

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПОДГОТОВКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБЪЕКТА

З.Е. Мухамбетжан, zerek-wkau@yandex.ru

З.Р. Мухаметзянов, zinur-1966@mail.ru

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Аннотация. Своевременность, качество и объем выполнения мероприятий по инженерно-технической подготовке являются одними из значительных, ключевых факторов, определяющих состоятельность проектных (организационно-технологических) решений в отношении устойчивости и эффективности основных этапов строительства промышленного объекта. Разработка адекватных организационно-технологических решений, учитывающих фактические условия состояния района строительства или ожидаемые условия строительного производства и одновременно включающих прогноз проявлений возможных негативных факторов, представляется актуальной задачей повышения качества подготовки возведения промышленного объекта. Цель исследований в данной статье – выявление условий и разработка методического обоснования для совершенствования способов и приемов формирования и управления процедурами строительного производства при подготовке территории строительства. Основным результатом исследования является разработка положений научно-практической гипотезы о целесообразности применения вероятностных моделей при разработке организационно-технологических решений в отношении обеспечения качества и эффективности инженерно-технической подготовки строительного производства. Предложенный подход представляется как актуальное направление расширения возможностей при организации и управления строительными процессами, которые производятся в условиях динамично изменяющихся состояний производственной среды строительного производства, а также практического применения инструмента прогнозного учета рисков последствий проявлений негативных факторов.

Ключевые слова: промышленные объекты, инженерно-техническая подготовка строительства, системный анализ, организационно-технологические решения, вероятностная модель, строительные процессы, случайные факторы

Для цитирования. Мухамбетжан З.Е., Мухаметзянов З.Р. Особенности формирования вероятностных моделей организационно-технологической последовательности подготовки строительства промышленного объекта // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 3. С. 37–46. DOI: 10.14529/build230305

Original article
DOI: 10.14529/build230305

FORMING PROBABILISTIC MODELS OF THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SEQUENCE OF PREPARING FOR THE CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL FACILITIES

Z.Y. Mukhambetzhani, zerek-wkau@yandex.ru

Z.R. Mukhametzyanov, zinur-1966@mail.ru,

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Abstract. The timeliness, quality, and scope of engineering education is one of the key factors determining the consistency of design (organizational and technological) solutions in terms of stability and effectiveness during the construction of an industrial facility. Adequate organizational and technological solutions which account for the actual conditions at the construction site or the expected construction conditions and predictions of possible negative factors must be developed to improve the quality of the preparatory stage of constructing of an industrial facility. The purpose of this research is to identify conditions and develop methodological justifications for improving the methods and approaches to creating and managing procedures when preparing a construction site. As a result of this study, we developed hypotheses on the feasibility of using probabilistic models when developing organizational and technological solutions to ensure the quality and effectiveness of engineering and technical preparations in the preparatory stage of constructing

industrial facilities. The proposed approach can expand the capabilities of organizing and managing construction processes in the dynamic conditions of construction as well as the practical application of risk factor prediction.

Keywords: industrial objects, engineering and technical preparation of construction, system analysis, organizational and technological solutions, probabilistic model, construction processes, random factors

For citation. Mukhambetzhana Z.Y., Mukhametzyanov Z.R. Forming probabilistic models of the organizational and technological sequence of preparing for the construction of industrial facilities. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(3):37–46. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230305

Введение

Разработка организационно-технологических решений в отношении инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта является самостоятельным, сложным и ответственным видом проектной деятельности. Причем некоторые аспекты работ подготовительного периода не могут быть решены и реализованы средствами и методами решения аналогичных задач, средств проектирования и реализации работ основного и заключительного периодов строительства.

Вопросы влияния качества инженерно-технической подготовки на условия устойчивости и эффективности проведения последующих основного, специального и заключительного этапов строительного производства рассматриваются в научных трудах [1–3] как значительный фактор обеспечения (повышения) функционального качества строительной продукции.

Направления повышения эффективности организационно-технологических решений, направленных на подготовку и практическую реализацию установленных технико-экономических показателей строительных процессов, рассматриваются в работах [4–6].

Анализ условий обеспечения условий устойчивости, организационно-технологической надежности и минимизации рисков строительного производства рассматривается в научных трудах [7–9] как значимый инструмент инвестиционно-строительной деятельности. Например, показатель продолжительности строительного производства и, соответственно, своевременного завершения строительства признается одним из наиболее значимых целевых показателей организационно-технологических решений [10–12].

Моделирование строительных процессов рассматривается как современный формат разработки технологических, управленческих и организационных решений строительного производства [5, 13, 14]. Особое внимание в научных и практических исследованиях уделяется вопросам применения информационных (цифровых) моделей организационно-технологических решений строительного производства [15–17].

Организационно-технологическая модель инженерно-технической подготовки отображает результаты анализа исходных данных (конкретных

особенностей свойств и состояний) соответствующих элементов строительной системы [18–20]:

– цифровой (информационной) модели промышленного объекта;

– организационно-технологической последовательности основного, специального и заключительного этапов строительства;

– окружающей искусственной и естественной среды в районе предполагаемого расположения строительной площадки (временного строительного городка);

– потребностей в материальных, технических и иных видах обеспечения строительного производства.

