УДК 625.72:004.4

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДО ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Т.В. Боброва, М.С. Ратанин, Е.П. Тимофеева ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

RNJATOHHA

Введение. Недостаточная проработка вопросов организации строительства в составе проектной документации является одним из факторов нарушения плановых сроков ввода объектов в эксплуатацию. Вероятностные графики позволяют получить более обоснованные сроки выполнения отдельных работ, а соответственно и всего проекта, исходя из заданного уровня надежности.

Методы. Процесс сооружения мостовых переходов рассмотрен как сложная иерархическая система, функционирующая в условиях стохастической неопределенности исходных данных. Особенностью предложенного комплексного подхода к проектированию организации строительства является сочетание элементов разных методов автоматизированного проектирования в среде MS Project. За основу моделирования принята обобщенная сетевая модель, рассчитанная на основе матрицы (вид работ — частный фронт работ) методом критического пути. Положительные и отрицательные растяжения связей при взаимодействии работ, а также организационные перерывы могут носить детерминированный или случайный, вероятностный характер. Обосновано применение методики PERT на стадии предварительной оценки риска в инвестиционных проектах мостового строительства.

Результаты. При расчете в программе MS Project были определены продолжительности строительства реального объекта при пессимистической, оптимистической, нормативной и ожидаемой длительности работ. Дана оценка рисков выполнения проекта в установленные сроки. Рассмотрен пример вариантного проектирования организационно-технологических решений мостового перехода с использованием летнего и зимнего строительных сезонов. **Заключение.** Разработан алгоритм информационного моделирования организации стро-

Заключение. Разработан алгоритм информационного моделирования организации строительства мостовых переходов. Цель моделирования: достоверный прогноз сроков строительства в условиях статистической неопределенности временных параметров технологических процессов. Направление дальнейших исследований связано с обоснованием выбора решений на основе совокупности действующих случайных факторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организационно-технологическое проектирование, вариантное моделирование в среде MS Project, сетевая диаграмма, критический путь, прогноз срока завершения проекта, взвешенные оценки длительности работ.

© Т.В. Боброва, М.С. Ратанин, Е.П. Тимофеева, 2018



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

INFORMATION MODELING OF ORGANIZATION OF BRIDGES' CONSTRUCTION UNDER STOCHASTIC UNCERTAINTY OF TIME PARAMETERS

T.V. Bobrova, M.S. Ratanin, E.P. TimofeevaSiberian State Automobile and Highway University,
Omsk. Russia

ABSTRACT

Introduction. Inadequate study of the organization of construction in the project documentation is one of the factors that contravene the planned dates for putting objects into operation. Probabilistic graphs make it possible to obtain more justified timeframes for performing individual works, and even the entire project by proceeding a given level of reliability.

Methods. The research illustrates the process of building bridges as a complex hierarchical system, functioning in conditions of the initial data stochastic uncertainty. The feature of the proposed integrated approach to the construction organization design is the combination of different methods' elements of computer-aided design in the MS Project environment. The simulation is based on the generalized network model, calculated on the basis of the matrix (type of work - private work front) by the critical path method. Thus, positive and negative bonds' stretching in the work interaction as well as organizational breaks could be deterministic, random and probabilistic. The application of the PERT methodology at the stage of preliminary risk assessment in investment projects of bridge construction is substantiated. Results. As a result, the duration of the construction of the real object by calculation in the MS Project was determined under pessimistic, optimistic, normative and expected work duration. The risks' evaluation of the project implementation in the established time frame was presented. In addition, the example of organizational and technological solutions for bridge crossing by using summer and winter construction seasons was considered.

Discussion and conclusions. The algorithm for informational modeling of bridge construction organization is developed. The purpose of such simulation is reliable forecast of construction dates in conditions of statistical uncertainty of time parameters of technological processes. Therefore, the direction of further research would be connected with the justification of the choice of solutions based on the set of acting random factors.

KEYWORDS: organizational and technological design, variation modeling in MS Project, network diagram, critical path, forecast the completion date of the project, balanced assessment for work duration.

