

EDN: LGXDDP

УДК 624.012.4:725.4

**В. Н. ЛЕВЧЕНКО, А. С. ВОЛКОВ, Е. А. ДМИТРЕНКО, А. А. ХРАМОГИН**  
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Аннотация.** В современных условиях типология зданий и сооружений, их объемно-планировочные решения непосредственно связываются с особенностями конструктивного решения и методами строительства. В связи с этим особое значение для развития промышленного строительства приобретает комплекс проблем, связанных с синтезом архитектурных и конструктивных решений промышленных зданий. Проектирование железобетонных конструкций традиционно базируется на трех составляющих: конструировании, оптимизации стоимости строительства и начальном качестве. По данным научно-исследовательских институтов из общего количества конструкций, выполненных в железобетоне, примерно 25 % эксплуатируются в агрессивных средах, а четверть из них - в слабоагрессивной среде, где как правило, не предусматривается защита от коррозии, т. е. долговечность конструкций должна обеспечиваться за счет собственной стоимости. В промышленном строительстве следует предусматривать приоритетную разработку планировочных и конструктивных решений зданий с большими пролетами и с укрупненными сетками колонн, крупноразмерными ограждающими конструкциями и агрегированным инженерным оборудованием. Новые типы зданий должны обеспечивать сокращение сроков, снижение стоимости и трудоемкости строительства, эксплуатационных затрат, повышение архитектурных качеств объектов, исполнение требований по охране окружающей среды.

**Ключевые слова:** эффективность, оптимизация, унификация, факторы.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Анализ проектных решений производственных зданий последних лет показывает, что факторы, способствующие снижению стоимости строительства, не компенсируют факторов, приводящих к повышению стоимости строительства. В связи с этим весьма острым остается вопрос скорейшего внедрения в практику эффективных конструктивных решений промышленных зданий и научно-технических достижений, направленных на повышение эффективности капитальных вложений в строительство.

### **ЦЕЛИ**

Целями исследования являются анализ факторов, влияющих на эффективность конструктивных решений железобетонных промышленных зданий, и выявление наиболее рациональных путей обеспечения прироста производственных мощностей.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Важнейшие тенденции в развитии типов и архитектурно-строительных решений промышленных зданий промышленных зданий в современном строительстве:

- а) унификация объемно-планировочных и конструктивных решений;
- б) стремление к обеспечиванию максимальной универсальности строительных решений в целях наилучшего использования производственных площадей при изменении технологии;



в) создание гибких зданий комплексной поставки.

В результате широкого внедрения работ по межотраслевой унификации уровень типизации сборных железобетонных конструкций по промышленным зданиям в настоящее время достиг 86 %. Такие элементы конструкций, как плиты покрытий и перекрытий, а также панели наружных стен почти полностью типизированы. Уровень типизации ферм и балок покрытий, а также балок и ригелей перекрытий достиг соответственно 91...96 и 81 %, а уровень типизации колонн промышленных зданий – 84 %.

Количество типоразмеров изготавливаемых изделий промышленной номенклатуры в среднем составляет около 160, в то время как номенклатура типовых конструкций для промышленного строительства в российском каталоге насчитывает около 2 000 типоразмеров, из которых 38 % относятся к инженерным сооружениям, 28 % – к многоэтажным и 34 % – к одноэтажным зданиям.

Опыт проектирования и строительства подтверждает рациональность создания территориальных каталогов типовых конструкций, которые были созданы практически для всех промышленных районов. Опыт разработки таких каталогов отражает возможность существенного сокращения числа типоразмеров конструкций с сохранением лишь характерных для определенного региона.

В настоящее время на практике преимущественно используются конструкции, изготовленные из материалов относительно низкой прочности, что, как правило, приводит к перерасходу материальных ресурсов. Это указывает на необходимость освоения более прогрессивных конструкций из высокопрочных или повышенной прочности материалов, которые помимо снижения материалоемкости конструкций должны обеспечивать дальнейшее повышение индустриальности заводского изготовления конструкций и способность организации поточного производства на специализированных линиях.

Индустриализация производства конструктивных элементов и их монтаж – одно из наиболее актуальных направлений дальнейшего роста типизации.

Естественно, что при совершенствовании отдельных конструктивных элементов следует учитывать не только их повторяемость, но и удельный вес в общем наборе конструктивных элементов, формирующих промышленное здание. При этом наибольшее внимание обращается на элементы, удельная стоимость которых в общей стоимости всего здания небольшая. В табл. 1 приведены относительные стоимости элементов здания [2].