Вместе с тем существующая практика разработки организационно-технологических решений ориентирована на применение «жестких» информационных моделей в детерминированном формате, который не дает возможности прогноза и учета проявлений негативных случайных факторов строительного производства [21, 22].

Именно по этой причине актуальность развития возможностей повышения качества организационно-технологических решений в отношении инженерно-технической подготовки строительного производства промышленных объектов представляется связанной с разработкой методических основ применения прогнозных, вероятностных моделей строительного производства.

Методы исследования

Качество разработки проектных, организационно-технологических решений принято оценивать некоторым количеством показателей.

Структура (система) оценки качества включает некоторое количество показателей, которые могут быть отображены аналитической зависимостью, вида:

$$K_{\text{отр}} = f\left(\sum_{i=1}^n r_i q_i; \sum_{j=1}^m R_j \cdot Q_j\right), \quad (1)$$

где $K_{\text{отр}}$ – уровень качества разработки организационно-технологических решений;

r_i – единичный показатель качества и эффективности решений;

q_i – значимость (удельный вес) единичного показателя;

n – число рассматриваемых абсолютных показателей;

R_j – относительный показатель качества и эффективности решений;

Q_j – значимость (удельный вес) относительного показателя;

m – число рассматриваемых относительных показателей.

Использование технико-экономических показателей является основным современным инструментом оценки качества разработки проектных решений в отношении инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта [4, 6, 23].

В таблице отображены количественные характеристики (технико-экономические показатели) качества организационно-технологических решений, описывающие результаты проектных решений по одному из возможных вариантов инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта.

Приведенный в таблице качественный и количественный состав показателей не является исчерпывающим. В зависимости от конкретной проектной ситуации к данному перечню могут быть добавлены и другие показатели (абсолютные и относительные), которые оказывают влияние на формирование оценки уровня качества проектных решений.

Анализируя данные таблицы с привлечением аналитической зависимости (1), можно отметить следующее:

1) для оценки уровня качества разработки организационно-технологических решений к рассмотрению приняты 7 показателей. Три показателя (№ 1, 3, 5) являются абсолютными, а четыре показателя (№ 2, 4, 6, 7) являются относительными;

2) каждый из принятых рассмотрению показателей (как абсолютные, так и относительные) характеризуется одинаковой значимостью в отношении оценки уровня качества.

Рассмотренные выше особенности являются распространенной и общепринятой практикой оценки качества проектных, организационно-технологических решений.

Принимая в целом такой подход, можно заметить следующее:

– каждый из принятых к рассмотрению показателей (см. таблицу) может быть принят в качестве объекта или предмета исследований при анализе состояния или условий оптимизации уровня качества разработки организационно-технологических решений;

– оптимизация даже одного отдельно взятого показателя способна привести к общему повышению уровня качества разработки организационно-технологических решений (см. зависимость (1)).

Параметры вида q_i и Q_j (см. зависимость (1)) способны установить приоритетный порядок рассмотрения принятых к анализу показателей с целью выявления наиболее эффективных подходов к решению проектных задач.

Предложенный методический подход рассматривается на примере анализа показателя вида «продолжительность строительства» («Пр», см. таблицу).

Показатель продолжительности является количественной характеристикой меры времени (оценки времени или временной оценки), необходимой для выполнения простого (комплексного) строительного процесса (работы). Соответственно, сумма продолжительностей производства всех работ, включенных в состав организационно-технологической модели, образует общую продолжительность инженерно-технической подготовки строительства.

Продолжительность выполнения (временная оценка) каждого простого (комплексного) строительного процесса (работы) является обязательным и значительным структурным элементом ор-

Технико-экономические показатели варианта организационно-технологических решений инженерно-технической подготовки строительства

№ п/п	Наименование показателя	Характеристика показателя	Единица измерения	Показатель
1	2	3	4	5
1	Продолжительность строительства (P_p)	По расчету	дни	23
2	Сокращение нормативной продолжительности строительства (P_p)	По организационно-технологической модели: $K_{пр.} = P_{пр.ф} / P_{пр.норм}$ $K_{пр.} = 23/25 = 0,92$	–	0,92
3	Общая трудоемкость ($T_{пр}$)	По расчету	человеко-дни	178
4	Трудоемкость на 1 м ³ здания, человеко-дней/1 м ³ ($T_p/1 м^3$)	$T_p/1 м^3 = T_p / V_3$ $T_p/1 м^3 = 178/75816 = 0,115$	человеко-дней/1 м ³	0,0023
5	Максимальное число рабочих	по расчету	человек	16
6	Коэффициент неравномерности движения рабочих	$N_{ср} = T_p / P_p = 178/23 = 7,74$ $N_{нсп} = N_{макс} / N_{ср} = 16/7,74 = 2,067$	–	2,067
7	Коэффициент совмещения строительных процессов	По организационно-технологической модели: $K_{сов} = P_{пр.норм} / P_{пр.ф} K_{пр} = 35/23 = 1,52$	–	1,52

ганизационно-технологической модели инженерной подготовки строительства промышленного объекта. Все виды современных организационно-технологических моделей строительного производства (календарные и сетевые графики, циклограммы) ориентированы на анализ именно продолжительности выполнения строительных процессов (работ), отдельных этапов (включая и цикл инженерно-технической подготовки строительства) и общей продолжительности строительства.

