

УДК 72.036

Крамина Т.А. – доцентE-mail: kraminT@mail.ru**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

Эволюция архитектурно-конструктивных решений промышленных зданий. Опыт и уроки

Аннотация

Данная работа посвящена изучению некоторых аспектов исторического развития промышленного строительства, начиная с 1600 года и заканчивая современной эпохой. Выполнен анализ эволюционных преобразований конструктивных решений за этот период, выявлены их достоинства и недостатки. Рассмотрены примеры нестандартного подхода к проектированию промышленных зданий, разработанных почетным академиком Шуховым В.Г., позволившего превысить нормативную долговечность и работоспособность заводских строений во много раз. Выявлены причины этого поразительного явления. В работе исследованы не привлекавшиеся ранее и впервые введенные автором в научный оборот архивные проектные чертежи и документы.

Ключевые слова: конструктивная схема, долговечность, промышленное строительство, деформации, стальные каркасы.

В последние два десятилетия произошел резкий спад производства в целом ряде отраслей народного хозяйства. В связи с этим большинство работ в области промышленного строительства носило реконструктивный характер. Отрадно, что в настоящее время положение дел меняется, а именно намечается прогресс в промышленности и, как следствие, оживление строительного производства, особенно в нефтеперерабатывающей отрасли, а также в сфере военно-промышленного и энергетического комплексов. Введение санкций против России стимулирует этот процесс.

Совершенствование промышленного строительства, прежде всего, связывают сегодня с повышением «активной» части основных фондов, т.е. со снижением стоимости строительной части объектов. Однако, такой подход может исказить истинную картину целесообразности того или иного варианта при выборе конструктивной схемы здания.

Зачастую средства, сэкономленные на этапе строительства современных промышленных зданий, в последующем тратятся на реконструкцию и ремонт несущих ограждающих конструкций. В некоторых отраслях, таких как машиностроение, металлургия около половины работающих – ремонтники. При этом многие из них заняты не ремонтом агрегатов, а латанием крыш, стен и других, изношенных ранее нормативного срока службы, конструктивных элементов здания.

Поэтому преждевременный физический износ является актуальной проблемой, требующей детального исследования и конкретных решений. Именно ей посвящена данная работа.

К сожалению, следует отметить, что при проектировании современных промышленных объектов, специалисты редко оглядываются в прошлое. Вместе с тем так важно перечитать наиболее яркие страницы доставшегося нам бесценного наследия, проследить поэтапно эволюционное развитие конструктивного решения промышленного строительства. В настоящей работе в результате архивного поиска были исследованы отечественные и зарубежные заводы – долгожители, начиная с 1600 г. по настоящее время. Особое внимание было уделено заводам, построенным в начале прошлого века и успешно эксплуатируемым в наши дни.

Эволюция металлических конструкций представлена на рис. 1-6.

Особый интерес представляют металлургические гиганты, которым по двести и более лет, построены они были крепостными и казенными крестьянами эпохи Петра и Екатерины. И хотя давно погасли и кричные горны, и пудлинговые печи, в которых плавился металл для пушек Полтавы и для рельсов Транссибирской железной дороги, здания поражают своим физико-техническим состоянием и невольно заставляют по-новому отнестись к изучению причин их долговечности.

