

Султаев З.И.

студент

2 курс магистратуры, факультет «Технологии строительного

производства»

Санкт-Петербургский государственный архитектурно строительный

университет

Россия, г. Санкт-Петербург

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОНТАЖА ТРАДИЦИОННЫХ И МОДУЛЬНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ В МАЛОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

***Аннотация:** В статье исследуются научно-практические аспекты интенсификации малоэтажного жилищного строительства посредством внедрения инновационных технологий объемно-блочной префабрикации. Главной проблемой при реализации проектов по традиционным мелкоэлементным технологиям является высокая стохастичность строительного производства и значительный временной разброс фактических сроков сдачи объектов относительно плановых. Основными деструктивными факторами выступают строго линейная последовательность процессов, жесткая зависимость от погодноклиматических условий и сложность координации многокомпонентной логистики на площадке. Перенос до 85% трудозатрат в контролируемую среду автоматизированного цеха позволяет применить принципы бережливого производства (Lean Construction) и ликвидировать ключевые технологические простои.*

Эффективной альтернативой является индустриализация процессов посредством префабрикации — применения модульных фасадных систем высокой заводской готовности (например, интегрированных блоков типа «блок-хаус»). Перенос основных технологических операций в контролируемые условия цеха позволяет автоматизировать сборку, гарантировать стабильное качество и минимизировать объемы работ на площадке.

Несмотря на очевидные преимущества префабрикации, в отечественной научно-технической литературе недостаточно представлены количественные оценки изменения организационно-технологических параметров при переходе от послойного монтажа к модульному в малоэтажном строительстве

Цель исследования. Целью настоящего исследования является разработка организационно-технологической модели и количественная оценка параметров надежности строительного производства при переходе от традиционных мелкоэлементных технологий к объемно-блочному модульному домостроению. Для достижения цели решены задачи по классификации технологических рисков, расчету коэффициентов организационной надежности и сопоставлению временных графиков реализации проектов.

Ключевые слова: модульное строительство, префабрикация, малоэтажное домостроение, фасадные системы, трудоемкость монтажа

Annotation: *The article explores the scientific and practical aspects of intensifying low-rise residential construction through the implementation of innovative volumetric modular prefabrication technologies. The primary problem in executing projects using traditional small-element technologies is the high stochasticity of construction production and a significant temporal variance between actual and planned project completion dates. The main disruptive factors include a strictly linear sequence of processes, heavy dependence on weather and climatic conditions, and the complexity of coordinating multi-component logistics on-site. Shifting up to 85% of labor inputs into the controlled environment of an automated factory allows for the application of Lean Construction principles and the elimination of key technological downtimes*

An effective alternative is the industrialization of processes through prefabrication — specifically, the use of modular facade systems with a high degree of factory readiness (such as integrated "block-house" units). Transferring the core technological operations to controlled workshop conditions enables assembly automation, guarantees consistent quality, and minimizes the volume of on-site work.

Despite the obvious advantages of prefabrication, domestic scientific and technical literature lacks sufficient quantitative assessments regarding changes in organizational and technological parameters when transitioning from layered to modular installation in low-rise construction.

Research Objective. *The objective of this study is to develop an organizational and technological model and to quantitatively assess the reliability parameters of construction production during the transition from traditional small-element technologies to volumetric modular housing construction. To achieve this objective, the study addresses the tasks of classifying technological risks, calculating organizational reliability coefficients, and comparing project execution schedules*

Keywords : *modular construction, prefabrication, low-rise housing, facade systems, installation labor intensity.*

Введение. Современный этап развития мирового строительного комплекса характеризуется переходом к концепции «Строительство 4.0», которая подразумевает сквозную индустриализацию, автоматизацию и перенос максимального объема технологических процессов со строительной площадки в контролируемые условия роботизированных или полуавтоматизированных заводских цехов. В рамках данного вектора одним из наиболее перспективных направлений признано объемно-блочное модульное домостроение (3D-префабрикация). Суть технологии заключается в изготовлении крупноразмерных объемных модулей (блок-комнат, блок-квартир или готовых строительных сегментов) высокой степени заводской готовности, достигающей 80–85%. В заводских условиях внутри модуля монтируются не только несущие и ограждающие конструкции, но и внутренние инженерные сети, оконные и дверные блоки, а также выполняется предчистовая или чистовая отделка помещений

