

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

2022, №2, Том 14 / 2022, No 2, Vol 14 <https://esj.today/issue-2-2022.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/44SAVN222.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Лялин, Д. А. Технологичность возведения железобетонных каркасов многоэтажных зданий / Д. А. Лялин, Е. М. Пугач // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/44SAVN222.pdf>

**For citation:**

Lyalin D.A., Pugach E.M. Manufacturability of construction of reinforced concrete frames of multi-storey buildings. *The Eurasian Scientific Journal*, 14(2): 44SAVN222. Available at: <https://esj.today/PDF/44SAVN222.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

**Лялин Дмитрий Александрович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Москва, Россия  
Студент, бакалавр  
E-mail: [sirius631@gmail.com](mailto:sirius631@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3867-2852>

**Пугач Евгений Михайлович**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,  
Москва, Россия  
Доцент кафедры «Технология и организация строительного производства»  
Кандидат технических наук  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=416367](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367)

## Технологичность возведения железобетонных каркасов многоэтажных зданий

**Аннотация.** В статье рассмотрены способы исполнения железобетонных каркасов зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства. Представлены сведения о наиболее применяемых технологиях с определением основных принципов осуществления и особенностей. Из менее распространенных технологий сборно-монолитного строительства выделен метод подъема перекрытий с поэтажной установкой колонн. По причине недостатка и субъективности имеющихся данных по эффективности существующих технологий устройства каркасов и необходимости получения объективного заключения, основанного на конкретных показателях, поставлена задача проведения анализа технологичности возведения конструкций. Представлена система экспертного оценивания с описанием исходных данных для определения показателей технологичности каждого метода. Установлено, что выбор технологий в строительстве во многом зависит от уровня технологичности, характеризующегося показателями трудоемкости, материалоемкости, количеством времени на изготовление конструкций. Для анализа использованы методы качественной и количественной оценки, проведены численные исследования эффективности использования современных методов возведения многоэтажных зданий. В ходе качественной оценки с предварительным ранжированием и последующим преобразованием в количественные данные выявлена и отражена зависимость уровня эффективности от внешних факторов среды строительства. Проведена количественная оценка, основанная на нормативных значениях, с выводом результирующих данных, демонстрирующих эффективность применения каждой технологии. Определены уровни эффективности технологий в привязке к нормативным количественным показателям. Установлена взаимосвязь между качественной и количественной оценкой. В ходе

исследования определен потенциал и превосходство технологии подъема перекрытий с поэтажной установкой колонн относительно других рассматриваемых методов возведения зданий и сооружений промышленного и гражданского строительства.

**Ключевые слова:** сборно-монолитное строительство; подъем перекрытий с поэтажной установкой колонн; эффективность возведения железобетонных каркасов; оценка технологичности; показатели технологичности

### Введение

На сегодняшний день железобетон — наиболее широко используемый материал в строительстве [1], что обусловлено превосходным сочетанием прочностных и эксплуатационных характеристик со стоимостью производства [2]. Основа будущего здания — каркас изготавливается из данного материала. Это обеспечено качеством совместной работы конструктивных элементов как в случае неразрывного или монолитного устройства каркаса, так и при разделении на составляющие сборные сегменты [3]. Данное условие справедливо также и для комбинированных систем устройства остова будущего здания, которые относятся к сборно-монолитному строительству.

Строительные технологии, предусматривающие монолитное исполнение несущих конструкций, имеют три основных процесса: армирование, устройство/демонтаж опалубки и бетонирование. Главная задача опалубки — сформировать очертания и придать форму будущему конструктивному элементу [4].

Принцип, лежащий в основе сборного строительства, основан на том, что конструктивная система делится на множество элементов, производство которых осуществляется в заводских условиях с последующей доставкой на объект. Это позволяет уменьшить число задействованных рабочих, поскольку монтаж сборных железобетонных элементов механизирован [5].