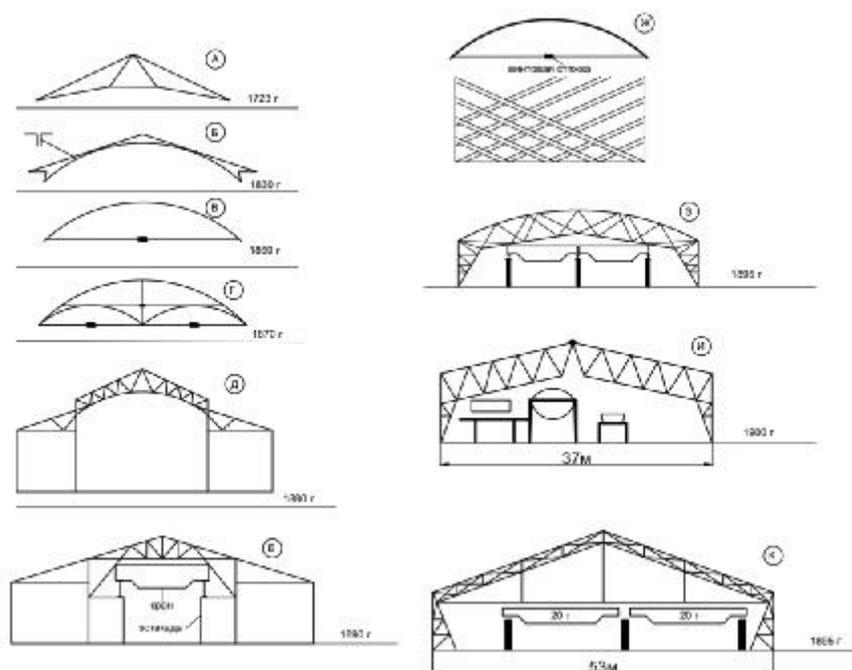


Рис. 1. Конструкции промышленных зданий:

- А – цельнометаллическое покрытие, впервые примененное в мировой практике (Невьянск, 1723 г.);
- Б – покрытие из гнутого профиля, сохранившееся поныне (Камышенский завод), 1830 года постройки;
- В – арка с использованием предварительного напряжения (первый опыт в мире), завод в Висимо-Уткинске;
- Г – ныне действующий завод в Верхней Салде, покрытие на винтовых стяжках;
- Д – схема цельнометаллического каркаса, впервые примененная в России;
- Е – Тульские механические мастерские, построенные по проекту Шухова В.Г.;
- Ж – конструкция металлического свода с винтовыми стяжками (автор Шухов В.Г.);
- З – ныне действующий прокатный цех с первым в России сводом двойкой кривизны (1895 г.);
- И – завод в городе Лысьва, ныне функционирующий мартеновский цех, 1900 г.;
- К – Верхне-Салдинский завод 1895 года постройки, функционирующий и в настоящее время

Современные промышленные объекты, как правило, представляют собой каркасные здания, в которых колонны каркаса, помимо покрытий, кровли, снега, стеновых ограждений, несут еще нагрузку от мостовых кранов, подкрановых балок, рельсов и пр. В качестве покрытий повсеместно используются плоскостные конструкции. Специалисты подчас и не знают, что появилась эта ныне повсеместно широко тиражируемая конструктивная схема в конце XIX века, когда на Всемирной выставке в Париже в 1878 году были продемонстрированы Галерея машин и Дворец промышленности архитектора Мориса Диона, современника и последователя великого Эйфеля.

Но в отличие от башни Эйфеля, так и оставшейся уникалом, впервые предложенная здесь жесткая каркасная конструктивная схема для металлического каркаса широко разошлась по всем странам мира (рис. 1, 5, 6). В России она является доминирующей и по сей день и отличается от первоначальной лишь мелкими усовершенствованиями. Инерция типового мышления столь велика, что соединение здания с краном, этакий «симбиоз пассивного и активного фондов» и поныне положен в основу почти всех конструктивных решений (рис. 2, 5). Изучая накопленный опыт [1, 10], отрадно было обнаружить исключение из общего правила, а именно найти примеры нестандартного конструктивного подхода к созданию промышленных зданий. Наиболее яркие из них – это творения выдающегося строителя почетного академика Владимира Григорьевича Шухова (1853-1939 гг.). Он строил корабли и паровые котлы, трубопроводы и высотные башни. Его наследие насчитывает десятки патентов и изобретений. Заводские здания Шухова В.Г. можно и сегодня встретить во всех уголках

страны (рис. 1). Их легко узнать: многие из них увенчаны параболическим покрытием (рис. 5, 6). На таких крышах снег и вода не задерживаются. Покатые своды, нагреваясь от теплого воздуха «горячих» цехов легко освобождаются от осадков. По всей вероятности, Шухов В.Г. базировался на старинном зодчестве уральских металлургов, издревле применявших покаты своды (рис. 3).

