

Анатольева Елена Андреевна

магистрант, Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕСЪЁМНОЙ ОПАЛУБКИ

В статье рассмотрены вопросы совершенствования организации и технологии возведения монолитных зданий с применением несъёмной опалубки. Обоснована необходимость рассмотрения несъёмной опалубки как элемента единой организационно-технологической системы. Определены особенности организации работ, предложена модель возведения здания с разделением на технологические захватки и последовательным выполнением монтажа опалубки, армирования, бетонирования и контроля качества. Определены основные параметры модели: размер захватки, состав рабочих звеньев, продолжительность технологического цикла, производительность процессов и ритм строительного потока. Предложен подход к оценке продолжительности и трудоёмкости возведения здания.

This article examines the improvement of the organization and technology of monolithic building construction using permanent formwork. The need to consider permanent formwork as an element of a unified organizational and technological system is substantiated. The work organization features are defined, and a building construction model is proposed, divided into process sections and sequentially implementing formwork installation, reinforcement, concreting, and quality control. The key parameters of the model are defined: section size, composition of work units, duration of the process cycle, process productivity, and construction flow rate. An approach to estimating the duration and labor intensity of building construction is proposed.

Ключевые слова: монолитное строительство, несъёмная опалубка, организационно-технологическая модель, технологический цикл, захватка, бетонирование, трудоёмкость, продолжительность строительства.

Key words: monolithic construction, permanent formwork, organizational and technological model, technological cycle, seizure, concreting, labor intensity, construction duration.

1. Введение

Монолитное строительство широко применяется при возведении современных жилых и общественных зданий. Эффективность технологии определяется организацией опалубочных, арматурных и бетонных работ, а также согласованностью действий рабочих звеньев и строительной техники.

При традиционной технологии выполняются монтаж опалубки, армирование, бетонирование, выдерживание бетона и последующий демонтаж опалубки. В многоэтажном строительстве повторение этих операций на каждом этаже существенно влияет на продолжительность работ [2].

Применение несъёмной опалубки позволяет исключить операцию демонтажа, а её элементы после бетонирования остаются в составе конструкции. В зависимости от типа системы они могут одновременно выполнять теплоизоляционную, защитную и конструктивную функции [3–6].

Современные исследования показывают перспективность применения несъёмной опалубки для повышения индустриализации строительства и сокращения количества технологических операций [4, 6]. Однако эффективность технологии зависит от организации поставки элементов, их монтажа, армирования и бетонирования.

Цель исследования — разработка организационно-технологической модели возведения монолитного здания с применением несъёмной опалубки, обеспечивающей согласованное выполнение строительных процессов и сокращение продолжительности технологического цикла.

2. Теоретическая и методологическая основа исследования

Теоретическую основу исследования составили научные публикации 2021–2026 гг., посвящённые монолитному строительству, несъёмным опалубочным системам, моделированию строительных процессов и оптимизации использования ресурсов.

Современные исследования показывают эффективность применения имитационного моделирования для определения оптимального состава рабочих, строительной техники и последовательности операций. При таком подходе можно оценивать продолжительность строительных процессов ещё до начала производства работ [1].

Исследования планирования опалубочных процессов также подтверждают необходимость согласования монтажа опалубки, армирования, бетонирования и других операций при возведении многоэтажных зданий [2].

Методологическую основу исследования составляют:

- системный анализ строительных процессов;
- технологическое и календарное планирование;
- сравнительный анализ;
- расчёт продолжительности и трудоёмкости;
- моделирование последовательности работ.

Основными показателями оценки приняты:

К1 — продолжительность строительства;

К2 — трудоёмкость;

К3 — производительность рабочих;

К4 — количество технологических операций;

К5 — использование строительной техники;

К6 — материалоёмкость;

К7 — технологические простои.

3. Особенности организации строительства с применением несъёмной опалубки

Несъёмная опалубка устанавливается до бетонирования и после набора бетоном требуемой прочности сохраняется в составе конструкции.

Типовая последовательность работ имеет вид:

подготовка основания → доставка элементов → монтаж несъёмной опалубки → армирование → установка закладных деталей → геодезический контроль → бетонирование → уплотнение → уход за бетоном → контроль качества.

При традиционной технологии после бетонирования выполняются демонтаж и перемещение опалубки. При использовании несъёмной системы эти операции исключаются.

Однако сокращение количества операций не гарантирует автоматического сокращения срока строительства. Ограничивающими процессами могут стать армирование, подача бетонной смеси, контроль качества или набор прочности бетона.

Поэтому основная организационная задача заключается в **синхронизации строительных процессов.**

4. Организационно-технологическая модель возведения здания

Предлагаемая модель предусматривает разделение здания на технологические захватки и последовательное выполнение основных процессов:

П1 — монтаж несъёмной опалубки;

П2 — армирование;

П3 — установка закладных деталей;

П4 — геодезический контроль;

П5 — бетонирование;

П6 — уход за бетоном и контроль качества.