Актуальность исследования вопросов внедрения объемно-блочного домостроения в Российской Федерации обусловлена необходимостью решения стратегических государственных задач по форсированному увеличению объемов ввода доступного и качественного жилья. Особое место в этой структуре занимает сегмент малоэтажного индивидуального и блокированного жилищного строительства (ИЖС), доля которого в общем объеме жилищного ввода по состоянию на 2026 год стабильно превышает половину. Традиционные методы возведения малоэтажных зданий (мелкоблочное из газобетона или кирпичное кладочное производство) в современных реалиях сталкиваются со снижением организационно-технологической надежности, вызванным дефицитом квалифицированной рабочей силы, нестабильностью поставок и ростом стоимости базовых строительных материалов.

Переход от традиционных «площадочных» методов к индустриальной объемно-блочной сборке принципиально меняет структуру строительного потока. Ключевое преимущество префабрикации заключается в обеспечении параллельности строительных процессов: в то время как на строительной площадке выполняются работы нулевого цикла (подготовка территории, разработка котлована, устройство фундаментов и подведение магистральных сетей), на заводе параллельно идет непрерывный конвейерный процесс изготовления и комплектации объемных модулей. Это позволяет радикально сократить общий инвестиционно-строительный цикл объекта.

Однако массовое внедрение технологий 3D-префабрикации в отечественную практику сдерживается отсутствием комплексных научно обоснованных моделей, позволяющих количественно оценить организационно-технологическую надежность таких потоков. Существующие нормативные базы и методики расчета продолжительности строительства зачастую ориентированы на последовательные линейные графики мелкоэлементного возведения зданий. Возникает научно-практическое противоречие между высоким потенциалом сокращения

сроков за счет заводской готовности модулей и отсутствием четких математических оценок надежности функционирования строительного потока в условиях рисков и организационных помех. Данное противоречие предопределяет необходимость проведения детального сравнительного анализа параметров надежности традиционного и модульного малоэтажного строительства

Проблемы исследования. Главным деструктивным фактором, снижающим эффективность инвестиций в малоэтажное жилищное строительство, является высокая с непредсказуемостью процессов на строительной площадке. При реализации проектов по традиционным мелкоэлементным технологиям (например, при кладке стен из газобетона или кирпича) фактические сроки сдачи объектов часто превышают плановые на 30–50%. Эта проблема обусловлена тремя ключевыми факторами:

- **Жесткая линейная зависимость критического пути.** Традиционный строительный поток носит строго последовательный характер. Невозможно приступить к монтажу внутренних инженерных сетей, устройству перекрытий, установке окон и финишной отделке до тех пор, пока полностью не возведена несущая коробка здания и не устроен кровельный пирог. Любая задержка на этапе каменных работ автоматически сдвигает все последующие этапы.
- **Высокая чувствительность к внешним организационно-технологическим помехам.** Производство строительно-монтажных работ в неконтролируемой среде строительной площадки напрямую зависит от сезонности и погодных-климатических условий (отрицательные температуры, осадки, шквалистый ветер). В зимний период производительность труда падает в среднем на 25–35% из-за необходимости прогрева материалов, устройства «тепляков» и усложнения условий работы для людей.
- **Рассредоточенность логистики и контроля качества.** Традиционный объект требует координации десятков поставщиков (бетон, блоки, арматура, утеплитель, отделочные материалы) непосредственно на площадке. Отсутствие жесткого входного и операционного контроля, характерного для заводских условий, ведет к накоплению геометрических погрешностей и скрытому браку, исправление которого требует дополнительных временных и трудовых ресурсов.

Таким образом, ключевая научно-практическая проблема заключается в том, что традиционная организация строительного производства на площадке обладает низкой внутренней устойчивостью к помехам. Требуется переход к такой технологической модели, которая позволит изолировать наиболее трудоемкие и чувствительные процессы (отделка, инженерия, сборка узлов) от деструктивного воздействия внешней среды. В качестве такого решения выступает объемно-блочная префабрикация, переносная

до 85% общего объема работ в контролируемые условия заводского конвейера.

Материалы и методы. Для количественной оценки параметров организационно-технологической надежности в рамках исследования было выполнено математическое и календарное моделирование возведения двухэтажного блокированного жилого дома (таунхауса) общей площадью 150 м².