© T.V. Bobrova, M.S. Ratanin, E.P. Timofeeva, 2018



Content is available under the license Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании организации строительства мостовых переходов в настоящее время широко используются традиционные модели в виде линейных графиков Ганта и циклограмм. В ходе реализации проектов сроки производства работ могут существенно меняться вследствие изменения погодных условий, срыва поставок ресурсов и финансирования, выхода из строя строительной техники и т.п. Данные факторы приводят к необходимости корректировки календарных планов на различных этапах производства работ, при этом прогнозирование сроков окончания строительства становится затруднительным. Недостаточная проработка вопросов организации строительства в составе проектной документации является одним из факторов нарушения плановых сроков ввода объектов в эксплуатацию. Информационное моделирование строительного объекта как новая система управления его жизненным циклом на стадиях инициация - проектирование - строительство - эксплуатация активно разрабатывается и обсуждается в работах отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 3, 4].

В работах [5, 6, 7] рассматриваются методы контроля и управления сроками реализации строительных проектов разной отраслевой направленности. Для своевременного завершения проектов в условиях неопределенности авторы рассматривают разные варианты, включая создание и регулирование резервов в бюджете проекта в целях предотвращения нарушений календарного графика производства работ. В работе [6] С.В. Бовтеев демонстрирует связь сроков строительства с затратами в жизненном цикле (ЖЦ) проекта, обосновывая мероприятия по резервированию, которые обеспечат ввод объекта в установленные сроки с большей степенью надежности.

Вероятностные графики позволяют получить более обоснованные сроки выполнения отдельных работ, а соответственно и всего проекта, исходя из заданного уровня надежности. К недостаткам вероятностных моделей организации строительства объектов исследователи в разные годы относили трудоемкость их построения и требование более высокого уровня квалификации работников [8].

За последние годы существенно расши-

рились возможности применения информационных технологий при проектировании организации строительства. Использование автоматизированной системы управления проектами MS Project [1, 9] позволяет не только достаточно быстро выполнять корректировку календарного плана, но и оценивать степень риска и заложить необходимые резервы для корректировки проектных решений уже на стадии проектирования. Кроме того, моделирование разных вариантов организационных и технологических решений в среде MS Project позволяет спрогнозировать экономические параметры разных вариантов и выбрать рациональное решение для реализации проекта.

С точки зрения математической постановки процесс сооружения мостовых переходов рассмотрен как сложная иерархическая система, функционирующая в условиях стохастической неопределенности исходных данных [9,10,11]. Приняты предпосылки о законах распределения и временных параметрах процессов производственной системы как случайных величинах.

Особенностью использованного нами комплексного подхода к проектированию организации строительства мостового перехода является сочетание элементов разных методов автоматизированного проектирования, позволяющих в итоге выполнить сравнение большого количества альтернативных вариантов и обосновать выбор эффективного решения с минимальными затратами времени и средств на проектирование.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ КАЛЕНДАРНЫХ ГРАФИКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА В СРЕДЕ MS PROJECT

К числу основных условий проектирования в среде MS Project относится структурирование элементов объекта и процессов на принципах продуктово-процессного подхода. Декомпозиция объекта на проектные модули с выделением технологических процессов на участках (фронтах) работ позволяет перейти к методологии матричного моделирования [12]. В зависимости от поставленных целей проектирования данный метод предполагает решение задачи календарного планирования разными способами: непрерывного использования ресурсов с совмещением или несовмещением работ на общем фронте, непрерыв-

¹ Бовтеев С. В. Информационные технологии в строительстве. Управление строительными проектами в среде Microsoft Project 2013 Professional : учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 292 с.

ного использования фронта работ, методом критического пути. Последний метод позволяет минимизировать сроки строительства при заданных ресурсах, что является особенно важным при строительстве мостовых переходов. Преимущество сетевого планирования, в котором отображается критический путь, резервы времени для управления проектами, давно доказано и успешно реализуется средствами MS Project.

Невозможно обойти вопрос о факторах риска и неопределенности в современном календарном планировании строительных объектов, который достаточно успешно может решаться при имитационном моделировании. Важным преимуществом такого моделирования является оценка риска реализации проекта в установленные сроки с использованием метода PERT или методов статистического моделирования «Монте-Карло», которые могут реализовываться в среде MS Project [13].