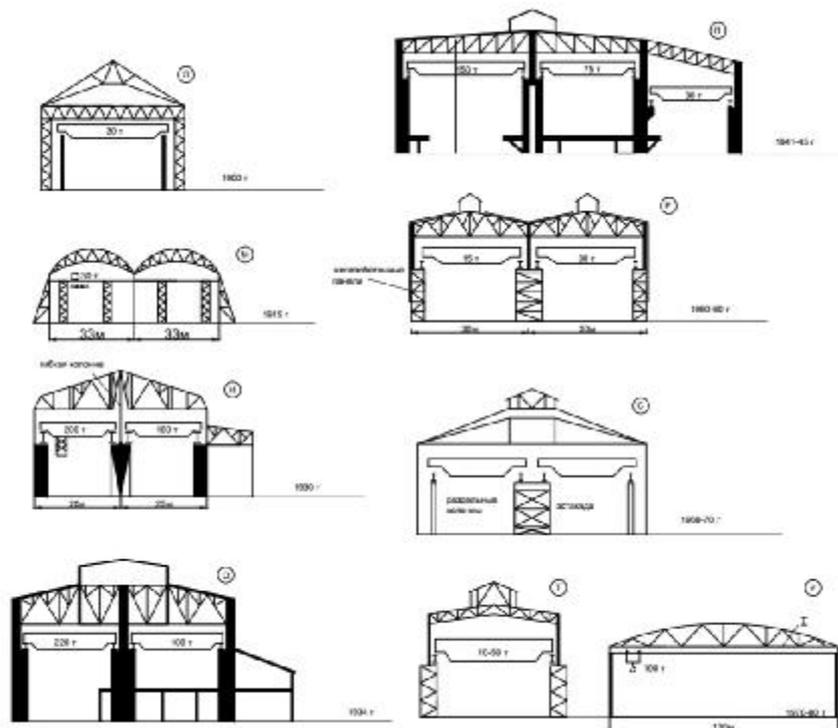


Рис. 2. Конструкции промышленных зданий (продолжение):

- Л – механический цех ныне функционирующего завода с использованием решетчатого каркаса (г. Серов), 1900 г. постройки;
- М – Златоустский металлургический завод эксплуатируется и в настоящее время, использована неразрезная двухпролетная арка (1915 г.);
- Н – мартеновский цех магнитогорского завода (автор проекта Шухов В.Г.), построен в 1930 году;
- О – «жесткий» каркас в прокатном цеху завода «Азовсталь», совмещение крановых опор с несущим каркасом (1934 г.);
- П – тот же принцип конструирования в мартеновском цехе Челябинского металлургического комбината (1941-1945 гг.);
- Р – крупносортовый стан НТМК (г. Челябинск), построен в 1950-1960 гг.;
- С – «гибкая» конструктивная схема, типовой вариант (1960-1970 гг.);
- Т – совмещенный каркас типового промышленного здания (1990 г.);
- У – типовое решение цеха с подвесным подъемно-транспортным оборудованием (1980-1990 гг.)

Кроме того, Шухов использовал преимущества кривой поверхности, где стержни работают не на изгиб, а на сжатие или растяжение, и меньше требуют на свое изготовление стали и другого материала. Благодаря отсутствию впадин и перепадов параболическое покрытие более стойко к коррозии. Это хорошо видно на примере ныне действующего мартеновского цеха Лысьвенского завода (1899 г.) (рис. 1И). Более 100 лет стоит в маленьком городе Выксе, первый в мире цех, крытый параболической оболочкой двойкой кривизны (рис. 13). Серповидные покрытия, которые применены во многих цехах Верхне-Салдинского завода, сохраняют свою работоспособность до сих пор. Исправно несет службу покрытый неразрезной двухпролетной аркой прокатный цех (рис. 2М) в Златоусте (1915 г.). Академик И.П. Бардин писал о Новокузнецком мартеновском корпусе, построенном Шуховым в начале 30-х годов: «Здание было экономичнее всех, последующих цехов других заводов и не имел себе равных в мире. В эксплуатации не требовалось никаких реконструкций [1].»