Работы организуются по принципу поточного производства. После завершения операции на одной захватке рабочее звено переходит на следующую.

Принципиальная последовательность:

Захватка 1: П1 → П2 → П3 → П4 → П5 → П6

Захватка 2: П1 → П2 → П3 → П4 → П5 → П6

Захватка 3: П1 → П2 → П3 → П4 → П5 → П6

Такое построение позволяет сформировать ритмичный строительный поток и снизить простои рабочих звеньев.

Размер захватки определяется объёмом работ, производительностью рабочих, возможностями строительной техники и продолжительностью бетонирования.

5. Определение продолжительности технологического цикла

Продолжительность отдельных процессов определяется отношением объёма работ к производительности рабочего звена или механизма:

$$t_i = Q_i / P_i \quad (1),$$

где t_i — продолжительность процесса, ч; Q_i — объём работ; P_i — производительность.

Для монтажа опалубки:

$$t_m = A / P_m \quad (2),$$

где A — площадь устанавливаемой опалубки, м²; P_m — производительность монтажного звена, м²/ч.

Для армирования:

$$t_a = M / P_a \quad (3),$$

где M — масса арматуры, кг; P_a — производительность арматурного звена, кг/ч.

Для бетонирования:

$$t_b = V / P_b \quad (4),$$

где V — объём бетонной смеси, m^3 ; P_b — производительность бетонных работ, $m^3/ч$.

Продолжительность технологического цикла определяется наиболее продолжительным процессом:

$$t_{\Sigma} = \max(t_m, t_a, t_i, t_g, t_b) \quad (5),$$

где t_{Σ} — продолжительность цикла; t_m — монтаж опалубки; t_a — армирование; t_i — установка закладных деталей; t_g — геодезический контроль; t_b — бетонирование.

Данная зависимость представляет **авторский организационный подход** к определению ограничивающего процесса.

6. Организация бетонирования и контроль качества

Бетонирование является одним из наиболее ответственных процессов при использовании несъёмной опалубки. Свежая бетонная смесь создаёт давление на элементы системы, поэтому скорость подачи должна соответствовать её конструктивным характеристикам и допустимым условиям бетонирования.

Исследования несъёмной опалубки показывают необходимость учитывать давление свежего бетона и возможные деформации элементов во время бетонирования [7].

Организация работ должна предусматривать:

- контроль скорости подачи бетона;
- равномерное заполнение опалубки;
- качественное уплотнение;

- контроль положения арматуры;
- контроль геометрии конструкции.

Особое значение имеет операционный контроль, поскольку после бетонирования доступ к внутренней поверхности несъёмной опалубки ограничен. Поэтому контроль правильности монтажа и армирования должен выполняться до начала бетонирования [10].

7. Материально-техническое обеспечение

Важным условием устойчивого строительного потока является своевременная поставка элементов несъёмной опалубки.

В отличие от традиционной опалубки, элементы несъёмной системы не перемещаются между захватками после бетонирования. Поэтому их потребность определяется объёмом возводимых конструкций.

Для каждого технологического яруса необходимо обеспечить наличие:

- элементов несъёмной опалубки;
- арматуры;
- закладных деталей;
- бетонной смеси;
- крепёжных элементов;
- оборудования для подачи и уплотнения бетона.

Задержка поставки любого основного ресурса может привести к нарушению ритма строительного потока. Поэтому график поставок должен быть связан с календарным графиком производства работ.

8. Оценка эффективности организационно-технологической модели

Для сравнения традиционной и предлагаемой технологии предлагается использовать показатели продолжительности и трудоёмкости.

Сокращение продолжительности определяется:

$$\text{Эт} = (\text{Ттр} - \text{Тно}) / \text{Ттр} \times 100 \% (6),$$

где Ттр — продолжительность работ при традиционной технологии; Тно — продолжительность работ с несъёмной опалубкой.

Снижение трудоёмкости:

$$\text{Эq} = (\text{Qтр} - \text{Qно}) / \text{Qтр} \times 100 \% (7),$$

где Qтр — трудоёмкость традиционной технологии; Qно — трудоёмкость технологии с несъёмной опалубкой.

Дополнительно следует учитывать количество технологических операций, производительность рабочих, простои техники и материалоемкость.

Фактическая эффективность должна определяться для конкретного объекта с учётом этажности, площади конструкций, типа несъёмной опалубки, состава рабочих звеньев и способа подачи бетонной смеси.

9. Результаты и обсуждение

Предложенная модель позволяет рассматривать применение несъёмной опалубки как **поточный строительный процесс**.

Основной организационный эффект заключается в исключении демонтажа опалубки, сокращении числа операций и возможности более рационального перемещения рабочих звеньев.

При этом наиболее существенное влияние на продолжительность строительства оказывает согласованность монтажа опалубки, армирования и бетонирования.

