



УДК 69.051

З. Р. МУХАМЕТЗЯНОВ¹, д-р техн. наук, проф. кафедры автомобильных дорог, мостов и транспортных сооружений; **З. Е. МУХАМБЕТЖАН²**, ст. преп.; **М. Ж. ЕСКАЛИЕВ²**, ст. преп.; **Д. Н. ГАЛЫМЖАНОВА²**, преп.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».

Россия, 450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

Тел.: +7 (917) 780-35-05; эл. почта: zinur-1966@mail.ru

²НАО Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир Хана, Республика Казахстан, 090009, г. Уральск, ул. Жангир хана, д. 51.

Тел.: +7 (777) 528-15-51, эл. почта: zerek-wkau@yandex.ru

Ключевые слова: организационно-технологические решения, инженерно-техническая подготовка, технология информационного моделирования, вероятностная модель, качество разработки решений.

Разработана методика формирования вероятностной модели организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленных объектов. Использование такой модели позволяет выявить оптимальный вариант модели организационно-технологических решений для инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта на основе вариантной проработки и оценить с помощью количественных показателей качества разработки цифрового проекта организационно-технологических решений.

Введение

Исследования показывают, что организационно-технологическое планирование (проектирование) признано, как эффективный и проверенный способ формирования качества инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта. Организационно-технологическое проектирование процессов реализации строительного производства рассматривается как технико-экономический процесс и предполагает реализацию комплекса мероприятий, связанных единой целевой направленностью, в точном соответствии с установленной организационно-технологической последовательностью строительства.

Существуют разные подходы для решения задачи обеспечения эффективности разработки организационно-технологических решений, содержащих разнообразные методы. К ним относятся: разработка модели технологии возведения объекта с использованием оценок технологических зависимостей, являющаяся технологической основой для принятия организационно-технологических решений [1-3]; разработка критериев оценки интеллектуальными системами экономической эффективности использования технологий информационного моделирования при организации строительного производства [4]; методы системного анализа и формализация и структурирования концептуальных систем для обоснования теоретических методов исследования организации конструирования [5]; разработка методологии



обоснования экономической эффективности совершенствования системы сертификации, направленной на создание базы данных для прогнозирования уровня принятия решений [6]; внедрение технологий информационного моделирования для предоставления информации о построенных объектах [7]; разработка критериев оценки экономической эффективности использования технологии информационного моделирования в организации строительного производства транспортных систем в интересах обеспечения безопасности [8]; разработка политики и нормативно-правовой базы, которые будут способствовать внедрению методов устойчивого строительства [9].

Тем не менее, практика использования перечисленных и других подходов, а также положения действующих нормативно-правовых и нормативно-технологических регламентов в отношении разработки и реализации организационно-технологических решений не содержат рекомендаций по учету последствий проявлений случайных, негативных факторов влияния, сопровождающих подготовительный, основной и заключительный этапы строительства промышленного объекта. Это приводит к невозможности достижения гарантированной эффективности принимаемых организационно-технологических решений для обеспечения качества инженерно-технической подготовки по строительству промышленных объектов.

Но при этом, необходимо отметить, прослеживается перспектива широкого применения технологий информационного моделирования и вероятностных моделей, построенных с использованием возможностей информационных моделей, для решения поставленной задачи.

Поэтому целью исследования является разработка вероятностной модели рациональных организационно-технологических решений с приложением технологий информационного моделирования для реализации инженерно-технической подготовки строительства промышленных объектов в директивные сроки и требуемого качества работ.

Положения действующих нормативно-правовых и нормативно-технологических регламентов в отношении разработки и реализации организационно-технологических решений не содержат рекомендаций по учету последствий проявлений случайных, негативных факторов влияния, сопровождающих подготовительный, основной и заключительный этапы строительства промышленного объекта.

Материалы и методы

Формирование организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке отображает особенности учета различных и разнообразных требований к возведению промышленного объекта, расположенному в конкретных природно-климатических и производственных условиях. Основу методологического подхода по формированию организационно-технологических решений, направленных на обеспечение показателей качества инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта, составляет концепция согласованности и технологического взаимодействия строительных процессов на платформе виртуального (информационного, цифрового) отображения проектных решений с применением системотехнического подхода для анализа в отношении формирования показателей свойств и состояний объекта строительства.