Сборно-монолитное строительство отличается от сборного наличием мокрых процессов, которые сведены к минимуму. Наиболее актуальной и применяемой технологией является сборно-монолитное строительство с устройством универсального безбалочного каркаса [6]. Специфика заключается в последовательном устройстве ярусов колонн, охватывающих несколько этажей, и монтаже плит перекрытия. Мокрые процессы возникают при устройстве стыков колонн с надколонными плитами, сопряжений плит перекрытий между собой. Темп строительства безбалочного каркаса сопоставим с вариантами, выполненными из сборного железобетона [7].

Метод подъема перекрытий с поэтажной установкой колонн, как менее распространенная разновидность сборно-монолитного строительства, позволяет значительно уменьшить время возведения несущих конструкций здания, а также повысить автоматизацию строительных процессов, снижая количество привлекаемых рабочих [8; 9].

В последнее время наблюдается тенденция усовершенствования технологий сборного строительства с переходом к сборно-монолитному, поскольку все большее предпочтение отдается комбинированным системам не только в строительстве, но и в других сферах деятельности [10]. Возникает потребность в оценке эффективности наиболее применяемых методов.

Существующие описания дают субъективную картину эффективности возведения каркасов зданий тем или иным способом. Необходимо формирование объективного заключения, которое может базироваться на конкретных показателях.

Выбор технологий в строительстве во многом зависит от уровня технологичности, характеризующегося показателями трудоемкости, материалоемкости, количеством времени на изготовление конструкций [11].

Данные показатели позволяют провести качественную и количественную оценку технологий возведения конструкций из монолитного, сборного и сборно-монолитного железобетона и анализировать уровень их эффективности и применимости в современных условиях.

### Методы

В статье использованы методы качественной и количественной оценки, проведены численные исследования эффективности использования современных методов возведения многоэтажных зданий. Численные исследования строились на основе имеющихся нормативных данных по затратам труда и машинному времени для процессов возведения зданий [12]: из монолитного железобетона с использованием переставной опалубки; из сборного железобетона с каркасами стоечно-ригельной системы; из сборно-монолитного железобетона с безбалочным каркасом, возводимым наращиванием и подрачиванием методом подъема перекрытий с поэтажной установкой колонн. Для формирования показателей качественной оценки был использован экспертный метод. Результаты базируются на данных, полученных от экспертов строительной отрасли. Важно отметить, что выбор данных технологий был сделан с учётом преимуществ и недостатков, а также актуальности и эффективности их применения на современном этапе.

### Результаты

В процессе сбора данных, анализ эффективности рассматриваемых технологий был разделен на качественную и количественную оценки. Такой подход весьма эффективен, поскольку позволяет добиться высокого уровня объективности выводов и заключений [13].

Для качественной оценки был проведен опрос 73 экспертов, в ходе которого была установлена значимость показателей определения эффективности применения технологий. Была введена бальная система по показателям влияния технологий возведения каркасов зданий:

1. на условия строительной площадки;
2. на используемое монтажное оборудование;
3. на средства доставки материалов, изделий и оборудования;
4. на диапазон выбора разрядов (определения квалификации) исполнителей.

Первый показатель подразумевает сложность и возможность применения рассматриваемых технологий в различных условиях, определяемых местом нахождения строительной площадки. К ним могут относиться плотная городская застройка, необходимость отведения больших площадей под зоны складирования, зоны влияния рабочего оборудования и безопасность окружающей площадку среды. Специфика каждой технологии будет в определённой мере влиять на эти условия. Она может либо нивелировать их благодаря своей адаптивности, либо усугубить с последующими последствиями в виде дополнительных мероприятий и затрат по устранению нежелательных факторов.