Современные исследования показывают эффективность применения цифрового и имитационного моделирования для оптимизации состава рабочих, строительной техники и последовательности операций [1]. BIM-технологии также могут использоваться для формирования схем монтажа опалубки и повышения производительности строительных процессов [11].

Для несъёмной опалубки такой подход может быть расширен за счёт формирования цифрового графика потребности в опалубке, арматуре и бетоне, а также календарного планирования поставок.

10. Заключение

Разработана организационно-технологическая модель возведения монолитного здания с применением несъёмной опалубки.

Основными направлениями совершенствования технологии являются:

1. разделение здания на рациональные технологические захваты;
2. формирование специализированных рабочих звеньев;
3. синхронизация монтажа опалубки, армирования и бетонирования;
4. организация ритмичного строительного потока;
5. своевременное материально-техническое обеспечение;
6. усиление операционного контроля качества;
7. применение календарного и имитационного моделирования.

Предлагаемый подход позволяет рассматривать несъёмную опалубку как элемент единой организационно-технологической системы. Основным критерием её эффективности является не только сокращение количества операций, но и обеспечение устойчивого ритма строительного потока.

Перспективным направлением дальнейшего исследования является разработка цифровой модели, позволяющей определить оптимальный размер захваток, состав рабочих звеньев, потребность в технике и продолжительность возведения типового этажа.

Список используемой литературы

1. **Mata R., Nuñez E., Bustamante G., Correa C., Roa L., Lobos-Calquin D.** Simulation-based optimization of formwork operations in reinforced concrete building

projects // Journal of Building Engineering. — 2026. — Article 116962. — DOI: 10.1016/j.job.2026.116962.

2. **Said H. et al.** A Dynamic Model for Effective and Optimal Planning of Formwork in Construction Projects // Buildings. — 2023. — Vol. 13. — No. 7. — Article 1794.

3. **Bruno R., Carpino C., Bevilacqua P., Settino J., Arcuri N.** A novel Stay-In-Place formwork for vertical walls in residential nZEB developed for the Mediterranean climate: hygrothermal, energy, comfort and economic analyses // Journal of Building Engineering. — 2022. — Vol. 45. — Article 103593. — DOI: 10.1016/j.job.2021.103593.

4. **Abbas Z. H., Hassan M. S., Gorgis I. N.** Stay in Place Formwork, Encased Reinforced Concrete Column: A Review // Engineering and Technology Journal. — 2023. — Vol. 41. — No. 11. — P. 1355–1378. — DOI: 10.30684/etj.2023.139421.1428.

5. **Wang X., Qi J., Wang Y., Cheng C., Wang Y., Wang L.** Mechanical properties of integrated dismantle-free external wall thermal insulation formwork // Journal of Building Engineering. — 2025. — Vol. 112. — Article 113808. — DOI: 10.1016/j.job.2025.113808.

6. **Yang Y., Chen B., Chen Y., Zhou H., Liu F., Xie X., Chen J., Guo W., Wang H.** Performances of Concrete Columns with Modular UHPC Permanent Formworks Under Axial Load // International Journal of Concrete Structures and Materials. — 2023. — Vol. 17. — Article 38. — DOI: 10.1186/s40069-023-00608-1.

7. **Bekaert M., Van Tittelboom K., De Schutter G.** 3D printed concrete as stay-in-place formwork: Mechanics during casting and curing // Structural Concrete. — 2023. — Vol. 24. — No. 1. — P. 738–755. — DOI: 10.1002/suco.202200088.

8. **Abbas Z. H., Gorgis I. N., Hassan M. S.** Cross-sectional shape effect of stay-in-place formwork column on axial compressive behaviour // Journal of Building Engineering. — 2024. — Vol. 90. — Article 109417. — DOI: 10.1016/j.job.2024.109417.

9. **Lai B.-L., Zhang M.-Y., Chen Z.-P., Liew J. R., Zheng Y.-Y.** Axial compressive behavior and design of semi-precast steel reinforced concrete composite columns with permanent ECC formwork // Structures. — 2023. — Vol. 57. — Article 105130. — DOI: 10.1016/j.istruc.2023.105130.

10. **Коротких Д. Н., Дорф В. А., Капустин Д. Е., Зейд Килани Л. З.** Контроль качества укладки монолитного бетона в конструкции с несъемной сталефибробетонной опалубкой // Строительные материалы. — 2024. — № 11. — С. 31–39. — DOI: 10.31659/0585-430X-2024-830-11-31-39.

11. **Lee B., Choi H., Min B., Ryu J., Lee D.-E.** Development of formwork automation design software for improving construction productivity // Automation in Construction. — 2021. — Vol. 126. — Article 103680. — DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103680.

12. **Bedarf P., Calvo-Barentin C., Martinez Schulte D., Şenol A., Jeoffroy E., Dillenburger B.** Mineral composites: stay-in-place formwork for concrete using foam 3D printing // Architecture, Structures and Construction. — 2023. — Vol. 3. — P. 251–262. — DOI: 10.1007/s44150-023-00084-x.