С учетом такого подхода особенностями разработки организационно-технологического моделирования подготовки и проведения строительства промышленного объекта являются:

- информационная модель включает данные о последовательной эволюции свойств и состояний рассматриваемого объекта строительства в контексте его прохождения этапов жизненного цикла;
- в состав информационной модели включены необходимые данные (информации), которые позволяют осуществлять разработку проектных (организационно-технологических) решений в соответствии с требованиями действующих норм по строительству;
- данные, включенные в состав информационной модели по результатам формирования функционального качества объекта на предыдущих этапах жизненного цикла, становятся исходными для разработки организационных, технологических и управленческих решений на этапе подготовки и проведения строительства;
- результаты изменения (формирования) информационной модели (свойств и состояний промышленного объекта) по итогам прохождения этапа «Строительство» становятся исходными данными для последующих этапов жизненного его цикла.

Вероятность влияния негативных факторов различной природы происхождения на состояние системы строительного производства сохраняется в течение всего периода инженерно-технической подготовки и последующих этапов строительства.

Произвести прогноз проявлений негативных факторов и оценку влияния последствий на установленные показатели строительного производства (например, общую продолжительность строительства) возможно только применением вероятностной организационно-технологической модели.

Наиболее приемлемыми являются вероятностные модели строительства, случайный формат которых образуется от одновременного применения случайных значений временных оценок работ, включенных в топологию организационно-технологической модели, и случайные связи и события, определяющие топологию модели. Преимуществом данной модели является отсутствие в составе модели полностью структурных элементов детерминированного формата.

Особенность вероятностной модели состоит в возможности превентивного ограничения последствия влияния негативного фактора (группы негативных факторов) строительства на целевые показатели организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта.

Показатель общей продолжительности строительного производства принимается в качестве основного показателя эффективности организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта.

Рассмотрим методический подход к определению вероятностного значения продолжительности выполнения простого строительного процесса « $i - j$ », включенного в состав соответствующей организационно-технологической модели.



Продолжительность выполнения (временная оценка) рассматриваемого строительного процесса (работы $t(i,j)$) рассматривается из гипотезы ее случайной природы проявления, в пределах некоторого возможного интервала значений, с учетом признаков и допущений.

$$\varphi(t_{ij}) = C(t_{ij} - a)^{p-1} \cdot (b - t_{ij})^{q-1} \quad (1)$$

где: p, q – расчетные параметры функции распределения, вида $\varphi(t_{ij})$;

C – расчетный параметр, определяемый зависимостью вида:

$$C = \int_a^b (t_{ij} - a)^p \cdot (b - t_{ij})^q dt = 1. \quad (2)$$

Граничные значения математического интервала возможных значений $[a; b]$ подчинены условию:

$$a_{ij} < b_{ij}. \quad (3)$$

Аналитическая зависимость вида (1) определяет продолжительность выполнения строительного процесса « $i - j$ », как случайную величину, характеризующую собственным законом распределения возможных значений.

Рассмотренные особенности вероятностного подхода к оценке значения продолжительности выполнения строительного процесса и свойства функции (плотности) распределения случайного величины продолжительности позволяют заменить фиксированные значения (характерные для детерминированного формата модели) временной оценки вероятностными (стохастическими) значениями вида:

- математическое ожидание $M(i, j)$ временной оценки работы « $i - j$ », организационно-технологической модели $t(i, j)$, которая определяется расчетной зависимостью вида:

$$M(i, j) = \frac{a_{ij} + 4 \cdot m_{ij} + b_{ij}}{6}, \quad (4)$$

- дисперсия $\sigma^2(i, j)$ временной оценки работы « $i - j$ », организационно-технологической модели $t(i, j)$, которая определяется расчетной зависимостью вида:

$$\sigma^2(i, j) = \frac{(b_{ij} - a_{ij})^2}{36}. \quad (5)$$

В аналитических зависимостях вида (1) ÷ (5) рассматриваются следующие расчетные параметры:

a_{ij} – минимальная или оптимистическая величина временной оценки рассматриваемой работы $t(i, j)$;

b_{ij} – максимальная или пессимистическая величина временной оценки рассматриваемой работы $t(i, j)$;

m_{ij} – наиболее вероятное (мода) величина временной оценки рассматриваемой работы $t(i, j)$.

Результаты

Моделирование производственных задач при разработке организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства является сложным и ответственным форматом проектной деятельности.



Организационно-технологическая модель инженерно-технической подготовки отображает результаты анализа и решения практических задач с учетом особенностей окружающей искусственной и естественной среды строительной площадки, а также ресурсных ограничений.

Использование технологии информационного моделирования позволяет выявить оптимальный вариант модели организационно-технологических решений для инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта на основе вариантной проработки.

Каждый из возможных вариантов организационно-технологических решений (модели) инженерно-технической подготовки строительства отображается посредством конкретной топологии, включающей совокупность событий (начала и окончания), видов работ (простых и комплексных строительных, организационных, технологических процессов) и показателей их выполнения (продолжительности, трудоемкости, интенсивности).