Организационно-технологическая модель – это условный образ и характеристика предполагаемых свойств и состояний строительного объекта, которые отображают последовательность и сроки выполнения простых и комплексных строительных процессов (работ), устанавливая их состав, технологическую последовательность выполнения. Особенности формирования и предполагаемой реализации организационно-технологических решений строительного производства отображаются посредством разработки и представления соответствующей топологии организационно-технологической модели [24].

Под топологией организационно-технологической модели строительного производства подразумевается формализованное (с использованием системы знаково-символьных обозначений) отображение физических процессов (простых и комплексных строительных работ) и представление состояний объектов организации, управления и контроля. Топология организационно-технологической модели включает следующие структурные (графические и символьные) элементы: представления событий, соответствующих определенным состояниям системы, связи, определяющие условия организационно-технологической последовательности (иерархических зависимостей) простых и комплексных строительных процессов (работ), информационных и расчетных данных.

Организационно-технологические решения в отношении формирования и функционирования системы строительного производства ориентированы на создание оптимальной (например, по показателю общей продолжительности или критического пути строительства) технологической последовательности выполнения простых и комплексных строительных процессов. Установленные положениями нормативно-технических документов алгоритм приводит к формированию организационно-технологической модели строительного производства постоянного или детерминированного вида (формата).

Для организационно-технологических моделей детерминированного вида основными характеристиками признаками являются фиксированная (постоянная, жесткая, неизменяемая) топология графика и постоянные количественные значения продолжительности (временные оценки) выполнения простых и комплексных строительных про-

цессов, включенных в состав организационно-технологической модели [18, 25, 26].

Детерминированный формат организационно-технологических решений (модели) позволяет обеспечить условия устойчивости и надежности строительства (например, своевременного завершения) только при отсутствии проявлений негативных факторов. Фиксированная топология детерминированного формата организационно-технологической модели в сочетании с фиксированными значениями временной оценки строительных процессов (работ) не оставляет возможностей для превентивного учета возможностей проявлений последствий негативных факторов (например, увеличения фактической продолжительности выполнения работ). Особенно очевидно данное обстоятельство проявляется в отношении строительных процессов (работ), составляющих критический путь строительства (значения общего и частного резервов времени выполнения таких работ равны нулю).

Формат вероятностной (стохастической) модели организационно-технологических решений отличается от детерминированного формата наличием в своем составе структурных элементов, которые носят случайный (вероятностный) характер.

К числу основных форматов вероятностной (стохастической) модели организационно-технологических решений по инженерно-технической подготовке строительства относятся [27, 28]:

- стохастические организационно-технологические модели, в состав которых включены структурные элементы, характеризующие случайный или (вероятностный) характер количественных значений продолжительности выполнения (временной оценки) простых и комплексных строительных процессов (работ), включенных в состав организационно-технологической модели строительного производства – при детерминированном формате топологии организационно-технологической модели;

- стохастические организационно-технологические модели, в состав которых включены структурные элементы, характеризующие случайный или (вероятностный) характер топологии организационно-технологической модели при детерминированном формате количественных значений продолжительности выполнения (временной оценки) простых и комплексных строительных процессов (работ), включенных в состав организационно-технологической модели строительного производства;

- стохастические организационно-технологические модели, в состав которых включены структурные элементы, характеризующие случайный или (вероятностный) характер количественных значений продолжительности выполнения (временной оценки) простых и комплексных строительных процессов (работ), включенных

в состав организационно-технологической модели строительного производства – при вероятностном формате топологии организационно-технологической модели.

Применение вероятностного формата организационно-технологических моделей ориентировано на анализ возможных (вероятных) проявлений негативных факторов и оценку их влияния на уровень надежности системы строительного производства, сопровождающей инженерно-техническую подготовку строительства промышленного объекта.

Результаты и обсуждения

Формирование топологии организационно-технологической модели инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта подразумевает системный анализ, определение количественных характеристик и организацию условий выполнения следующих основных видов (групп) простых и комплексных строительных процессов (работ):

– Комплекс мероприятий, осуществляемый вне территории площадки строительства (временного строительного городка), информационный индекс КМ ВН:

- защита территории от затопления или притока поверхностных вод (информационный индекс ВН1);
- защита территории от подтопления или инфильтрации подземных вод (информационный индекс ВН2);
- подключение к внешним (городским) инженерным сетям (водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения, газоснабжения, воздушоснабжения, пароснабжения, электроснабжения) ресурсного обеспечения (информационный индекс ВН3);
- организация доступа к элементам транспортной (автомобильного, железнодорожного, водного, воздушного, трубопроводного транспорта) инфраструктуры (информационный индекс ВН4).