**Таблица 1** – Относительная стоимость элементов здания

Конструктивные элементы здания	Относительная стоимость элементов в здании, %	
	одноэтажном	многоэтажном
Здание в целом	1	1
Фундаменты	0,07...0,09	0,04...0,13
Несущие конструкции каркаса	0,25...0,28	0,14...0,17
Стены и покрытия	0,24...0,23	0,18...0,24
Перекрытия	–	0,15...0,30
Внутренние ограждения	0,04...0,06	0,05...0,07
Кровля	0,09...0,11	0,02...0,04
Инженерное оборудование	0,02...0,15	0,11...0,20
Прочие	0,10...0,12	0,04...0,06

Процесс индустриализации строительства связан с постоянным совершенствованием номенклатуры продукции, смена которой осуществляется за счет модернизации технологии производства сборного железобетона и других конструкций.

В настоящее время в практике строительной индустрии при производстве сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций шире применяются высокомарочные цементы, расширяется использование арматурной стали повышенной прочности и стойкости, также бетонов, пропитанных мономерами с последующей их полимеризацией. Реализация этих мероприятий позволит перейти на более широкое применение несущих железобетонных конструкций из бетонов высоких классов В60 и В80 [4].

В будущем должны широко применяться легкие бетоны на пористых заполнителях и ячеистые бетоны, использование которых должно составлять не менее половины общего применения сборных железобетонных конструкций в строительстве.

Использование легких бетонов на искусственных пористых заполнителях и прочих отходах промышленности способствует решению важной проблемы – утилизации отходов в защите окружающей среды.

В Донбассе с развитой металлургией приоритет принадлежит легким бетонам на шлаковой пемзе, изготавливаемой из расплавов доменных шлаков и не требующих практически расхода топлива при производстве.

Увеличение производства сборного железобетона должно быть достигнуто прежде всего за счет модернизации, реконструкции и расширения действующих предприятий и лишь частично – за счет строительства новых крупных предприятий.

Для конструкций покрытия производственных зданий взамен плит по фермам или балкам могут быть использованы крупнопанельные железобетонные плиты на пролет сводчатого типа КЖС и П-образного сечения с малоуклонными плоскими скатами. Эти плиты позволяют полностью заменить типовые железобетонные покрытия из плит размерами 3x6 и 3x12 м по фермам или по балкам и могут применяться в зданиях с пролетом до 24 м, с шагом колонн до 12 м, с мостовыми кранами грузоподъемностью до 32 т, в том числе в агрессивных средах. При этом по сравнению с плоскостными покрытиями сокращается трудоемкость монтажа до 60 %, экономия бетона достигает 35 % и стали 15...25 %.

Ежегодно такими плитами в странах СНГ [5] покрывается около 300 тыс. м<sup>2</sup> производственных площадей, в то время как целесообразный объем внедрения составляет не менее 5 млн м<sup>2</sup>.

Плиты типа П характеризуются несколько большим расходом металла по сравнению с плитами КЖС, но в производстве они более технологичны благодаря плоской верхней поверхности.

Применение плит замкнутого коробчатого сечения, используемых одновременно и в качестве воздуховодов, обеспечивает снижение приведенных затрат на 30...35 % и расхода стали на 40...45 %.

Составная плита – оболочка для покрытий промышленных зданий пролетом 12...18 м таврового сечения – собирается из одного- и двухосно предварительно напряженных железобетонных пластин (ребра и полка), изготавливаемых на стендах методами непрерывного армирования и безопалубочного формования. Применение составных плит позволяет сократить на 1 м<sup>2</sup> покрытия расход бетона – на 35 %, стали – на 20 %, трудозатраты – на 20 %.

Разработка эффективных конструкций двухэтажных промышленных зданий с укрупненной сеткой колонн в верхнем этаже способствует расширению области применения таких зданий, а, следовательно, сокращению размеров территории предприятий, протяженности межцеховых коммуникаций, снижению трудоемкости и стоимости строительства.

Ряд усовершенствований внесен в решение отдельных элементов конструкций. Двухветвевые колонны высотой до 14,4 м заменяются колоннами прямоугольного сечения, которые при почти одном и том же расходе бетона требуют на 30 % меньше стали и менее трудоемки при изготовлении. Разработаны для ряда типов одноэтажных зданий предварительно напряженные колонны, при использовании которых может быть достигнуто снижение расхода стали на 20...30 %. Для многоэтажных зданий широко применяются колонны длиной на несколько этажей без стыков. Усовершенствованы конструкции балок покрытий пролетами 6,9 и 12,0 м, повышена несущая способность плит размерами 3x6 и 3x12 м, что позволяет отказаться в большинстве случаев от более материалоемких плит шириной 1,5 м.