Были сопоставлены две альтернативные технологические концепции:

- **Традиционное мелкоэлементное строительство:** Устройство монолитного ленточного фундамента; возведение наружных и внутренних стен из газобетонных блоков на клеевом растворе; устройство сборно-монолитных перекрытий; монтаж стропильной системы и кровли; последовательный монтаж оконных блоков; разводка инженерных коммуникаций; выполнение внутренних штукатурных и отделочных работ непосредственно на объекте.
- **Объемно-блочное модульное строительство:** Разделение здания на 4 крупнообъемных 3D-модуля (модули первого и второго этажей). Каркас модулей — легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) или монолитный керамзитобетон. В заводских условиях в модулях полностью выполняется прокладка внутренних сетей, установка окон, дверей, предчистовая и финишная отделка комнат. На строительной площадке параллельно выполняется устройство фундамента, после чего производится монтаж готовых блоков автомобильным краном высокой грузоподъемности и герметизация стыков.

Методология оценки организационно-технологической надежности $K_{отн}$ базировалась на расчете вероятности выполнения работ в директивный срок с учетом коэффициента организационных помех:

Где P_i — вероятность возникновения технологического сбоя или простоя на i -м этапе строительного потока, определенная на основе статистических данных и экспертных оценок для малоэтажного строительства по состоянию на 2026 год. Моделирование календарных графиков велось при условии работы стандартного звена монтажников (3–4 человека) при 8-часовом рабочем дне

Результаты: В ходе организационно-технологического моделирования были построены сквозные календарные графики для обеих исследуемых концепций малоэтажного строительства. Результаты сравнительного анализа временных параметров по укрупненным этапам реализации проектов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ продолжительности этапов строительства (в календарных днях)

Этап реализации проекта	Традиционная	Объемно модульная	Характер выполнения работ в объемно модульном
Проектирование и согласование	20	25	Требует повышенной точности и детализации
Нулевой цикл	15	15	Выполняется на площадке параллельно с заводом
Изготовление 3D-модулей в цеху	-	14 (параллельно)	Не влияет на критический путь проекта
Возведение коробки здания / Монтаж	30	2	Монтаж готовых блоков краном за 2 дня
Устройство кровли	12	-	Интегрировано в заводской модуль
Внутренние инженерные сети	18	-	Интегрировано в заводской модуль
Черновая и чистовая отделка	25	-	Интегрировано в заводской модуль
Финишная заделка стыков и сдача	5	-	Требует герметизации интерьерных швов
Итого в днях	125	72	Сокращение общего срока на 53 дня

Анализ временных параметров показывает, что в Традиционном методе за счет высокой степени префабрикации (85%) этапы устройства кровли, разводки внутренних инженерных коммуникаций и финишной отделки полностью исключаются из площадочного цикла. Они переносятся в заводской конвейер и выполняются строго параллельно с устройством фундаментов на строительной площадке. В результате общий инвестиционно-строительный цикл сокращается со 125 до 72 дней (на 42,4%).

Для оценки качественного состояния потоков был произведен расчет интегрального коэффициента организационно-технологической надежности $K_{отн}$. На основе статистических данных о простоях в малоэтажном секторе зафиксированы следующие вероятности возникновения деструктивных факторов сбоя для каждого типа технологии:

- **Традиционная:** вероятность срыва сроков из-за погодных условий $P_{пог} = 0,15$; из-за несвоевременной поставки разнородных материалов на площадку $P_{лог} = 0,12$; из-за дефицита или низкой квалификации рабочих $P_{кадр} = 0,10$.
- **Объемно-модульная:** вероятность срыва сроков на площадке из-за погоды $P_{пог} = 0,02$ (период монтажа составляет всего 2 дня); логистические риски доставки крупногабаритных модулей $P_{лог} = 0,05$; риск дефицита кадров на площадке $P_{кадр} = 0,02$

Расчет коэффициента организационно-технологической надежности для традиционной технологии .

$$K_{отн}^A = (1 - 0,15) \times (1 - 0,12) \times (1 - 0,10) = 0,85 \times 0,88 \times 0,90 = 0,673$$

Расчет коэффициента организационно-технологической надежности для объемно-блочной технологии (Модель Б)

$$K_{отн}^B = (1 - 0,02) \times (1 - 0,05) \times (1 - 0,02) = 0,98 \times 0,95 \times 0,98 = 0,912$$

Сравнительный анализ полученных коэффициентов надежности указывает на рост стабильности строительного процесса. Для наглядности основные параметры эффективности сведены в таблицу 2