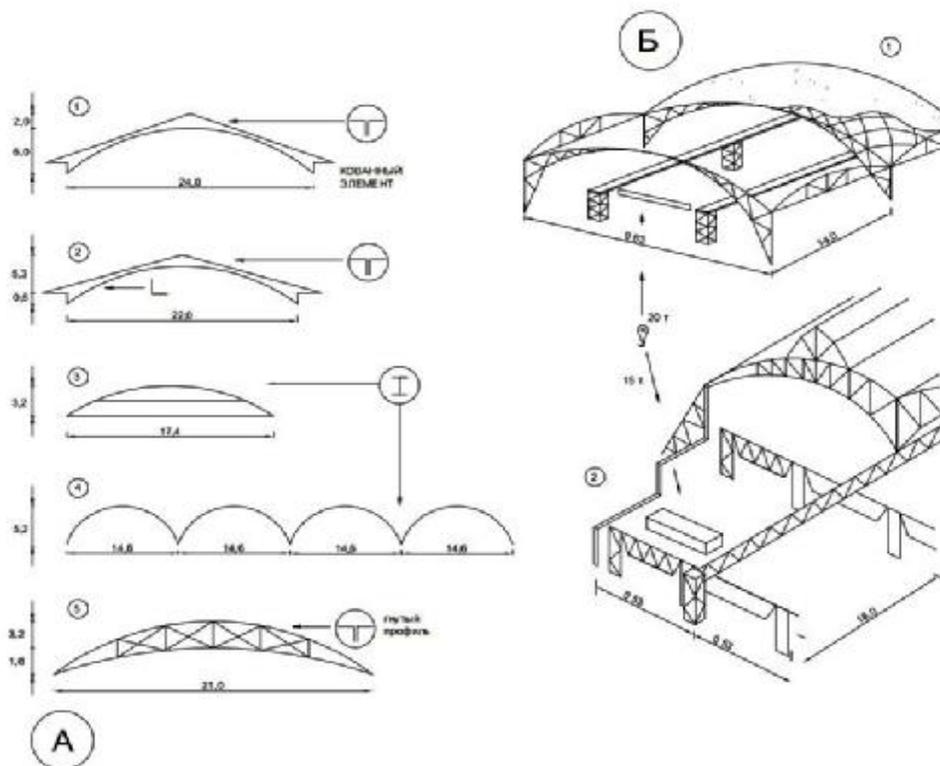


Рис. 3. Конструкции промышленных зданий (продолжение):

- А – покрытия зданий уральских заводов XIX в.: 1 – механический цех в Нязепетровске;
2 – цех шлаковаты в Сатке; 3 – склад в Катав-Ивановске; 4–5 – цехи в Нижнем Тагиле.
Б – цехи, построенные под руководством Шухова: 1 – Выксунский металлургический завод;
2 – Златоустовский металлургический завод

В 1933 и 1935 годах в Магнитогорске были построены аналогичные цеха (рис. 2Н). Если учесть, что эти производства в годы Великой Отечественной войны давали половину всего металла, получаемого страной, то стойкость конструкций при высочайшей интенсивности эксплуатации не может не вызывать восхищения (рис. 2).

Из этого следует, что изучать все оттенки творческой мысли Шухова крайне необходимо. При сравнении шуховских цехов с современными, традиционными, выявляются следующие различия. В зданиях, построенных Шуховым до 1930 года, крановая эстакада устанавливалась отдельно, независимо от каркаса здания. В 30-е годы, оснащая корпуса мощными мостовыми кранами (свыше 100 тонн), Шухов соединил эстакаду, используя подвижные шарниры, с так называемой «гибкой» колонной, не воспринимающей горизонтальных нагрузок. Шухов как бы прислушивался к словам Леонардо да Винчи, определившего силу как «бестелесную мощь, невидимо родившуюся в жесткости и умирающую в свободе. Она стремится покорить и уничтожить причину сопротивления и, покоряя, самоуничтожается...» [2, 10].

Податливость облегченных каркасов, сконструированных с использованием леонардовского определения, унификация и в тоже время самобытность каждого объекта – вот, что характерно для инженерной школы Шухова. В связи с этим возникает вопрос: почему же основная масса зданий с середины 30-х годов строится с использованием идей Мориса Диона, т.е. с применением жестких рамных схем? Очевидно, что такое решение – вынужденное, и продиктовано оно было возрастанием объемов и темпов предвоенного строительства, желанием упростить и ускорить процесс возведения промышленных зданий, снизить расход материалов.