Расширяется использование конструкционных бетонов на пористых заполнителях для несущих конструкций в районах, не имеющих местных заполнителей из естественных твердых пород. Развивается производство и применение высокоэффективных утеплителей для ограждающих конструкций зданий.

Предстоит внедрение в строительство двух- и многоэтажных промышленных зданий с укрупненной сеткой колонн повышенной этажности. Ведутся поиски эффективных решений конструкций междуэтажных перекрытий зданий с укрупненной квадратной сеткой колонн.

Наибольшая эффективность использования высокопрочных тяжелых бетонов достигается в конструкциях, несущая способность которых определяется, в основном, работой элементов на сжатие. К таким конструкциям относятся прежде всего колонны зданий и сжатые элементы раскосных ферм (при этом экономия бетона может достигать 40 %) и в определенной степени балки и ригели (экономия до 15...20 %).

Увеличение прочности бетона в конструкциях массового применения повышает качество изделий, а в ряде случаев и существенно снижает косвенное армирование и расход стали в целом.

Для одноэтажных производственных зданий разработаны конструкции колонн из высокопрочного бетона эффективных сечений (кольцевые, двутавровые, П-образные). Использование бетона класса

В45 вместо классов В25-В30 в сборных колоннах одноэтажных зданий при изменении прямоугольного сечения на кольцевое или двутавровое позволяет сократить объем бетона до 30 % и уменьшить расход стали до 25 %, хотя есть определенные технологические трудности при изготовлении колонн двутаврового сечения.

В колоннах многоэтажных зданий замена бетона классов В25-В30 бетоном классов В45-В55 без изменения опалубочных размеров сечения колонн нижних этажей способствует уменьшению расхода стали на 1 м<sup>3</sup> конструкции до 200 кг.

Практика строительства подтверждает эффективность использования высокопрочных бетонов в каркасах многоэтажных зданий с укрупненной сеткой колонн (6×9, 9×8, 6×12 м) не только в колоннах, но и ригелях и ребристых плитах перекрытий при больших нагрузках.

Применение бетона класса В45 в колоннах двутаврового сечения одноэтажных промышленных зданий вместо бетона класса В25 в колоннах прямоугольного сечения снижает объем бетона и массу конструкции на 40...60 %, расход стали – на 50...60 %, трудоемкость и приведенные затраты на 35 %.

В некоторых случаях на практике отказываются от колонн двутаврового сечения из-за технологических особенностей их изготовления.

Также эффективно применение бетона классов В60 в колоннах кольцевого сечения по сравнению с двухветвевыми типовыми колоннами.

Применение бетонов высоких марок и высокопрочной стали с предварительным напряжением арматуры растянутого нижнего пояса позволяет весьма эффективно применять безраскосные фермы в зданиях с межфермерными этажами.

В многоэтажных зданиях с межфермерными этажами безраскосные фермы связаны с колоннами и, являясь составной частью каркаса этих зданий, работают как ригели многоярусных рам. В табл. 2 приведены технико-экономические показатели вариантов конструктивных решений межфермерных этажей [1, 3].

Таблица 2 – Технико-экономические показатели вариантов конструктивных решений

Вариант	Конструктивное решение	Расход железобетона на ячейку 18×12 м					
		Покрытие и перекрытие		Каркас		Итого	
		Всего м <sup>3</sup>	Приведенная толщина, см	Всего м <sup>3</sup>	Приведенная толщина, см	Всего м <sup>3</sup>	Приведенная толщина, см
А	Шаг фермы 12 м, настил покрытия – ребристые панели 12×3 м, настил перекрытия пустотные панели 12×3 м	37,3	8,7	10	2,3	47,3	11
Б	Шаг ферм 12 м, настил покрытия – ребристые панели 12×3 м; перекрытие – 12 м прогоны с 6 м пустотным настилом	34,5	8	18,7	4,3	58,2	12,3
В	Шаг ферм 12 м, перекрытие – 12 м прогоны с 6 м ребристым настилом; покрытие – 12 м прогоны с 6 м пустотным настилом	31,7	7,3	21,3	5	53	12,3
Г	Шаг стропильных ферм 6 м подстропильная ферма пролетом 12 м; покрытие – настил из 6 м ребристых панелей; перекрытие из 6 м пустотных панелей	32,7	7,3	20,3	4,7	52	12

В табл. 3 приведен расход бетона на каркасы здания с межфермерными этажами и здания из типовых конструкций с сеткой колонн 6×6 м на ячейку 24×6 м и высотой в один ярус (один основной и один межфермерный этаж).

