insulation in ventilated facades, since it can withstand temperatures up to 1,000 °C. In this case, the heat-insulating material will prevent the spread of fire, which increases the fire safety class of the facade.

A windproof membrane is another layer in a ventilated facade that is considered a combustible material. Its function is to protect the thermal insulation layer from precipitation and wetting. It was the moisture and windproof membrane that played the role of a "lit match" in the fire of the tallest building in the centre of Grozny in 2013 (Fig. 4).

The solution was to reduce the hygroscopicity of thermal insulation by increasing its density, which makes it possible to exclude the membrane from the base construction. Most of facing composite aluminum panels, which belong to the G4 flammability group, did not pass natural fire tests in accordance with GOST 31251-2003, since their ignition occurs at the temperature of 120 °C. To ensure additional fire-fighting measures, experts recommend to install fire boxes around the perimeter of the conjunction of the facade with window openings, which encase the window perimeter, and serve to change the trajectory of the flame, bursting from the window opening when a fire starts inside the building. As for facing materials, fire safety experts single out porcelain stoneware as a potentially dangerous material for the outer layer. The danger of porcelain stoneware is that, being a non-combustible material, it cracks when heated, as

⁷ Recommendations on the design of hinged facade systems, having a ventilated air gap and used for new construction projects and building renovation. 2002. URL: https://lidermsk.ru/media/documents/44/445f822a59d9c131babd3dd587a7920f.pdf



Fig. 4. Fire in "Grozny-City"

a result of which partial collapse of the facade can occur. The design of the facade system should be carried out with regard for the features and functionality of the building, and its installation must strictly adhere to the installation guide [15]. These requirements are equally applicable to ventilated and plaster facade systems.

Reconstruction of industrial facilities, as a rule, affects all the main elements of a building, including the foundation, the roof, walls, and facades. Reconstruction of the facade consists of planning and cosmetic repair work, including painting, plastering, facing with modern materials, insulation, making additional door and window openings, and sometimes it entails the replacement of enclosing structures. In industrial buildings, the choice of the reconstruction method is determined by the mode of operation of a structure. Sometimes it is impossible or economically unprofitable to stop the production process. Hence, restoration takes place at a facility where production cycles do not stop and workers are present in the building during construction works. In this case, at the initial stage, in order to minimize the customer's losses, the designer must divide the building into nodes (or zones) and develop a clear sequence of work performance to minimize the relocation of construction machinery and equipment from zone to zone and arrange additional routes, including additional entrances and exits, for the personnel.

The task is reduced to localizing the restoration work by concentrating them in one zone, while production processes continue in another zone; taking measures and providing additional structures that will reduce the noise effect of the work, protecting premises, equipment and employees from construction dust; developing supplementary flame-retardant actions, since construction and welding works are potentially dangerous types of work; developing a schedule of works together with the customer, taking into account the hours for noisy construction work [16]. If the building to be restored is not an architectural monument, the technological cycle of preparing the walls for reconstruction is faster and cheaper⁸. This process has several stages:

- the top layer of paint or whitewash is removed using modern aggressive compounds, after which the paint is washed off or cleaned off by hand;
- the cement plaster layer is removed using innovative compositions, in particular, organic sulfonic acid, which softens the finish, then the wall is also cleaned or washed;
- the brickwork is restored after removing the dirt and deposits with special compounds, a part of the wall is fixed after the application of special pastes containing ammonium fluorides and a thickener, which are also washed away;
- fungal deposits are removed, mold and moss are mechanically cleaned twice using a solution that contains boron and quaternary ammonium compounds as the active ingredient;

⁸ Stages of preparation of facades for restoration. URL: https://efee.ru/about/articles/etapy-podgotovki-fasadov-dlya-restavratsii/

- brickwork efflorescence is cleaned and treated with an oligomeric reaction solution of siloxane, which makes it possible to cover the brickwork with a special protective layer;
- dirt and old coatings are cleaned off the destroyed concrete using a sand-jet or a hydro-abrasive method;
- cracks and large defects of concrete are sealed with a special repair mortar;
- the method of shotcrete or shotcrete concreting is used to restore the concrete. The method employs a special mixture of Portland cement, the aggregate (sand, crushed stone, gravel), plasticizers and hardening accelerators.