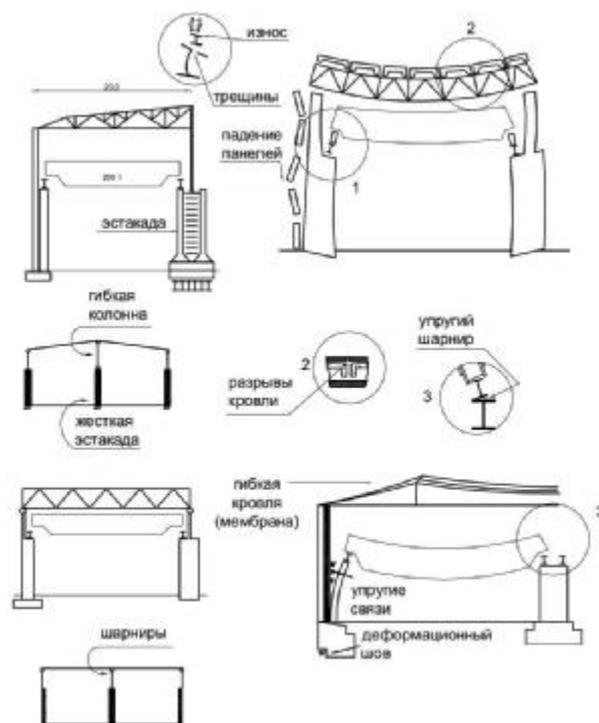


Рис. 4. Конструкции промышленных зданий (продолжение):
схемы деформации «жесткого» (1, 2) и «гибкого» (3) каркасов;
«шуховского» цеха и современного типового (слева)

Целый ряд крупных ученых выделили недостатки таких решений [3]. Отстаивая целесообразность шуховских идей, блестяще оправдавших себя в процессе длительной эксплуатации, основоположник советской школы металлических конструкций профессор Николай Станиславович Стрелецкий предсказывал возможные негативные последствия, которые таит в себе поспешное и повсеместное распространение жестких совмещенных каркасов. «Несимметричное приложение крановых нагрузок приведет к смещению колонн внутрь цеха», – прозорливо писал он. Впоследствии в подтверждение этому сравнительно недавно инженерам-исследователям Эглескаму Ю.С., Шитову К.А. и другим ученым удалось раскрыть механику медленной деформации колонн под воздействием кранов в «жестком цехе» [4, 10].

Нами был произведен анализ дефектных ведомостей, послуживших доказательной базой необходимости проведения внеплановых преждевременных реконструктивных мероприятий и капитальных ремонтов в 48 крупных промышленных объектах, построенных по схеме совмещенных каркасов. Результатом исследования были выводы, позволившие определить наиболее характерные для всех случаев дефекты. Это деформации колонн, выход из строя подкрановых балок и рельсов, заклинивание кранового моста, износ катков, образование трещин в стенах и кровле, просадкой фундаментов и др. Наглядная схема традиционных деформаций представлена на рис. 4.

Сравнительные характеристики надежности совмещенных каркасов, воспринимающих крановую нагрузку и отдельных каркасов, освобожденных от нее, сделаны на базе архивных данных бюро технической инвентаризации и представлены в виде графиков на рис. 7.

Возникающая необходимость усилить каркас, заменить ограждающие элементы, крановое оборудование вызывает усложнение и удорожание процесса реконструкции. Отсюда следует, что стоимостной выигрыш, полученный первоначально в случае применения жесткого совмещенного каркаса, будет сведен на нет в процессе эксплуатации [5]. Проверка временем в условиях натуральных испытаний реальных объектов, как нельзя лучше, является доказательной базой правильности сделанных выводов (рис. 7).