Второй показатель проявляется в осуществлении ведущих процессов рассматриваемых технологий определённым монтажным оборудованием. Специфика каждой технологии требует использования конкретных механизмов, которые в свою очередь имеют различные габариты,

принципы работы и затраты на обслуживание и эксплуатацию. Габариты будут влиять на площадь размещения и доставку оборудования. Принцип работы выражается в зонах влияния оборудования, безопасности самой строительной площадки и прилегающих к ее границам объектов, темпе производства работ.

Третий показатель сформирован с учетом влияния технологии на доставку необходимых материалов, изделий и конструкций, а также ведущего оборудования и механизмов. В зависимости от применяемой технологии габариты доставляемых элементов варьируются от малых к большим, что подразумевает поиск и использование необходимых средств доставки. Под влияние также попадает и проработка логистики средств доставки.

Четвертый демонстрирует влияние рассматриваемых технологий на уровень подготовки исполнителей. Технология — это комплекс процессов, правильное осуществление которых приводит к положительному результату. Определённое количество процессов в виду их сложности может выполняться только высококвалифицированными специалистами.

Данные, полученные в ходе опроса, были систематизированы и сведены в таблицу 1, в которой также была показана система оценивания. Результирующие показатели качественной оценки отражают усреднённые баллы по каждой технологии и каждому показателю, а также суммарное значение по показателям, отражающее уровень эффективности технологий.

**Таблица 1**

**Результирующие показатели качественной оценки**

Наименование показателя	Монолитное строительство с использованием переставной опалубки	Сборное строительство по стоечно-ригельной системе	Сборно-монолитное строительство по системе КУБ (каркас универсальный безбалочный)	Подъем перекрытий с поэтажной установкой колонн	Усредненная степень влияния показателя
Влияние технологии возведения каркаса здания на условия строительной площадки	0,78	0,66	0,55	0,98	85,3 %
Влияние технологии возведения каркаса здания на используемое монтажное оборудование	0,82	0,94	0,65	1,43	74,5 %
Влияние технологии возведения каркаса здания на средства доставки материалов, изделий и оборудования	0,49	0,29	0,03	0,49	78,8 %
Влияние технологии возведения каркаса здания на диапазон разрядов (уровень квалификации) рабочего персонала и ИТР	0,97	0,88	0,76	0,59	91,1 %
<b>Суммарный балл</b>	3,06	2,77	1,99	3,49	
<b>Процентный показатель эффективности технологии</b>	76,5 %	69,25 %	49,75 %	87,25 %	

*Составлено авторами на основе данных, полученных от экспертов строительной отрасли*

Полученные данные демонстрируют высокий уровень эффективности технологии подъема перекрытий с поэтажной установкой колонн в случае с выбранными для качественной оценки показателями. Самый низкий уровень присвоен сборно-монолитному строительству по

системе универсального безбалочного каркаса. Это обусловлено габаритами применяемых изделий и оборудования, как следствие усложненностью доставки данных элементов на территорию строительной площадки. Также данная технология меньше всего адаптирована под условия стесненности ведения работ. Технологии сборного строительства с использованием стоечно-ригельной системы и монолитного строительства с применением переставной опалубки демонстрируют средние уровни эффективности.

Качественная оценка привязана к условиям и показателям, а также специальной системе балльного оценивания, отражающей степень превосходства по определенным факторам (табл. 2).