За основу моделирования принята обобщенная сетевая модель [10,12,14]. Важным элементом автоматизированного проектирования является отображение взаимодействия между работами в виде положительного или отрицательного растяжения связей, которое может носить детерминированный или случайный, вероятностный характер.

В работе [10] расширено понятие технологических связей с введением термина «случайные организационные ожидания», которые могут отражать как непредвиденные перерывы в работе, так и запланированные, например сезонные перерывы технологических процессов. Названные методы не являются исчерпывающим перечнем. Другие цели могут быть ориентированы на решение конкретных задач, чтобы создать возможность для экономии общего времени или затрат участниками проекта.

Ряд ученых считает, что традиционный метод PERT недостаточно надежен для вероятностной оценки сроков реализации комплексных проектов со сложной структурой [14, 15, 16, 17]. Авторы полагают, что при наличии в проекте нескольких вариантов критических путей результаты расчета по методике PERT будут существенно завышены, что приведет к дезориентации заказчика и команды проекта. Предлагается ряд других методов, например, «универсальный» метод оценки» [18] требует проведения дополнительных вычислительных операций и не нашел широкого применения на практике.

На основе статистических данных в транс-

портном строительстве принято, что продолжительность выполнения отдельных видов работ подчиняется закону β-распределения [8, 19, 20, 21]. Применяют различные разновидности описания параметров случайных величин, распределенных по данному закону. В методе PERT [13, 15, 22] принята оценочная шкала длительностей выполнения работ, состоящая из трех прогнозных оценок, учитывающих наиболее благоприятные условия, нормальные условия (нормаль строительного процесса [23]) и самые неблагоприятные условия.

Соотношение этих показателей для расчета средневзвешенной оценки принимается как 1:4:1. При таком соотношении больший вес придается нормативной длительности. По рекомендациям [24, 25] рассмотрены другие модификации β-распределения, описывающие вероятность выполнения строительно-монтажных работ достаточно корректно, не отдавая значительного предпочтения срокам с нормативной вероятностью.

Функция распределения описывается формулой

$$\varphi(\chi) = \frac{12(\chi - \alpha)(\beta - \chi)^2}{(\beta - \alpha)^4} . \tag{1}$$

Для функции (1) математическое ожидание $T_{\mu}\,$ вычисляется по формуле

$$T_{\mu} = \frac{(2\beta + 3\alpha)}{5} \quad , \tag{2}$$

где α и β – соответственно минимально и максимально возможные продолжительности выполнения работы.

Для определения среднеквадратического отклонения используют выражение

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\beta - \alpha)^2}{25}} \quad , \tag{3}$$

Профессор В.З Величкин [24] предлагает учитывать в этих формулах показатель эффективности управления строительством ξ , который может меняться от 0 (жесткое регулирование хода работ) до 2 (слабый контроль и регулирование).

На стадии инвестиционного проектирования, до выбора подрядчика, этот показатель можно рассматривать на среднем уровне и принять ξ=1. Тогда вероятностные параметры отдельных работ проекта можно оценивать по формулам (2), (3).

Показатели нормативной длительности отдельных работ можно принимать на основе действующих сметных нормативов. Тогда оптимистические сроки назначают на 15–20% ниже нормативных, учитывая рост производительности труда по сравнению с заложенным в нормативах. Пессимистическая оценка при неопределенности в системе управления может быть повышена до 50% по сравнению с нормативной.

Авторы [25] распространяют подходы по интервальной оценке параметров отдельных работ на комплексный проект. В то же время согласно центральной предельной теореме теории вероятностей П.Л. Чебышева при суммировании случайных величин независимо от закона распределения слагаемых закон распределения суммы приближается к нормальному [8]. Таким образом, срок выполнения проекта мостового перехода в целом с учетом действия множества различных факторов будем рассматривать как нормально распределенную случайную величину.