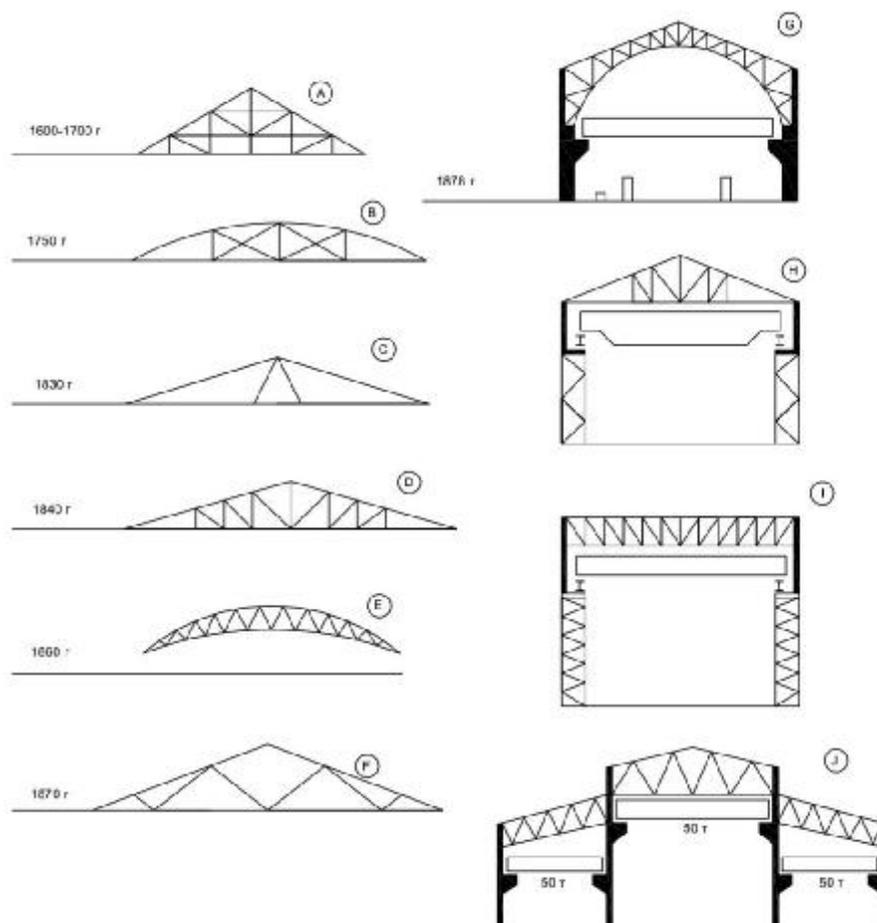


Рис. 5. Конструкции промышленных зданий (продолжение):

А – брусчатые фермы Палладио, ставшие классическим образцом для европейских металлоконструкций; В – арочная ферма Шведлера; С – ферма Полонсо;

Д – американская ферма; Е – ферма Фрейсине; F – ферма Мерша;

G – Дворец промышленности Диона с передвижным устройством для показа экспонатов;

Н – типовое западноевропейское здание с цельнометаллическим каркасом;

I – схема типового цеха США; J – западноевропейское промышленное здание первой четверти XX в.

Эти уроки были учтены в нескольких удачных проектах ЗАО Гипроавиапрома 2014-2015 гг., таких, как возведение Лабораторного корпуса Университета в Инополисе (Лаишевский район РТ), реконструкции насосной станции в комплексе очистных сооружений (г. Казань), а также при строительстве гильзового цеха автозавода «Камаз» (г. Н. Челны). Во всех этих объектах, в отличие от традиционных решений, каркас освобожден от крановой нагрузки, которая передается на самостоятельные опоры, соединенные гибкими связями специальной конструкции. В перечисленных выше объектах удалось защитить несущие и ограждающие конструкции от вибрационных нагрузок и обеспечить нормированный шумовой режим в смежных помещениях. Окупаемость затрат, на возведение дополнительных опор в первом объекте, составила 8 лет, периодичность плановых ремонтов сократилась вдвое.

Предполагаемые конструктивные решения имеют долгосрочный экономический эффект за счет сокращения периодичности ремонтов, их объемов и сложности. Кроме того, отпадает необходимость в демонтаже конструктивных элементов здания. Нормативный срок службы этих конструкций, соответствующий вероятному времени безотказной бездефектной их работы, резко увеличивается.