– Комплекс мероприятий, осуществляемый на (внутри) территории площадки строительства (временного строительного городка), информационный индекс КМ Вн:

- Геодезическое обеспечение строительного производства подготовительного периода (информационный индекс ГД):
 - определение необходимого уровня состояния опорных пунктов геодезической сети (информационный индекс ГД1);
 - восстановление существующих опорных пунктов геодезической сети (информационный индекс ГД2);
 - разработка новых опорных пунктов геодезической сети (информационный индекс ГД3);
 - вынос проекта (временной строительной площадки) в натуру (информационный индекс ГД4).

- Очистка территории строительной площадки (информационный индекс ОТ):
 - расчистка территории от природных (деревьев, кустарников, валунов) образований (информационный индекс ОТ1);
 - расчистка территории от крупного мусора и техногенных отходов (информационный индекс ОТ2);
 - снос или перенос объектов капитального строительства, расположенных на территории строительства (информационный индекс ОТ3);
 - разборка объектов транспортной инфраструктуры (дорог, путей, эстакад), расположенных на территории строительства (информационный индекс ОТ4);
 - снос или перенос элементов технологического оборудования, расположенных на территории строительства (информационный индекс ОТ5);
 - разбор или перекладка элементов подземных инженерных сетей (водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения, газоснабжения, электроснабжения), расположенных на территории строительства (информационный индекс ОТ6).
- Защита от возможных проявлений неблагоприятных природно-климатических факторов (информационный индекс ЗП):
 - водопонижение уровня подземных (грунтовых) вод (информационный индекс ЗП1);
 - осушение заболоченных участков территории (информационный индекс ЗП2);
 - защита территории от возможных оползней (информационный индекс ЗП3);
 - повышение несущей способности слабых (просадочных) грунтов (информационный индекс ЗП4);
 - устранение карстовых проявлений (информационный индекс ЗП5).
- Вертикальная планировка территории строительной площадки (информационный индекс ВП):
 - снятие растительного (плодородного) слоя грунта на полную мощность (информационный индекс ВП1);
 - грубая планировка поверхности для организации поверхностного водоотвода (информационный индекс ВП2).
- Устройство (возведение) временных объектов (зданий и сооружений) различного функционально-технологического назначения (информационный индекс ВР):
 - устройство (возведение) временных объектов жилого (бытового) назначения (информационный индекс ВР1);
 - устройство (возведение) временных объектов административного назначения (информационный индекс ВР2);

- устройство (возведение) временных объектов хозяйственного назначения (информационный индекс ВР3);
 - устройство (возведение) временных объектов производственного назначения (информационный индекс ВР4).
 - *Устройство временных транспортных и пешеходных путей, инженерных сетей, технологических площадок и сооружений (информационный индекс ТК):*
 - устройство временных элементов транспортной инфраструктуры (автодорог, площадок для разгрузки, стоянки транспорта и средств механизации) (информационный индекс ТК1);
 - устройство временных элементов производственной инфраструктуры (стендов для крупнительной или конвейерной сборки, приобъектных складов, бетонных и растворных узлов, путей движения башенных кранов, ограждений рабочих зон) (информационный индекс ТК2);
 - устройство временных элементов инженерных сетей водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения, воздухообеспечения, пароснабжения, газоснабжения, электрообеспечения (информационный индекс ТК3);
 - устройство пешеходных путей и переходов к рабочим зонам (информационный индекс ТК4).
 - *Обеспечение безопасности функционирования и выполнения производственных процессов (информационный индекс БС):*
 - устройство элементов физической защиты (ограждения) периметра территории (информационный индекс БС1);
 - устройство пунктов пропуска (допуска) на территорию строительства (информационный индекс БС2);
 - устройство информационных средств (плакатов, стендов, табло) (информационный индекс БС3);
 - устройство элементов молниезащиты (информационный индекс БС4).
 - *Обеспечение охраны окружающей среды (информационный индекс ОС):*
 - устройство пунктов очистки и мойки транспортных средств (информационный индекс ОС1);
 - устройство мест сбора, обработки, временного складирования мусора и отходов строительства (информационный индекс ОС2);
 - устройство технологических устройств для сбора, обработки и временного содержания жидких технологических сред, канализационных стоков (информационный индекс ОС3).
 - *Обеспечение пожарной безопасности (информационный индекс ПБ):*
 - устройство пунктов размещения средств пожаротушения (информационный индекс ПБ1);
 - устройство площадок для курения (информационный индекс ПБ2);
 - устройство элементов и систем пожарной сигнализации (информационный индекс ПБ3);
 - устройство пожарных гидрантов (информационный индекс ПБ4).
- Приведенный выше состав мероприятий по инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта направлен на формирование необходимых или достаточных условий для планомерного развертывания и своевременного начала производственно-технологических процедур последующего (основного) этапа строительного производства.
- Вероятностный формат топологии организационно-технологической модели предназначается для прогноза последствий проявлений негативного фактора строительного производства и влияния его на рассматриваемый показатель качества организационно-технологических решений (показатель «продолжительность», см. таблицу).
- Предположим проявление такого (негативного) фактора на примере одного из строительных процессов, включенных в состав комплекса мероприятий **КМ_ВН**.
- На рис. 1 представлен фрагмент декомпозиции топологии детерминированного формата модели, на котором представлено состояние строительного производства вследствие возможного проявления негативного фактора при выполнении строительного процесса, обозначенного информационным индексом **ВН1**.
- Из приведенных на рис. 1 данных следует, что проявление негативного фактора при производстве комплексного строительного процесса **ВН2** увеличивает первоначально установленную (базовую) продолжительность с 6 дней до 11 дней. Таким образом, негативные последствия проявления случайного фактора добавляют «+5 дней» к продолжительности выполнения процесса **ВН1** и вместе с этим приводят к задержке выполнения комплекса мероприятий **КМ_ВН** (на пять дней, с базового значения 22 дня до фактического значения 27 дней), а также и общего состава «Инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта» (на пять дней, с базового значения 134 дня до фактического значения 139 дней).
- «Жесткий», детерминированный формат топологии организационно-технологической модели не позволяет осуществить планирование мероприятий по парированию негативных последствий проявлений случайного фактора – *без привлечения дополнительных ресурсов*.
- Решение задачи представляется возможным с применением вероятностного формата топологии организационно-технологической модели (рис. 2).