Reconstruction is initiated immediately after the surface preparation. The facade plastering method is most expedient, since it allows both to insulate the facility and restore its original architectural appearance. Plastered facades do not need additional frames, and heat-insulating materials (rolls or slabs) are applied directly to the wall. Rolls are unrolled over the surface or elements are cut out of the roll material and fixed to the wall using special dowels to prevent the sagging of the material. Slab insulation is also attached to the wall with special fasteners having round heads. Sometimes both types of insulation materials can be glued to the wall with a special hardening glue. The surface of the insulation layer is covered with a protective finish made of various materials. A "wet" facade is more simply called a plaster facade or a "pie", since it is a construction of layers applied gradually one after another: first comes thermal insulation followed by the glue and plastic dowels, after that, reinforcing net is fixed with glue, then comes the main a layer of plaster, primer and paint [17].

If the reconstructed building needs a new look and style to hide the unsightly old concrete facade behind bright modern finishing panels, the main method will be the installation of a hinged ventilated facade. Of course, it is necessary to calculate the load increase caused by the frame and facing materials and, if all the necessary calculations and soil/foundation strengthening methods allow for the use of this reconstruction method, then the choice of this system will add a number of useful properties to the reconstructed facility:

- protection from external atmospheric influences;
- reduction of heating costs due to another layer of insulation under the facing;
- a comfortable indoor environment, as thermal insulation is maintained due to the natural ventilation of the facade, the facade becomes a sunscreen;
- the sound insulation of walls is doubled, which is particularly important for workshops with noisy production processes;
- the fire safety is in place, since non-combustible basalt mats are used as an insulation layer;
- the appearance of the facility is changed, it has a unique design due to the use of a combination of finishing materials.

There are many methods of installing facade systems, and they depend, first of all, on the type of the facing material and the reconstructed wall. In some cases, brackets can be attached to one wall of the building, and the other one, which is made of large bricks having hollow holes inside, cannot have a ventilated façade attached. In this case, there is a technology for attaching a ventilation facade to monolithic ceilings. Frame systems themselves are fastened differently, depending on the type of material. For example, galvanized steel profiles can be fastened vertically and horizontally; therefore, facades accumulate "cells" of profiles. And the aluminum frame can only be attached vertically at any interval. It is these differences in the materials used for the ventilation facade that create the following methods of installation and fastening of hinged facades:

- fastening porcelain stoneware to clamps;
- installation of modular facades;
- installation of sheets of fiber cement attached by rivets;
 - fastening clinker bricks to the bar;
 - installation of natural stone in a secretive way;
- other technologies individually designed for fastening glass, metal, composite and other panels to the wall.

Regardless of how a ventilated facade will be attached to the walls, the first step is to identify and mark the mounting spots using a tape measure or a laser level in compliance with the project data. Then brackets are fixed with the help of anchors using a paronite gasket, which prevents the appearance of cold bridges in the wall. An important point at this stage is the different length of the brackets, that depend on the unevenness of the wall, and this is another strength of the ventilated facade, as it allows to compensate for the unevenness of its surface. Then thermal insulation is fastened with dowels; it often has two layers to improve insulation, and insulation boards from different layers overlap one another. The upper layer has a high density from 80 to 120 kg/m³, the lower layer has a density of, at least, 50 kg/m³. As mentioned above, a windproof membrane is a fire hazard; therefore, it is advisable to choose a top layer of insulation with a cached surface, which will protect the insulation from blowing out. The next stage of installation will be the installation of guiding rails according to different patterns, depending on the selected profile. They are installed horizontally, vertically or crosswise with the help of stainless self-tapping screws. The use of galvanized self-tapping screws is prohibited. Fasteners can be made either of stainless steel or aluminum. If you mount an aluminum frame with galvanized self-tapping screws, then the attachment point will rot in a year, because different metals (black and non-ferrous) enter into a chemical galvanic reaction [18]. And the last stage is the installation of the facade cladding, which is attached in different ways depending on the material. In particular, clamps, profiles, carriages, and horizontal strips may be used. The ventilated facade can be mounted at any time

of the year and at any temperature, which is also convenient for building renovation.

Changes in the spatial and architectural framework of a reconstructed facility are most often made using the LSTS technology. It allows to swiftly expand or heighten production premises and use the same external finishing material that was applied for the reconstruction of principal load-bearing walls. Thus, after the reconstruction it will be visually impossible to identify the original size and shape of the building. The walls of buildings made using the LSTS technology represent a framed panel with a mineral wool filling inside and double-sided cladding.