**Таблица 2**

**Система градации качественной оценки  
для дальнейшего преобразования в количественные показатели**

Показатель	Балл	Примечание	Диапазон степени влияния (от 1 до 10)
Влияние технологии возведения каркаса здания на условия строительной площадки	0,5	Возможность ведения работ в стандартных условиях, не создающих осложнений при производстве работ	От 7 до 10
	1	Возможность ведения работ в условиях плотной городской застройки без дополнительных затрат на обустройство зон складирования, мест работы основного оборудования и защитные мероприятия	
Влияние технологии возведения каркаса здания на используемое монтажное оборудование	0,5	Габаритное оборудование, требующее отдельного расположения и создающее протяженные опасные зоны. Высокие затраты на эксплуатацию и обслуживание	От 5 до 9
	1	Оборудование, соответствующее всем необходимым потребностям ведущих процессов строительства. Имеет достаточный диапазон применения, удовлетворительные габариты, стоимость обслуживания и эксплуатации	
	1,5	Оборудование, отличающееся компактностью, необходимой функциональностью, приемлемой стоимостью эксплуатации и обслуживания	
Влияние технологии возведения каркаса здания на средства доставки материалов, изделий и оборудования	0	Использование габаритного транспорта для доставки строительного оборудования, отдельных материалов и изделий. Дополнительные затраты на доставку габаритных предметов	От 6 до 9
	0,5	Использование стандартного транспорта без дополнительных затрат	
Влияние технологии возведения каркаса здания на диапазон разрядов (уровень квалификации) исполнителей	0,5	Необходимость в использовании только опытных рабочих с высоким уровнем подготовки	От 7 до 10
	1	Возможность использования рабочих в ведущих процессах с высоким и средним уровнем подготовки	

В дополнение к опросу и его данным необходимо проведение количественной оценки показателей трудоемкости, материалоемкости, количества времени на изготовление конструкций, полученных на основе нормативных значений для формирования более объективных выводов и предположений.

В качестве исходных данных для проведения количественной оценки эффективности каждой из выбранных технологий выбран каркас 10-ти этажного здания с площадью пятна застройки 1243,96 м<sup>2</sup>. Также в данном исследовании процесс возведения ядра жесткости здания не включен в расчет таких показателей, как объем работ, затраты труда, продолжительность, и принят одинаковым для всех технологий с необходимым опережением на 3-4 этажа.

В ходе формирования показателей количественной оценки рассматриваемая модель была разделена на 5 ярусов по 2 этажа каждый. В качестве первоначальных данных были определены объемы каркасов, затраты труда, затраты машинного времени и продолжительность возведения одного яруса по каждой технологии (табл. 3). Стоит отметить различия в объемах строительных конструкций по выбранным технологиям. В случае с монолитным, сборно-монолитным строительством и подъемом перекрытий эти отклонения незначительны. Однако в сборном строительстве каркасов данное отклонения обусловлено необходимостью устройства ригелей для раскладки плит перекрытий.

Таблица 3

**Исходные данные для формирования  
показателей технологичности количественного оценивания**

Наименование технологии	Строительный объем 1 яруса (2 этажа), м <sup>3</sup>	Трудоемкость, чел.-дн.	Затраты машинного времени, маш.-смены	Продолжительность, дн.
Монолитное строительство с использованием переставной опалубки	508,08	667,93	24,25	30
Сборное каркасное строительство	507,92	90,97	15,41	21
Сборно-монолитное строительство по системе каркаса универсального безбалочного	507,17	39,11	7,29	12
Подъем перекрытий с поэтажной установкой колонн	508,08	18,3	7,33	8

*Составлено авторами на основе имеющихся данных о трудозатратах и машинном времени рассматриваемых технологий*

В результирующие показатели количественной оценки были включены: выработка 1-го рабочего в день, трудоёмкость возведения одного кубического метра конструкции, степень механизации (вычисленная при помощи отношения затрат ручного труда к машинному времени) и темп производства работ (табл. 4).

Таблица 4

**Результирующие показатели количественной оценки**

Наименование технологии	Трудоёмкость 1 м <sup>3</sup> конструкции, чел.-дн./м <sup>3</sup>	Выработка одного рабочего за день, м <sup>3</sup> /чел.-дн.	Степень механизации, %	Темп производства работ, дн.
Монолитное строительство с использованием переставной опалубки	1,31	0,76	3,63	30
Сборное каркасное строительство	0,18	5,58	16,94	21
Сборно-монолитное строительство по системе каркаса универсального безбалочного	0,08	12,97	18,64	12
Подъем перекрытий с поэтажной установкой колонн	0,04	27,76	40,05	8