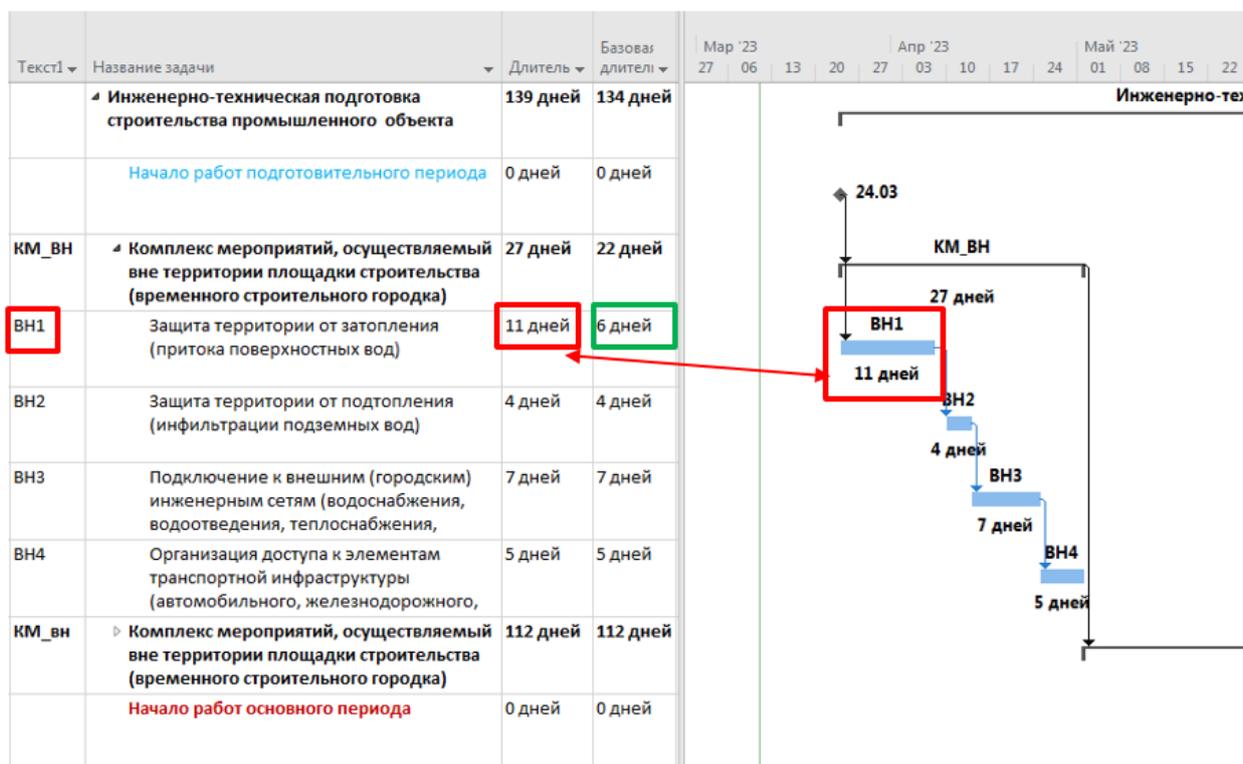


Рис. 1. Состояние строительного производства вследствие проявления негативного фактора. Комплекс мероприятий KM_VH