Применение зданий с межфермерными этажами позволяет снизить расход бетона на 20 %, стали – на 11 %. Кроме того, количество сборных элементов, а значит, и количество сварных стыков в каркасе

Таблица 3 – Расход бетона на каркасы зданий

Тип здания	Расход материалов на одну ячейку			
	бетона, м <sup>3</sup>		стали, кг	
	Абсолютная величина	%	Абсолютная величина	%
Из типовых конструкций с межфермерными этажами	56,1	100	6 380	100
	44,8	80	5 998	89

многоэтажного здания с межфермерными этажами в 2,0...2,5 раза меньше, чем в типовом здании с пристройкой. Это позволяет значительно снизить трудоемкость и стоимость монтажа конструкций.

При объеме внедрения на 1 млн м<sup>3</sup> конструкций из бетонов класса В40 и выше по наметившейся структуре применения и номенклатуре в промышленном и жилищно-гражданском строительстве достигается экономический эффект: экономия стали – 40 тыс. т, снижение объема бетона – 200 тыс. м<sup>3</sup>, массы конструкции – 500 тыс. т и трудовых затрат – около 250 тыс. чел.-дней.

Весьма актуальное направление повышения эффективности железобетонных конструкций – учет в работах их совместной и пространственной работы, что позволит в ряде случаев существенно снизить расход материалов. В наибольшей мере этот вопрос проработан применительно к плитам покрытия и строительным конструкциям промышленных зданий.

Существенного развития требуют методы расчета и проектирования сборно-монолитных и особенно монолитных конструкций, так как создаются новые эффективные формы и обеспечивается снижение расхода металла, цемента и сокращается трудоемкость.

Особое внимание следует уделить изучению влияния различных нарушений, приближенных к реальным условиям эксплуатации конструкций, оценке влияния нагрузок длительного воздействия в сочетании с кратковременными различной интенсивности и направленности, что позволит более обоснованно вести проектирование, обеспечивая эффективную безаварийную работу конструкций.

В настоящее время разработаны и внедрены несущие и навесные трехслойные стеновые панели с гибкими связями и эффективным утеплителем для каркасных зданий, навесные однослойные легкобетонные стеновые панели с пониженным процентом армирования, массовое внедрение которых позволит получить экономию стали в размере 1,6 тыс. т.

Разработанные, в том числе на основе опыта Финляндии и США, конструктивные решения армирования стыков многпустотных панелей позволяют применять их не только в качестве длинномерных плит перекрытий пролетом до 9...12 м, но и использовать в качестве панелей внутренних стен с вертикальными каналами и панелей наружных стен с утеплителем.

Таким образом, эффективность железобетонных конструкций зданий и сооружений достигается за счет следующих мероприятий:

- расширение области применения основных типов сборных железобетонных конструкций на основе межвидовой унификации;
- разработка конструкций с бессварными узлами сопряжения, укрупнения монтажных элементов;
- расширения использования высокомарочной арматуры и высокопрочных бетонов;
- новых конструктивных решений на основе передовой технологии изготовления;
- совершенствования методов расчетов конструкций с учетом их пространственной работы в зданиях и сооружениях, в том числе применения расчетных схем, наиболее близких к действительной работе;
- развития и более широкого использования программно-информационного обеспечения автоматизированных систем проектирования с выбором оптимальных по расходу материалов вариантов;
- совершенствование норм проектирования конструкций и норм нагрузок и воздействий.

Поиск оптимальных объемно-планировочных решений зданий связан с определением и анализом следующих технико-экономических показателей: объемно-планировочных решений, строительных затрат; эксплуатационных расходов.

При проектировании следует учитывать, что экономичность объемно-планировочных решений достаточно объективно отражается в значениях ТЭП.

В общих затратах на СМР по возведению промышленных зданий стоимость общестроительных работ составляет в среднем 80 %.

Уровень строительных и эксплуатационных затрат одноэтажных зданий во многом зависит от площади здания, его конфигурации в плане.

Выбор конкретного объемно-планировочного решения производственного здания следует всесторонне обосновать экономическим расчетом.