Frames of LSTS walls consist of C-shaped thermoprofiles spaced at 600 mm, fixed to the transverse guiding profiles having the U-shaped section. Spatial frames are responsible for the strength, rigidity and stability of the frame system. Transverse frames, or trusses are responsible for the rigidity of low-rise buildings, and vertical metal bracing ensures stability in the longitudinal direction.

LSTS profiles have high strength, and given the average steel density of 7.85 g/cm, the weight of 1 m² of the bearing profile is about 30–45 kg, while the average weight of 1 m² of the finished building is 150 kg. The low weight of the structure makes it possible to reduce the load on the foundation, thereby expanding the possibilities of construction on unstable soils. The service life of an LSTS frame is 50 to 80 years or more, it is not subject to biological influences, it is resistant to fungi, insects and rodents⁹.

Most industrial facilities built before the adoption of the law on the energy efficiency of buildings do not meet modern regulatory requirements for the level of thermal protection of external enclosing structures¹⁰. For example, in Moscow and St. Petersburg, the values of the resistance of external walls to heat transfer do not exceed 1 m² °C/W (0.98 m² °C/W for Moscow, 0.94 m² °C/W for St. Petersburg). In 2000, following the approval of SNiP 23-02-2003, the requirements for the level of thermal protection increased significantly and, according to SP 50.13330, the required resistance to heat transfer is 2.99 m² °C/W for the climatic conditions of Moscow and St. Petersburg.

Therefore, all buildings built before 2000 do not meet modern requirements; they are obsolete and in need of reconstruction. At present, the calculation

of the specific consumption of heat energy for heating buildings of all types during the heating season in Russia is carried out in accordance with Appendix G to SNiP 23-02-2003. Also, a national standard of the Russian Federation was developed, approved and put into effect by the Order No. 1211-st of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 10.25.2013.

This standard differs from the international standard ISO 13790: 2008. This Russian standard is a normative document to be used for calculating the annual costs of heat and electric energy for maintaining the indoor microclimate during heating or cooling. The standard is intended for:

- assessing the compliance of individual elements of systems with the standards for maintaining the required microclimate and insulation of buildings;
- comparison of the energy characteristics of various alternative solutions of a designed building;
- finding out the level of energy performance of existing buildings;
- evaluating planned energy saving measures in buildings that are in operation by calculating the energy consumption with and without energy saving measures;
- forecasting the energy demand at the regional or national level by calculating the energy consumption of standard buildings.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Given the tightened regulatory requirements, an industrial building needs a special space to be organized using special architectural solutions and materials, taking into account particular building technologies.

Modern industrial architecture is clearly focused on the priority tasks of occupational safety, rational arrangement of workplaces, equipment and production lines, auxiliary and office premises, etc.

Industrial facilities, depending on their function, are divided according to the degree of their reliability and durability, number of stories, strength, fire resistance and other characteristics.

Standardization of production facilities in the mid- and late 20th century allowed to reduce construction costs, but depersonalized production architecture, making it inexpressive and standard.

Reconstruction of a building is reorganization aimed at complete or partial change in its purpose, taking into account the future of the building.

The two main methods are most often used to reconstruct facades, the "wet" method, that entails plaster solutions, and the "dry" or ventilated method with the use of structural hinged elements.

The LSTS frame system is widely used in the process of reconstruction that encompasses extensions and superstructures.

One of the main problems of fire safety of all types of facades is the use of combustible heat-insulating materials

⁹ Sysoeva O.I. Electronic study guide for the academic discipline "Reconstruction of items of architecture and urban planning". Section III "Reconstruction of industrial facilities". Belarusian National Technical University, 2019. URL: http://rep.bntu.by/handle/data/57787

¹⁰ Zhuravlev D. Resistance to heat transfer of walls. URL: http://www.homeideal.ru/data/stenateplo.html#:~:text= Чтобы%20определить%20сопротивление%20теплопередаче%20стены%2С,значение%20сопротивления%20 теплопередаче%20всей%20стены

Whenever a reconstruction method is selected, if the production process cannot be put to a halt, measures are taken to reduce noise effects, ensure protection from construction dust and fire safety.

The surface of the wall is prepared and protected using special methods before the reconstruction of the facades [19].

The plaster facade method allows to insulate the facility and recreate its original architectural appearance. If it is necessary to give the reconstructed building a new look and style, the main method will be the installation of a hinged ventilated facade.

The low weight of LSTS structures expand the possibilities of construction on unstable soils [20].