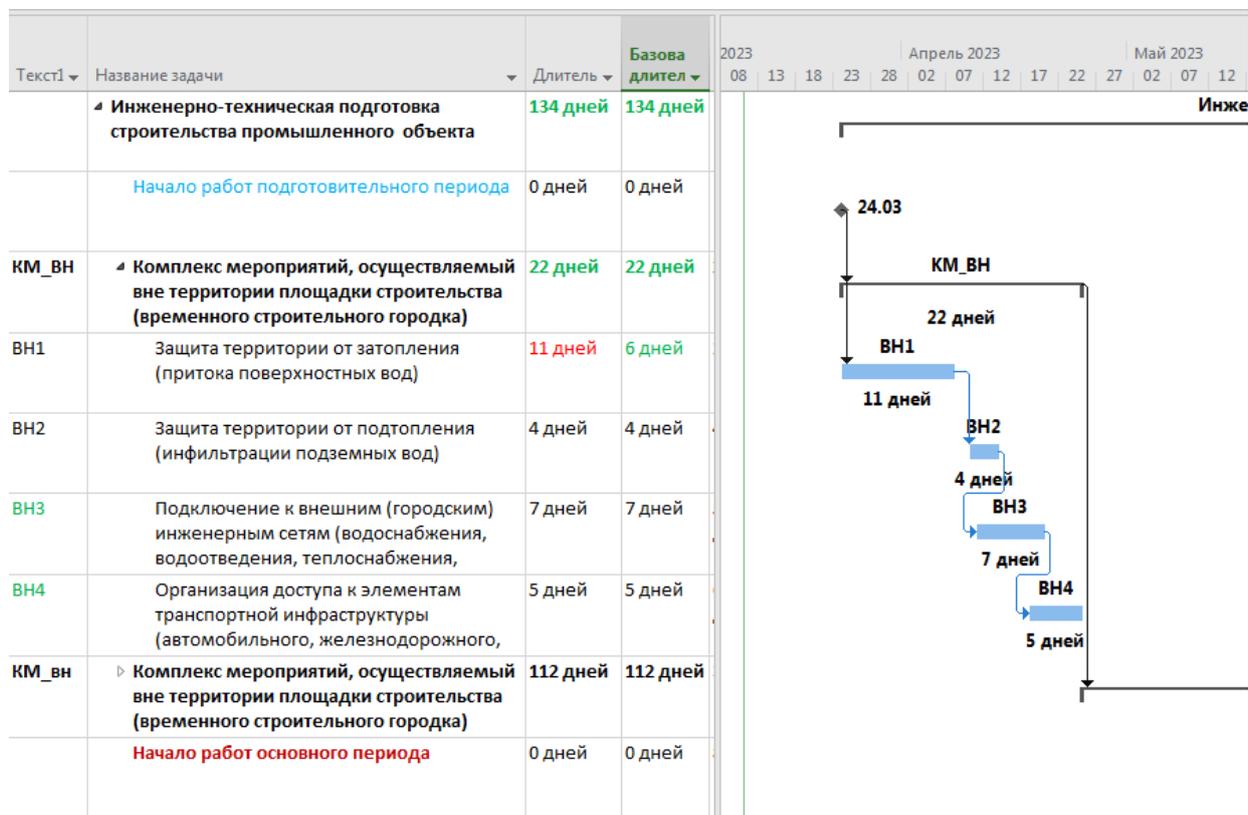


Рис. 2. Вероятностный формат топологии модели. Вариант с изменением связей для двух строительных процессов (работ): VH3 и VH4

Из приведенных на рис. 2 данных следует, что проявление негативного фактора, которое происходит при производстве комплексного строительного процесса ВН2, предусматривается парировать посредством изменения связей (вероятностный формат топологии модели) для двух строительных процессов (работ): ВН3 и ВН4.

Данный подход позволяет парировать негативные последствия проявления случайного фактора («+5 дней» к продолжительности выполнения процесса ВН1) на общую продолжительность выполнения комплекса мероприятий **КМ_ВН** и общего состава «Инженерно-технической подготовки строительства промышленного объекта». Фактическая продолжительность выполнения вернулась к базовым или предварительно установленным значениям (соответственно 122 и 134 дня).

Важно отметить, что предложенные к реализации мероприятия по изменению (оптимизации) топологии организационно-технологической модели не требуют привлечения дополнительных ресурсов: продолжительность выполнения оптимизированных процессов ВН3 и ВН4 равна их предварительно установленным значениям.

Выводы

По результатам проведенных исследований получены следующие основные выводы:

1. Анализ (определение, расчет) показателей организационно-технологических решений с использованием рассмотренных выше форматов вероятностной модели является значительно более сложной проектной процедурой по сравнению с детерминированным форматом аналогичной организационно-технологической модели.

2. Рассмотренный методический подход с применением вероятностного формата организационно-технологической модели можно применять для разработки прогноза и анализа последствий проявлений негативных факторов для различных строительных процессов, включенных в состав модели.

3. Методический подход с применением вероятностного формата топологии организационно-технологической модели способствует повышению уровня качества разработки проектных (организационно-технологических) решений, направленных на учет последствий проявлений негативных факторов строительного производства при инженерно-технической подготовке строительства промышленного объекта.