Повышение эффективности капитальных вложений за счет улучшения конструктивных решений промышленных зданий непосредственно связано с достижениями научно-технического прогресса в строительстве.

В целом экономичность конструктивных решений промышленных зданий связана с учетом таких факторов эффективности, как снижение трудоемкости, а также фондоемкости строительства и будущего промышленного производства, сокращение эксплуатационных расходов. Поиск оптимального конструктивного решения базируется на всестороннем анализе факторов и тщательном обосновании выбора тех или иных решений с учетом условий сопоставимости показателей конкретных условий проектирования и строительства.

## ВЫВОДЫ

Анализ состояния промышленного строительства в России показывает, что доля строительномонтажных работ все еще ниже по сравнению с другими государствами, что объясняется наличием используемых мощностей. Это, в свою очередь, позволяет направлять преобладающую часть капитальных вложений на реконструкцию и техническое перевооружение действующих предприятий без ввода новых площадей.

Обеспечение прироста производственных мощностей обеспечивается, в первую очередь, за счет технического перевооружения предприятий, модернизации оборудования и проведения организационно-технических мероприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губій, М. М. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд : навчальний посібник / М. М. Губій, С. В. Клименко. – Полтава : ПолтНТУ, 2000. – 147 с. – Текст : непосредственный.
2. Шевченко, В. М. Удосконалення проектних рішень і оцінка ефективності проектів промислових будівель : навчальний посібник Міністерства освіти і науки України / В. М. Левченко, Д. В. Левченко. – Макіївка : [б. и.], 2004. – 310 с. – Текст : непосредственный.
3. Шевченко, В. Н. Эффективные конструктивные и технические инженерные решения и анализ факторов, влияющих на долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых зданий и сооружений : учебное пособие / В. Н. Левченко, Д. В. Левченко, Н. А. Невгень. – Макеевка : [б. и.], 2018. – 243 с. – Текст : непосредственный.
4. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения = Concrete and reinforced concrete structures. General provisions : издание официальное : утвержден Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19 декабря 2018 г. N 832/пр и введен в действие с 20 июня 2019 г. : актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 : дата введения 2019-06-20 / АО «НИЦ "Строительство"» – НИИЖБ им. А. А. Гвоздева. – Москва : [б. и.], 2019. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.
5. Хромец, Ю. А. Современные конструкции промышленных зданий / Ю. А. Хромец. – Москва : Стройиздат, 1991. – 351 с. – Текст : непосредственный.

Получена 10.11.2023

Принята 24.11.2023

VICTOR LEVCHENKO, ANDREI VOLKOV, EVGENIY DMITRENKO,  
ALEKSANDR KHRAMOGIN  
ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE EFFICIENCY OF REINFORCED  
CONCRETE STRUCTURES IN THE CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL  
FACILITIES  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** In modern conditions, the typology of buildings and structures, their space-planning solutions are directly related to the features of the design solution and construction methods. In this regard, a set of problems are associated with the synthesis of architectural and structural solutions for industrial buildings are of particular importance for the development of industrial construction. The design of reinforced concrete

structures is traditionally based on three components: design, optimization of construction costs and initial quality. According to research institutes, approximately 25 % of the total number of structures made of reinforced concrete, are in aggressive environments and a quarter of those are operated in a slightly aggressive environment, where, as a rule, protection against corrosion is not provided, i.e. durability of the structures must be ensured at their own cost. The development of planning and design solutions for buildings with large spans and large grids of columns, large-sized enclosing structures and aggregated engineering equipment should be given as the priority in industrial construction. New types of buildings for various purposes should ensure a reduction in time of construction, in the cost and labor intensity, in the operating costs, and an increase in the architectural qualities and compliance with environmental protection requirements.

**Keywords:** efficiency, optimization, unification, factors.

**Левченко Виктор Николаевич** – кандидат технических наук; профессор; заведующий кафедрой железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Волков Андрей Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: Исследование прочностных и деформативных свойств конструкций их модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Дмитренко Евгений Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

**Храмогин Александр Андреевич** – ассистент кафедры железобетонных конструкций ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик определения характеристик напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов при сложных режимах силового и температурного воздействий.

**Levchenko Victor** – Ph. D. (Eng.); Professor; Head of Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

**Volkov Andrei** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: determination of strength and strain properties of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

**Dmitrenko Evgeniy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

**Khramogin Aleksandr** – assistant, Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: development of methods of estimation of characteristics of the stress-strain state of reinforced concrete elements under complex modes of power and temperature influences.