На наш взгляд, проекты мостового строительства отличаются достаточно стабильной структурой технологической последовательности работ при высокой доле критических работ в составе проекта. В линейном дорожном строительстве эта доля может доходить до 80-90%. С этой точки зрения считаем возможным применение методики PERT на стадии предварительной оценки риска в инвестиционных проектах мостового строительства. В дальнейшем, учитывая возможности автоматизированного проектирования, на стадии разработки проектов производства работ целесообразно использовать методы статистического моделирования (Монте-Карло) с параметрами случайных величин, приближенных к условиям конкретной стройки.

При расчете в программе MS Project определят продолжительности проекта с учетом связей с задержками и опережениями между работами при пессимистической, оптимистической, нормативной и ожидаемой длительностями работ. При оптимистических оценках длительности работ определяется оптимистическая продолжительность, быстрее которой проект не может быть завершен ни при каких обстоятельствах. В результате подстановки в модель MS Project ожидаемых продолжительностей работ определяется ожидаемая продолжительность проекта $T_{\text{ож}}$, за которую проект завершится с вероятностью 50%.

Таким же образом в программе определяется пессимистическая продолжительность проекта, т.е. такая, медленнее которой проект

не может быть завершен ни при каких обстоятельствах.

По каждому варианту расчета определяется критический путь. Директивный срок строительства (плановый) принимается с небольшим коэффициентом запаса по отношению к срокам, определенным для условий «нормали строительных процессов». Величина стандартного (среднеквадратического отклонения) определяется по формуле

$$\sigma T_{\text{ox}} = \sqrt{\sum \sigma_{i\text{kp}}^2} , \qquad (4)$$

где $\sigma T_{\text{ож}}$ – среднеквадратическое отклонение продолжительности проекта; σ_{ikp}^2 – дисперсии работ проекта, лежащих на критическом пути в сетевой модели.

Для сравнения вариантов организационно-технологических решений рассчитывают вероятности выполнения проектов в установленные сроки или сроки, при которых, учитывая условия производства и резервы времени, будет достигнут достаточно высокий уровень надежности реализации проекта (не ниже 0,9). При такой высокой надежности считают, что проект излишне зарезервирован. В то же время этот показатель удобен для сравнения разных вариантов.

Работоспособность данных подходов с сочетанием автоматизации календарного планирования и оценки рисков проекта продемонстрирована на примере организационно-технологического проектирования мостового перехода. Для отображения в рамках данной статьи принципиальных вопросов информационного моделирования примеры носят в определенной степени упрощенный (демонстрационный) характер.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

Для анализа выбран один из типовых проектов мостовых переходов, построенных ООО «УСК-1». Он представлен металлическим неразрезным пролетным строением на четырех опорах (рисунок 1).

Русловые опоры (№2,3) представляют собой сборно-монолитные конструкции с опорой на ростверк. Пролетное строение представлено неразрезной металлической коробчатой балкой длинной 63 м. Габарит . Пролетное строение разбито поперек оси моста на блоки коробчатого сечения длиной 10,5 м, в продольном направлении оно состоит из трех монтажных блоков длинной 21 м, приближенных между собой по массе. Монтажные блоки состоит из двух блоков и объединяются между собой на высокопрочных болтах.

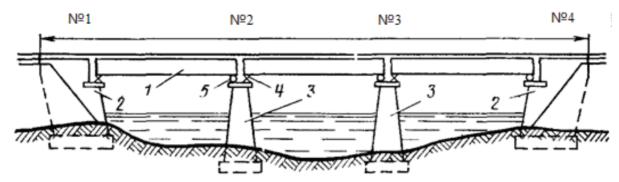


Рисунок 1 – Схема мостового перехода: 1 – пролетное строение; 2 – устои(№1, №4); 3 – быки (№2, №3); 4 –неподвижные опорные части; 5 –подвижные опорные части

Figure 1 – Bridge scheme: 1 –span structure; 2 – foundations (№1, №4); 3 – bulls (№2, №3); 4 – fixed supported parts; 5 –mobile bearing parts

Источник: техническая документация

ВАРИАНТЫ ОРГАНИЗАЦИОННОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В статье рассматриваются варианты строительства, связанные с особенностями производства работ в летний и зимний строительные сезоны. Как показывает опыт мостостроения, назначение сезона для реализации проекта не позволяет сделать однозначного выбора. Решение может приниматься на основе многокритериальной оценки вариантов с учетом совокупности и значимости факторов в условиях определенной природной среды и конструктивных решений объекта. В примере будет дана оценка срокам строительства по вариантам при заданном уровне надежности.