Список литературы

1. Олейник П.П. Организационно-технологическое обеспечение строительства современных промышленных предприятий // *Механизация строительства*. 2017. Т. 78, № 7. С. 9–13.
2. Белов А.В. Задачи обеспечения качества процессов строительства // *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*. 2012. № 5(44). С. 97–99.
3. Chinowsky P.S., Songer A.D. *Organization Management in Construction*. London: Routledge, 2011. 216 p.
4. Оценка эффективности организационно-технологических решений при выборе средств механизации производства строительного-монтажных работ / М.С. Вайнштейн, Б.В. Жадановский, С.А. Синенко и др. // *Научное обозрение*. 2015. № 13. С. 123–128.
5. Вариантное проектирование строительных процессов как способ принятия рационального решения по срокам и стоимости строительства / В.Н. Кабанов, А.А. Трандофиров, К.В. Степанов, В.К. Друхольский, Е.Э. Шадрин // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 50 (69). С. 37–45.
6. Организация строительного производства при инженерной подготовке территории строительства. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018. 166 с.
7. Абдуллаев Г.И. Основные направления повышения надежности строительных процессов // *Инженерно-строительный журнал*. 2010. № 4 (14). С. 59–60.
8. Строительные риски и возможности их минимизации / С.Н. Богачев, А.А. Школьников, Р.Э. Розентул, Н.А. Климова // *Academia. Архитектура и строительство*. 2015. № 1. С. 88–92.
9. Недавний О.И., Базилевич С.В., Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов // *Системы. Методы. Технологии*. 2013. № 2 (18). С. 137–141.
10. Дементьева В.В. Характеристика понятия сроков строительства и анализ основных направлений сокращения сроков строительства // *Аллея Науки*. 2018. Т. 8, № 5 (21). С. 71–77.
11. Величко В. В. Управление рисками строительных проектов. М.: Горячая линия-Телеком, 2019. 214 с.
12. Harris F., McCaffer R., Edum-Fotwe F. *Modern Construction Management*. Chichester: Wiley-Blackwell, 2013. 411 p.
13. Костюченко В.В., Кудинов Д.О. Организационно-техническое моделирование проектно-строительных систем // *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 3(21). С. 731–734.
14. Смирнов О.Л. Составление и оптимизация моделей сложных систем. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 144 с.

15. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №5. С. 171–181. DOI: 10.12737/article_590878fb8be5f0.72456616
16. Железнов М.М., Адамцевич Л.А. Информационное моделирование на этапе строительства. М.: МИСИ-МГСУ, 2021. 116 с.
17. Дмитриев А.Н., Владимирова И.Л. Технологии информационного моделирования в управлении строительными проектами России // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 10. С. 48–59. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.10.48–59
18. Богомолов Ю.М. Информационные технологии в организации строительства. Минск: БЕЛФОРТ, 2002. 158 с.
19. Briscoe D. Beyond Bim: Architecture Information Modeling. London: Routledge, 2016. 264 p.
20. Владыкин В.Н., Абакумов Р.Г. Информационное моделирование в современном строительстве // Инновационная наука. 2017. № 03-1. С. 20–22.
21. Курченко Н.С. Выбор организационно-технологических решений для объектов строительства с учетом случайных факторов // Системные технологии. 2018. № 27. С. 64–68.
22. Лебедев В.М. Организационно-технологическая надежность управляющих систем строительства // Вестник МГСУ. 2008. № 4. С. 191–194.
23. Олейник П.П. Организация строительного производства: монография. Саратов: Вузовское образование, 2019. 599 с.
24. Пименов С.И. Строительная информационная модель // Construction and Geotechnics. 2022. Т. 13., № 3. С. 72–84. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.07
25. Войтович С.А. Сетевое моделирование в строительстве. Омск: Издательство СибАДИ, 2007. 36 с.
26. Leach L.P. Critical Chain Project Management (Artech House Technology Management and Professional Development Library). New York: Artech House, 2014. 326 p.
27. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками: монография. Воронеж: Научная книга, 2010. 284 с.
28. Castillo E., Gutierrez J.M., Hadi A.S. Expert systems and probabilistic network models. New York: Springer Science & Business Media, 2012. 605 p.