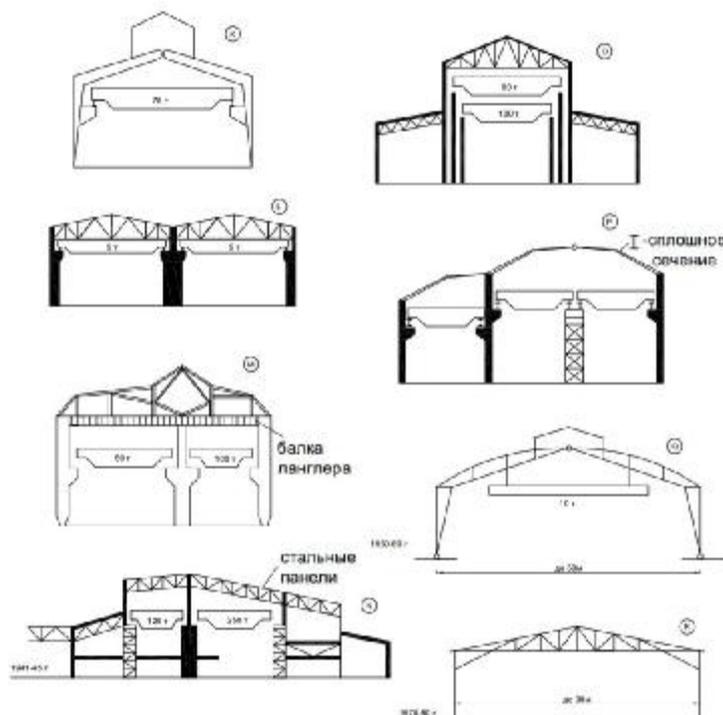


Рис. 6. Конструкции промышленных зданий (продолжение):

- К – западноевропейское здание со сплошными рамами;
- L – американская схема промздания, примененная для автозавода в городе Горьком;
- M – западноевропейская схема здания с балкой Ланглера; N – мартеновский цех завода Кайзер (США);
- O – механический цех ВМФ США; P – вариант «гибкого» цеха (США);
- Q – система «Джонспан» (Англия), «Батлер» (США);
- R – типовые промздания (США и Англия), 1970-80 гг.

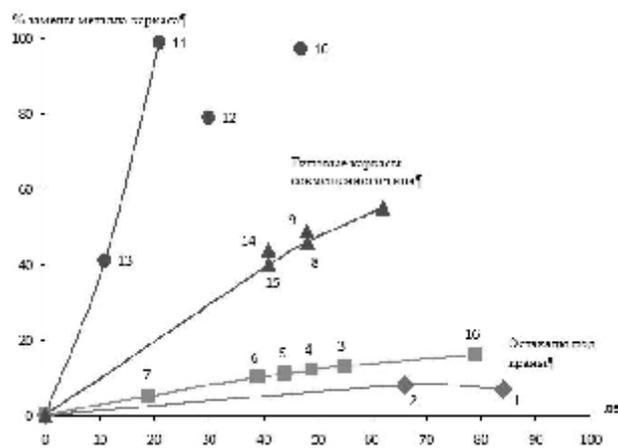


Рис. 7. Характеристика надежности каркасов промышленных зданий во времени при эксплуатации

1. Выксунский металлургический завод, колесопрокатный цех (1897 г.);
2. Златоустовский металлургический завод. Прокатный цех (1913 г.);
3. Ждановский металлургический завод имени Ильича. Мартеновский цех (1928 г.);
4. Магнитогорский металлургический комбинат. Мартеновский цех (1933 г.);
5. Новокузнецкий металлургический комбинат. Мартеновский цех (1932 г.);
6. Челябинский завод кузнечно-прессового оборудования. Кузнечный цех (1936 г.);
7. Челябинский металлургический завод. Термический цех № 3 (1965 г.);
- 8, 9, 10, 11, 12 – цеха Магнитогорского металлургического комбината, построенные в 1933 (8 и 9), 1934, 1954 и 1959 гг.;
- 13, 14, 15 – цеха Челябинского металлургического завода, построенные в 1943, 1945 и 1968 гг.;
16. Лысьвенский металлургический завод Мартеновский цех (1899 г.)

Особого внимания заслуживают оригинальные направления усовершенствования узловых соединений элементов металлического каркаса, предлагаемые в работах ведущих специалистов на кафедре МКиИС КГАСУ [6, 7, 8, 9].

Заключение

Обращение к славным традициям отечественного и зарубежного промышленного зодчества позволяет по-новому взглянуть на многие проблемы современного капитального строительства.

В данной работе представлены результаты впервые произведенного исследования эволюции развития промышленного строительства. Мы воспользовались уникальной возможностью оценить техническое состояние заводов-долгожителей, активно функционирующих по сей день [10], для того, чтобы сделать выводы о рациональности использования тех или иных моделей на предмет увеличения долговечности. Современные технологии возведения промышленных зданий должны учитывать уроки, которые преподавал нам многовековой опыт проектирования и эксплуатации производственных объектов.