Использование системы технико-экономических показателей, формируемой с использованием технологии информационного моделирования, для каждого из принятых к рассмотрению конкурентных вариантов топологии организационно-технологической модели является основным способом оценки качества разработки цифрового проекта организационно-технологических решений.

Количественные показатели такой системы являются единственно объективными характеристиками принятого варианта организационно-технологической модели (табл. 1).

Таблица 1

Количественные показатели качества разработки организационно-технологических решений

Наименование показателя	Характеристика показателя
Показатель трудоемкости выполнения строительных работ	Показатель трудоемкости является количественной характеристикой меры затрат труда строительного персонала и/или эксплуатации строительных машин и механизмов, строительного процесса (работы).
Показатель продолжительности выполнения строительных работ	Этот показатель является одной из основных характеристик качества производства строительной работы. Каждый из вариантов организационно-технологического решения строительного производства направляется на выявление значения общей продолжительности или критического пути строительства.
Показатель сокращения продолжительности работ строительного производства	Этот показатель сокращения работ, включенных в состав организационно-технологической последовательности инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта, является элементом управления производственными процессами при инженерно-технической подготовке строительства.
Показатель совмещения строительных процессов во времени	Показатель является характеристикой интенсивности выполнения комплекса мероприятий инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта.

Применение вероятностной организационно-технологической модели позволяет произвести расчет вероятных параметров рассматриваемого строительного процесса (табл. 2).



Таблица 2

Вероятностные параметры строительного процесса

Наименование работы	Продолжительность работы, часы t_{ij}	Временная оценка продолжительности работы, смен		Математическое ожидание, $M(i,j)$, часы	Дисперсия, $\sigma^2(i,j)$
		оптимистическая, a_{ij}	пессимистическая, b_{ij}		
-	-	-	-	-	-

Последовательное применение алгоритма определения вероятностного значения (математического ожидания) продолжительности выполнения работ, включенных в состав организационно-технологической последовательности, позволяет проводить анализ математического ожидания расчетного показателя вида «общая продолжительность» строительного производства по инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта с учетом влияния негативных факторов. В свою очередь, такие инструменты технологии информационного моделирования, как изменение связей для последовательных строительных процессов, позволяют устранить последствия проявлений негативного фактора и привести показатели моделей к первоначальным значениям.

Результаты исследований позволяют предложить развитие теоретических разработок в области применения вероятностных моделей строительства для адекватной оценки реальных условий производства работ по инженерной подготовке возведения зданий и сооружений.

Выводы

По результатам анализа особенностей проектирования организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства промышленных объектов определено направление по максимальному применению вероятностных моделей с приложением технологий информационного моделирования при архитектурно-строительном проектировании как основного способа повышения качества разработки организационно-технологических решений в отношении инженерно-технической подготовки строительства промышленных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mukhametzyanov, Z. Sustainability method organizational and technological decisions in the construction of industrial complexes / Z. Mukhametzyanov, P. Oleinik // E3S Web of Conferences, Chelyabinsk, 17–19 february 2021 y. – Chelyabinsk, 2021. – P. 09056. – DOI 10.1051/e3sconf/202125809056.
2. Ескалиев, М. Ж. Исследования современного состояния вопроса разработки организационно-технологических решений при строительстве объектов / М. Ж. Ескалиев, З. Р. Мухаметзянов. – Текст : непосредственный // Экономика строительства. – 2022. – № 2 (74). – С. 52–60.
3. Мухамбетжан, З. Е. Анализ особенностей разработки организационно-технических решений при строительстве промышленных объектов / З. Е. Мухамбетжан, З. Р. Мухаметзянов. – Текст : непосредственный // Экономика строительства. – 2022. – № 2 (74). – С. 90–98.



4. Organization and technology of arranging access roads with asphalt-concrete pavement in the preparatory period of construction / Ruben Kazaryana, Ivan Doroshin, Boris Jadanovskiya [et al.] // X international scientific siberian transport forum. – 2022. – № 63. – 2841–2846.

5. The conceptual system and methodology of the organization of construction in relation to road construction / Vladimir Sokolnikov, Roman Motylev, Islam Chahkiev, Roza Nurgalina // X international scientific siberian transport forum. – 2022. – № 63. – P. 2601–2607.

6. Doroshin, I. Organizational and technological solutions for managing the processes of building transport systems using economic and mathematical methods / Ivan Doroshin, Ruben Kazaryan // Transportation Research Procedia. – 2022. – № 63. – P. 530–540.