Buildings built before 2000 do not meet modern requirements in terms of the level of insulation of external enclosing structures; they are obsolete and require reconstruction.

REFERENCES

- 1. Beregovoy A.M. Buildings with energy-saving structures: Ph.D. in Technical Sciences. Penza, 2005; 344. (rus.).
- 2. Morozova E.B. *Industrial building in the history of architecture*. Minsk, BNTU, 2017; 303. (rus.).
- 3. Menelyuk A.I. *Modern facade systems*. Kiev, Osvita of UA, 2008; 340. (rus.).
- 4. Bezborodov E.L. Exterior walls with a framework of light steel thin-walled structures (LSTC). *Innovations and Investments*. 2018; 2:186-190. (rus.).
- 5. Kornilov T.A. Gerasimov G.N. External walls of low-rise houses made of light steel thin-walled structures for the far north conditions. *Housing Construction*. 2016; 7:20-24. (rus.).
- 6. Shikhov A.N. *Reconstruction of civil and industrial buildings : monograph.* Perm, Prokrost, 2015; 399.
- 7. Ivanov G.S., Spiridonov A.V., Khromets D.Yu., Morozov A.M. Energy Saving in the restoration and overhaul of buildings. *Housing Construction*. 2002; 1:7-9. (rus.).
- 8. Devyataeva G.V. *Technology of reconstruction and modernization of buildings*. Moscow, Infra-M, 2003; 15-18. (rus.).
- 9. Larionova Y.V., Ageeva A.M. Questions of energy efficiency in the operation of residential buildings. *Proceedings of the IX All-Russian scientific-practical conference*. 2018; 6. (rus.).
- 10. Grigorenko K.A., Petreneva O.V. Energy-saving technologies in the reconstruction of houses of mass series. *Science, Education and Culture.* 2017; 2(5):(20):64-66. (rus.).
- 11. Dmitriev A.N. Energy-saving enclosing structures of civil buildings with effective insulation: diss. Doctor in Technical Sciences. Moscow, RGOTUPS, 1999; 373. (rus.).
- 12. Podolyan J.A. *Energy efficiency of new generation residential buildings : Cand. in Technical Sciences.* Moscow, 2005; 185. (rus.).

- 13. Monakhov G.V., Krasovskiy B.M. Quantitative evaluation of reliability of the existing and perspective heat supply systems. *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Energy and transport.* 1988; 3:23-27. (rus.).
- 14. Saperova E.V., Belyakov S.I. Rationale for the choice of facade cladding technology for residential apartment buildings. *Proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2018; 5. (rus.).
- 15. Laketich S.K. Modern structural solutions and shaping in the design of kinetic type buildings on the example of a multifunctional high-rise public building. *International Student Construction Forum* 2017. 2017; 150-156. (rus.).
- 16. Tsurkina S.K. Kinetic architecture: its types, features and possibilities of realization of "movement" in buildings. *International Student Construction Forum* 2016 (to the 45th anniversary of the department of construction and urban economy). 2016; 2:248-252. (rus.).
- 17. Chernyshov E.M. Material science and technology of construction composites as of system scientific knowledge and a subject of development of researches: author's exploitation (Part 1). *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2018; 12(720):41-51. (rus.).
- 18. Beregovoj A.M., Petryanina L.N., Derina M.A. Energy-efficiency improvements of low-rise buildings in Penza. *Proceedings of the Soutwest State University*. 2011; 5-2(38):87-90. (rus.).
- 19. Ivanov G.S, Spiridonov A.V., Khromets D.Yu., Morozov A.M. Energy-saving during restoration and major repairs of buildings. *Housing Building*. 2002; 1:7-9. (rus.).
- 20. Derina M.A., Beregovoy A.M., Mal'tsev A.V., Petryanina L.N. Complex measures to increase energy conservation in low-rise residential buildings. *Perspective questions of world science: materials of VI conf. of science.* 2013; 38:14-17. (rus.).

Received August 3, 2021.

Adopted in revised form on September 24, 2021. Approved for publication on September 24, 2021. BIONOTES: Alexander A. Medvedev — Colonel of the Internal Service, Head of the Department of Supervisory Activities and Preventive Work, Chief State Inspector of the Moscow Region for Fire Supervision; Main Department of the Ministry of Emergency Situations of Russia in Moscow Region; 34 Novokurkinskoe highway, Moscow

region, Khimki, 141501, Russian Federation; m8903685@yandex.ru.

Construction: Vol. 11. ISSUE 3 (40)