Итоговые данные, полученные в ходе количественной оценки, демонстрируют иную картину эффективности технологий. Из общего можно выделить превосходство технологии подъема перекрытий с поэтажной установкой колонн и стабильно хорошие показатели сборных каркасов. Технология сборно-монолитного строительства по системе универсального безбалочного каркаса в ходе данной оценки вышла на второе место по показателям

эффективности, сместив монолитное строительство с использованием переставной опалубки на последнее место. До этого в ходе качественной оценки с преобразованием в количественные показатели ситуация была обратной. В связи с этим формируется следующее предположение: качественные показатели демонстрируют эффективность адаптации технологии к условиям применения, а количественные — эффективность применения в рамках одинакового объекта без учета внешних факторов. Вместе данные оценивания формируют полную картину эффективности применения каждой рассматриваемой технологии.

### Обсуждение

Результирующие данные демонстрируют эффективность применения рассматриваемых технологий в привязке к внешним факторам строительной рабочей среды и успешность применения в сравнении с другими потенциальными вариантами возведения здания. Принимая во внимание тот факт, что результаты проведения качественной и количественной оценок в определенной мере рознятся, необходима взаимная увязка обеих сторон оценивания с целью выявления наиболее эффективного в плане применения варианта. Пренебречь данной необходимостью можно в случае равнозначных показателей одной из сторон оценки для каждого потенциального варианта.

Стоит отметить, что метод подъема перекрытий с поэтажной установкой колонн весьма успешно демонстрировал свои преимущества в ходе данного исследования, проявив свою адаптивность к условиям строительной площадки и высокие показатели нормативных количественных значений. Данный метод можно отнести к вариации сборно-монолитного строительства, которое становится более применимым и предпочтительным в современных условиях. Это связано с актуальной тенденцией внедрения комбинированных систем в различных отраслях промышленности, что подчеркивает перспективу применения технологии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Звездов А.И. Бетон и железобетон в современном строительстве / А. И. Звездов // Технологии бетонов. — 2010. — № 5–6(46–47). — С 8–9. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42690806> (дата обращения: 20.03.2022).
2. Khamidulina D. Power and energy characteristics of concrete / Khamidulina D., Rimshin V., Varlamov A., Nekrasov S. — DOI 10.1051/e3sconf/201913503057 // E3S Web of Conferences. — 2019. — Volume 135. — URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/61/e3sconf\\_itese18\\_03057.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/61/e3sconf_itese18_03057.pdf) (дата обращения: 20.03.2022).
3. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы / А.Г. Тамразян // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 8. — С. 30–33. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21845739> (дата обращения: 20.03.2022).
4. Абрамян С.Г. Развитие монолитного строительства и современные опалубочные системы / С.Г. Абрамян, А.М. Ахмедов, В.С. Халилов, Д.А. Уманцев // Вестник волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. серия: строительство и архитектура. — 2014. — № 36(55). — С. 231–239. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21591071> (дата обращения: 20.03.2022).