7. Promoting circularity of construction materials through demolition digitalisation at the preparation stage : information requirements and open BIM-based technological implementation / Artur Kuzminykh, José Granja, Manuel Parente, Miguel Azenha // Advanced engineering informatics. – 2024. – Volume 62. – 102755 p.

8. Doroshin, I. Aspects of organizational and technical solutions of the transport communications department / Ivan Doroshin, Ruben Kazaryan // X international scientific siberian transport forum. – 2022. – № 63. – 78–85.

9. Opoku, A. Realising the sustainable development goals through organisational learning and efficient resource management in construction / Alex Opoku, Vian Ahmed, George Ofori // Resources, conservation and recycling. – 2022. – Volume 184. – 106427 p.

MUKHAMETZYANOV Zinur Rishatovich¹, doctor of technical science, professor of the chair of highways, bridges and transport structures; MUKHAMBETZHAN Zerek Yerkinuly², senior teacher; YESKALIYEV Meirambek Zhumageldievich², senior teacher; GALYMZHANOVA Dinara Nabiollakzy², teacher

PROBABILISTIC MODEL OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR ENGINEERING AND TECHNICAL PREPARATION OF INDUSTRIAL FACILITIES CONSTRUCTION

¹Ufa State Petroleum Technological University.

1, Kosmonavtov St., Ufa, 450064, Russia.

Tel.: +7 (917) 780-35-05; e-mail: zinur-1966@mail.ru

² Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University.

51, Zhangir khan St., Oral, 090009, Republic of Kazakhstan.

Tel.: +7 (777) 528-15-51; e-mail: zerek-wkau@yandex.ru

Key words: organizational and technological solutions, engineering and technical training, information modeling technology, probabilistic model, quality of solution development.

A methodology has been developed to form a probabilistic model of organisational and technological solutions for the engineering and technical preparation of industrial facility construction. This model allows us to identify the optimal variant of the organisational and technological solutions model for engineering and technical preparation of an industrial facility construction based on a variant study. It also allows us to evaluate the quality of the development of a digital project of organisational and technological solutions using quantitative indicators.



REFERENCES

1. Mukhametzyanov Z., Oleinik P. Sustainability method organizational and technological decisions in the construction of industrial complexes. E3S Web of Conferences, Chelyabinsk, 17–19 February 2021. Chelyabinsk, 2021, P. 09056. DOI: 10.1051/e3sconf/202125809056.
2. Eskaliev M. Zh., Mukhametzyanov Z. R. Issledovaniya sovremennogo sostoyaniya voprosa razrabotki organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy pri stroitelstve obektov [Research on the current state of developing organizational and technological solutions for construction projects]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics]. 2022, № 2 (74), P. 52–60.
3. Mukhambetzhana Z. E., Mukhametzyanov Z. R. Analiz osobennostey razrabotki organizatsionno-tekhnicheskikh resheniy pri stroitelstve promyshlennykh obektov [Analysis of features in developing organizational and technical solutions for industrial construction projects]. *Ekonomika stroitelstva* [Construction Economics]. 2022, № 2 (74), P. 90–98.
4. Kazaryan R., Doroshin I., Jadanovskiy B. [et al.] Organization and technology of arranging access roads with asphalt-concrete pavement in the preparatory period of construction. X International Scientific Siberian Transport Forum. 2022, № 63, P. 2841–2846.
5. Sokolnikov V., Motylev R., Chahkiev I., Nurgalina R. The conceptual system and methodology of the organization of construction in relation to road construction. X International Scientific Siberian Transport Forum. 2022, № 63, P. 2601–2607.
6. Doroshin I., Kazaryan R. Organizational and technological solutions for managing the processes of building transport systems using economic and mathematical methods. *Transportation Research Procedia*. 2022, № 63, P. 530–540.
7. Kuzminykh A., Granja J., Parente M., Azenha M. Promoting circularity of construction materials through demolition digitalisation at the preparation stage: information requirements and open BIM-based technological implementation. *Advanced Engineering Informatics*. 2024, Vol. 62, 102755 p.
8. Doroshin I., Kazaryan R. Aspects of organizational and technical solutions of the transport communications department. X International Scientific Siberian Transport Forum. 2022, № 63, P. 78–85.
9. Opoku A., Ahmed V., Ofori G. Realising the sustainable development goals through organisational learning and efficient resource management in construction. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022, Vol. 184, 106427 p.

© **З. Р. Мухаметзянов, З. Е. Мухамбетжан, М. Ж. Ескалиев, Д. Н. Галымжанова, 2025**

Получено: 09.01.2025 г.