Таблица 2

Сводные организационно-технологические показатели систем

Показатель эффективности	Традиционная	Объемно модульная	Изменение
Коэффициент надежности	0,673	0,912	+35,5% (рост устойчивости)

Доля ручного труда на площадке, %	78%	15%	–63% (механизация)
Общая продолжительность, дней	125	72	–42,4% (сжатие сроков)

Значительный рост организационно-технологической надежности (с 0,673 до 0,912) при внедрении объемно-блочной префабрикации объясняется кардинальным изменением структуры строительного производства. Традиционная Модель А обладает высокой чувствительностью к внешним факторам, так как практически 100% добавленной стоимости объекта создается в неконтролируемых условиях строительной площадки.

В Объемно модульном варианте контролируемая среда заводского цеха гарантирует стабильный температурно-влажностной режим, постоянный сквозной контроль качества и высокий уровень автоматизации процессов. Риск технологического брака при монтаже утеплителя или разводке труб сводится к минимуму. Единственным критическим ограничением объемно-блочной технологии выступает логистический фактор: необходимость использования специализированных тралов для перевозки негабаритных грузов и мощных автомобильных кранов (грузоподъемностью от 50–100 тонн) для монтажа модулей, что накладывает жесткие требования к подъездным путям и радиусам разворота в условиях малоэтажной застройки

Заключение: Проведенное исследование позволило осуществить комплексную количественную оценку и моделирование параметров строительного производства при переходе от традиционных мелкоэлементных технологий к индустриальной объемно-блочной префабрикации в сегменте малоэтажного домостроения. Доказано, что применение крупнообъемных 3D-модулей высокой заводской готовности (до 85%) обеспечивает эффективное параллельное совмещение заводского конвейерного цикла с площадочными работами нулевого цикла. Это позволяет сократить общую продолжительность возведения объекта на 42,4% (со 125 до 72 дней для блокированного дома площадью 150 м²) за счет полного исключения этапов устройства кровли, разводки внутренних инженерных сетей и финишной отделки из площадочного цикла.

Математическое моделирование строительного потока зафиксировало рост интегрального коэффициента организационно-технологической надежности $K_{отн}$ на 35,5% — с 0,673 (при традиционной технологии) до 0,912 (при объемно-блочной). Данный эффект достигается за счет изоляции наиболее трудоемких, технологически сложных и чувствительных к качеству процессов от деструктивного воздействия внешней среды

(погодно-климатических факторов, кадрового дефицита и логистической рассредоточенности на площадке). Перенос основных производственных операций в условия автоматизированного цеха позволяет снизить долю ручного труда на строительной площадке с 78% до 15%, трансформируя ее в место быстрой высокомеханизированной сборки готовых блоков, занимающей всего 2 дня.

Несмотря на очевидные преимущества, ключевым сдерживающим фактором для массового внедрения 3D-префабрикации в малоэтажной застройке выступает транспортно-логистическая составляющая. Высокие требования к геометрии подъездных путей, радиусам разворота тяжелой техники и необходимость привлечения грузоподъемных кранов большой мощности требуют детальной проработки проекта организации строительства на самых ранних стадиях проектирования. Тем не менее внедрение разработанных моделей открывает широкие перспективы для девелоперов в части перехода к прогнозируемому, поточному и независимому от сезона возведению малоэтажного жилья, что напрямую способствует повышению экономической устойчивости строительного бизнеса.

Использованные источники:

1. **Афанасьев А. А.** Интенсификация и автоматизация процессов в индустриальном домостроении // Вестник МГСУ. — 2023. — Т. 18. — № 4. — С. 512–524
2. **Гусаков А. А.** Основы организационно-технологической надежности строительного производства. — М.: Либроком, 2022. — 282 с
3. **Олейник П. П., Олейник С. П.** Организация строительного производства: Научное издание. — М.: АСВ, 2024. — 340 с
4. **Король Е. А., Ищенко А. А.** Перспективы развития и организационно-технологические особенности модульного строительства // Системные технологии URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-i-organizatsionno-tehnologicheskie-osobennosti-modulnogo-stroitelstva>
5. **Синенко С. А., Слатвицкий Л. А.** Организационно-технологическая надежность управляющих систем строительства // Наука и бизнес: пути развития URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsionno-tehnologicheskaya-nadezhnost-upravlyayuschih-sistem-stroitelstva-1>