5. Герц В.А. Анализ технологического процесса монолитного и сборного строительства / В.А. Герц, Л.В. Сыродоева, А.А. Попова // Шаг в науку. — 2017. — № 4. — С. 16–19. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37000958> (дата обращения: 20.03.2022).
6. Семенюк С.Д. Соединение колонн с перекрытиями в сборных конструктивных системах жилых зданий под социальное жилье / С.Д. Семенюк, Д.И. Жилинский // Вестник Белорусско-Российского университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2015. — № 1(46). — С. 120–130. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/soedinenie-kolonn-s-perekrytiyami-v-sbornyh-konstruktivnyh-sistemah-zhilyh-zdaniy-pod-sotsialnoe-zhilie/pdf> (дата обращения: 25.03.2022).
7. Абрамян С.Г. Сборные и сборно-монолитные каркасные системы высотных зданий с плоскими плитами перекрытий / С.Г. Абрамян, Д.В. Гнатюк // Интернет-журнал «Науковедение». Серия: Строительство и архитектура. — 2017. — Т 9, № 1. — С. 1–7. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sbornye-i-sbornomonolitnye-karkasnye-sistemy-vysotnyh-zdaniy-s-ploskimi-plitami-perekrytiya/pdf> (дата обращения: 25.03.2022).
8. Lyalin D. Lift-slab method — alternative for construction in conditions of dense urban development / D. Lyalin, E. Pugach. — DOI 10.1007/978-981-33-6208-6\_56 // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020. — 2020. (дата обращения 25.03.2022).
9. Gaidukov P.V. Technological aspects of lift-slab method in high-rise-building construction / P.V. Gaidukov, E.M. Pugach — DOI 10.1051/e3sconf/20183302068 // E3S Web of Conferences. Volume 33. — 2018. — URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/08/e3sconf\\_hrc2018\\_02068.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/08/e3sconf_hrc2018_02068.pdf) (дата обращения: 25.03.2022).
10. Лебедев В.М. Определение технологичности проектов строительства и реконструкции объектов / В.М. Лебедев, Ломтев И.А. — DOI 10.12737/article\_5a001ab5b736a5.52602351 // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2017. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-tehnologichnosti-proektov-stroitelstva-i-rekonstruktsii-obektov.pdf> (дата обращения: 25.03.2022).
11. Лебедев В.М. Определение технологичности проектов строительства и реконструкции объектов / В.М. Лебедев, И.А. Ломтева // Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. — 2017. — № 11. — С. 80–83. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30634807> (дата обращения: 25.03.2022).
12. Булгаков С.Н. Технологичность железобетонных конструкций и проектных решений. — Москва: Стройиздат., 1983. — С. 303.

**Lyalin Dmitriy Aleksandrovich**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
E-mail: [siriuss631@gmail.com](mailto:siriuss631@gmail.com)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3867-2852>

**Pugach Evgeniy Mikhaylovich**

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia  
Кандидат технических наук  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2832-1941>  
RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=416367](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416367)

## **Manufacturability of construction of reinforced concrete frames of multi-storey buildings**

**Abstract.** The article considers the methods of execution of reinforced concrete frames of buildings and structures of industrial and civil construction. Information is presented on the most used technologies with the definition of the basic principles of implementation and features. From the less common technologies of prefabricated monolithic construction, the lift-slab method with floor-by-floor arrangement of columns was singled out. Due to the lack and subjectivity of the available data on the efficiency of existing frame construction technologies and the need to obtain an objective conclusion based on special indicators, the task was set to analyze the manufacturability of the erection of structures. A system of expert evaluation is presented with a description of the initial data for determining the manufacturability indicators of each method. It has been established that the choice of technologies in construction largely depends on the level of manufacturability, characterized by indicators of labor intensity, material consumption, and the amount of time for the manufacture of structures. For the analysis, methods of qualitative and quantitative assessment were used, numerical studies of the effectiveness of the use of modern methods for the construction of multi-storey buildings were carried out. In the course of a qualitative assessment with preliminary ranking and subsequent conversion into quantitative data, the dependence of the level of efficiency on external factors of the construction environment was identified and reflected. A quantitative assessment based on standard values was carried out, with the output of the resulting data demonstrating the efficiency of each technology. The levels of technology efficiency are determined in relation to normative quantitative indicators. The relationship between qualitative and quantitative assessment has been established. In the course of the study, the potential and superiority of the lift-slab method with floor-by-floor arrangement of columns was determined relative to other considered methods of mounting buildings and structures of industrial and civil engineering.

**Keywords:** precast-monolithic construction; lift-slab method with floor-by-floor arrangement of columns; efficiency of the mounting of reinforced concrete frames; the assessment of manufacturability; manufacturability indicators