References

1. Oleinik P.P. Managerial and engineering support to construction of modern industrial plants. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Mechanization of construction]. 2017;78(7):9–13. (in Russ.)
2. Belov A.V. Quality management in construction business. *Vestnik of Saratov State Socio-Economic University*. 2012;5(44):97–99. (in Russ.)
3. Chinowsky P.S., Songer A.D. *Organization Management in Construction*. London: Routledge; 2011. 216 p.
4. Vaynshteyn M.S., Zhadanovsky B.V., Sinenko S.A. et al. Assessment of the effectiveness of organizational-technological solutions in choosing the means of mechanization of construction-assembly work. *Nauchnoe obozrenie*. [Scientific Review]. 2015;13:123–128. (in Russ.)
5. Kabanov V.N., Trandofirov A.A., Stepanov K.V., Drukhol'skii V.K., Shadrina E.E. Variational design of construction processes as the method of finding rational solution concerning construction deadline and cost. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture]. 2017;50(69):37–45. (in Russ.)
6. *Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva pri inzhenernoy podgotovke territorii stroitel'stva* [Organization of construction production in the engineering preparation of the territory of construction]. Moscow: Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation; 2018. 166 p. (in Russ.)
7. Abdullaev G.I. [Main directions of increasing the reliability of construction processes]. *Magazine of civil engineering*. 2010;4(14):59–60. (in Russ.)
8. Bogachev S.N., Shkolnikov A.A., Rozentul R.A., Klimova N.A. Construction risks and means of their minimization. *Academia. Architecture and Construction*. 2015;1:88–92. (in Russ.)
9. Nedavny O.I., Bazilevich S.V., Kuznetsov S.M. Assessment of organizational and technological reliability of project construction. *Systems. Methods. Technologies*. 2013;2(18):137–141. (in Russ.)
10. Dement'eva V.V. [Characteristics of the concept of timing of construction and analysis of the main directions of reducing the timing of construction]. *Alleya Nauki* [Alley of Science]. 2018;5(21):71–77. (in Russ.)
11. Velichko V.V. *Upravlenie riskami stroitel'nykh projektov* [Risk management of construction projects]. Moscow: Hot Line-Telecom; 2019. 214 p. (in Russ.)

12. Harris F., McCaffer R., Edum-Fotwe F. *Modern Construction Management*. Chichester: Wiley-Blackwell; 2013. 411 p.
13. Kostyuchenko V.V., Kudinov D.O. [Organizational and technical modeling of design and construction systems]. *Engineering journal of Don*. 2012;3(21):731–734. (in Russ.)
14. Smirnov O.L. *Sostavlenie i optimizatsiya modeley slozhnykh sistem* [Composition and optimization of models of complex systems]. Moscow: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2018. 144 p. (in Russ.)
15. Abakumov R.G., Naumov A.E., Zobova A.G. Analytical review of the methodological tools used in the sales comparison approach when price adjustments analogues. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2017;5:171–181. (in Russ.) DOI: 10.12737/article_590878fb8be5f0.72456616
16. Zhelezov M.M., Adamtsevich L.A. *Informatsionnoe modelirovanie na etape stroitel'stva* [Information modeling at the stage of construction]. Moscow: MISI-MGSU; 2021. 116 p. (in Russ.)
17. Dmitriev A.N., Vladimirova I.L. BIM technologies in building construction projects management in Russia. *Industrial and Civil Engineering*. 2019;10:48–59. (in Russ.) DOI: 10.33622/0869-7019.2019.10.48-59
18. Bogomolov Yu.M. *Informatsionnye tekhnologii v organizatsii stroitel'stva* [Information technologies in the organization of construction]. Minsk: BELFORT; 2002. 158 p. (in Russ.)
19. Briscoe D. *Beyond Bim: Architecture Information Modeling*. London: Routledge; 2016. 264 p.
20. Vladykin V.N., Abakumov R.G. [Information Modeling in Modern Construction]. *Innovation Science*. 2017;03-1:20–22. (in Russ.)
21. Kurchenko N.S. Selection of organizational and technological decisions for construction objects according to random factors. *System Technologies*. 2018;27:64–68. (in Russ.)
22. Lebedev V.M. [Organizational and technological reliability of control systems of construction]. *Vestnik MGSU*. 2008;4:191–194. (in Russ.)
23. Oleynik P.P. *Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva: monografiya*. [Organization of a building production: monography]. Saratov: Vuzovskoe obrazovanie; 2019. 599 p. (in Russ.)
24. Pimenov S.I. Construction information model. *Construction and Geotechnics*. 2022;13(3):72–84. (in Russ.) DOI: 10.15593/2224-9826/2022.3.07
25. Voytovich S.A. *Setevoe modelirovanie v stroitel'stve*. [Network modeling in construction]. Omsk: Publishing house of SibADI; 2007. 36 p. (in Russ.)
26. Leach L.P. *Critical Chain Project Management (Artech House Technology Management and Professional Development Library)*. New York: Artech House; 2014. 326 p.
27. Golenko-Ginzburg D.I. *Stokhasticheskie setevye modeli planirovaniya i upravleniya razrabotkami: Monografiya* [Stochastic network models of development planning and management: Monograph]. Voronezh: Scientific book; 2010. 284 p. (in Russ.)
28. Castillo E., Gutierrez J.M., Hadi A.S. *Expert systems and probabilistic network models*. New York: Springer Science & Business Media; 2012. 605 p.

Информация об авторах:

Мухамбетжан Зерек Еркинулы, аспирант кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия; zerek-wkau@yandex.ru

Мухаметзянов Зинур Ришатович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия; zinur-1966@mail.ru

Information about the authors:

Zerek Yerkinuly Mukhambetzhan, Graduate student, Department of Roads, Bridges, and Transportation Infrastructure, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; zerek-wkau@yandex.ru

Zinur Rishatovich Mukhametzyanov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Roads, Bridges, and Transportation Infrastructure, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia; zinur-1966@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.06.2023, принята к публикации 14.06.2023.

The article was submitted 07.06.2023; approved after reviewing 14.06.2023.