Список библиографических ссылок

1. Страхов А.П. Реконструкция зданий. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2004. – 264 с.
2. Рогонский В.А., Кострин А.И., Шеряков В.Ф. Эксплуатационная надежность зданий. – Л.: Стройиздат, 1983. – 306 с.
3. Аксенов Н.В., Григорьев В.С. Дефекты несущих конструкций зданий и сооружений, способы их устранения. – М.: ДМК Пресс, Компания АйТи, 2011. – 260 с.
4. Конаков А.И., Громов М.С. Отказы и усиление металлических конструкций. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2015. – 308 с.
5. Барыкин Е.П. Оптимальное перспективное планирование капитального ремонта и реконструкции производственных зданий. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 240 с.
6. Енджиевский Л.В., Неделев Д.В., Петухова И.Я. Каркасы зданий из легких металлических конструкций и их элементы: Учебное пособие. – М., 1998. – 247 с.
7. Кузнецов И.Л., Салахутдинов М.А., Гимранов Л.Р. Новые конструктивные решения стальных каркасов легких многопролетных зданий. // Известия КГАСУ, 2011, № 1 (15). – С. 88-92.
8. Агафонкин В.С., Моисеев М.В. Сварные упругие узловые соединения элементов стальных рамных каркасов // Сборник научных трудов КГАСУ. – Казань: КГАСУ, 2010. – С. 20-23.
9. Молев И.В., Святошенко А.Е. Повышение надежности рамных узлов стальных каркасов. // Доклады XIV Польско-Российско-Словацкого семинара «Теоретические основы строительства». – Варшава, 2005. – С. 173-178.
10. Шитов К. Живучесть промышленных зданий // Техника молодежи, 1984, № 9. – С. 22-25.

Kramina T.A. – associate professor

E-mail: kraminT@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

The evolution of architectural and constructive solutions of industrial buildings. The experience and lessons

Resume

Currently, there is an urgent need for a new wave of Russian industrialization. As a consequence, there is a need to increase the volume of industrial construction, and on a new basis, taking into account the current capabilities in the field of building technologies and materials.

Innovations in this, as in any other sphere, is impossible without studying the experience of previous generations construction of industrial facilities, the analysis of their advantages and

disadvantages. In this regard, it was traced the gradual development of structural schemes in the evolution of industrial construction, starting from 1600 and ending with the modern stage. The high importance of underrated achievements of Academician V.G. Shukhov in this field of science is proved.

As a result of the analysis of domestic and foreign experience in designing, conclusions and directions of increasing the durability of industrial buildings and their performance are made. It has been shown that these measures will help reduce capital expenditures, including the cost of repairs. The resulting economic effect allows to direct the savings to increase the «active» part of fixed assets.

Keywords: the design concept, durability, industrial construction, deformation, steel frames.

Reference list

1. Strahov A.P. Reconstruction of buildings. – Irkutsk: IRNITU, 2004. – 264 p.
2. Rogonsky V.A., Kostrina A.I., Shryakov V.F. Operation safety of buildings. – L.: Stroyizdat, 1983. – 306 p.
3. Aksenov N.V., Grigoriev V.S. Defects of bearing structures of buildings and constructsures, approaches to resolve them. – M.: DMK Press, Company IT, 2011. – 260 p.
4. Konakov A.I., Gromov M.S. Failures and strengthening of metal structures. – Irkutsk: IRNITU, 2015. – 308 p.
5. Barykin E.P. Optimal long-term planning of capital repairs and reconstruction of industrial buildings. – M.: Publishing House of the DIA, 2008. – 240 p.
6. Endzhievsky L.V., Nadelev D.V., Petukhova I.J. Carcasses of buildings and light metal structures and their elements: Textbook. – M., 1998. – 247 p.
7. Kuznetsov I.L., Salakhoutdinov M.A., Gimranov L.R. New structural solutions of steel frames of light multispans building // *Izvestija KGASU*, 2011, № 1 (15). – P. 88-92.
8. Agafonkin V.S., Moiseev M.V. Welded elastic junctions of steel rack elements. // *Collected scientific works KGASU*. – Kazan: Publisher KGASU, 2010. – P. 20-23.
9. Molev I.V., Svyatoshenko A.E. Improving the reliability of frame assemblies of steel frames // *Reports: XIV Polish-Russian-Slovak seminar Theoretical foundation of building*. – Warszawa, 2005. – P. 173-178.
10. Shitov K. Viability of industrial buildings // *Techniques of youth*, 1984, № 9. – P. 22-25.