Вариант 1—летний сезон. Сооружение русловых опор предусмотрено с устройством стационарной площадки для кранов в виде понтонов КС — 63. Площадку из понтонов КС — 63 собирают на берегу, на стапеле, и после спуска доставляют по воде к месту опускания. Между собой понтоны соединяют, обеспечивая повышение водонепроницаемости их швов с помощью резиновых прокладок, устанавливаемых перед затягиванием соединительных болтов. Все понтоны объединяют между собой воздушной сетью, присоединяя к компрессору.

Монтаж среднего пролетного строения длиной 21 м (между 2-й и 3-й опорами) предусмотрен наплавным способом при высоком уровне перекатки, с использованием крана для сборки пролетного строения, а для транспортирования — речных плав средств.

Вариант 2-зимний сезон. Предусматривается сооружение опоры со льда. Подготовительные работы включают в себя устройство

подъездных дорог, а также разработку льда и грунта до проектной отметки в районе котлована при помощи крана с грейфером, с дальнейшей отгрузкой разработанной породы в отвал автосамосвалами.

Монтаж моста ведется путем продольной надвижки с правого берега реки с укрупнением блоков на сборочном стапеле. Предусмотрено использование крана для сборки пролетного строения на насыпи подхода, а для надвижки – двух гидравлических домкратов.

Рассмотренные варианты отличаются друг от друга по всем признакам ввиду сезонных различий технологий строительства, а также ресурсов, используемых для сооружения котлована. Основной процесс возведения опор не имеет различий в использовании техники при бетонировании и выборе кранового оборудования.

Главным преимуществом первого летнего варианта являются меньшие сроки строительства и более экономное расходование ресурсов. Но при сооружении понадобятся плавсредства, которые арендуются у речного флота. Данное обстоятельство может повысить степень риска при производстве работ.

Устройство со льда потребует больше времени, но положительным фактором является наличие свободного неограниченного рабочего пространства.

Анализируя укрупненные технико-экономические показатели, приходим к следующим выводам: оба варианта (летний и зимний) имеют свои плюсы и минусы как по экономическим соображениям, так и по срокам строительства. Для принятия рационального решения использованы методы расчета календарных графиков и имитационного моделирования в среде MS Project при статистической неопределенности параметров работ.

При подготовке исходных данных к расчету в программе MS Project выполнена структурная декомпозиция работ с разделением по участкам (фронтам) работ. Для определения ранних сроков начала работ с нормативной продолжительностью использована матрица с расчетом ранних сроков начала и окончания работ [12]. Установлены связи предшествования между работами. В MS Project в автоматизированном режиме с заданными исходными данными для каждого варианта выполнены расчеты графиков в виде диаграмм Ганта и сетевых графиков с определением критического пути, сроков строительства мостового перехода при разных схемах организации работ. На рисунках 1, 2 представлены укрупненные графики по вариантам с нормативной длительно-

Критический путь в летнем варианте организации строительства (рисунок 2) проходит через работы 1.1–1.4; 2.1–2.4; 3.4; 4.4. В зим-

нем варианте (рисунок 3) к критическому пути относятся работы 1.1–1.4; 2.1–2.4; 34, 3.5; 4.4. При изменении структуры графиков, например за счет детализации по участкам (фронтам работ), критический путь может меняться, давая более точную оценку срокам строительства.

Для вероятностной оценки сроков реализации проекта по каждому варианту выполнялись расчеты еще с тремя показателями длительности работ: оптимистической, пессимистической и наиболее вероятной (математическое ожидание). В данной работе пессимистическая оценка продолжительности отдельных работ принята на 50% больше нормативной, оптимистическая — на 15% меньше, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение рассчитывались для каждого вида работ соответственно по формулам (2) и (3) в программе Excel.

В таблице 1 представлены результаты расчетов общей продолжительности строительства мостового перехода по вариантам в программе MS Project с разными вероятностными сроками длительности отдельных работ

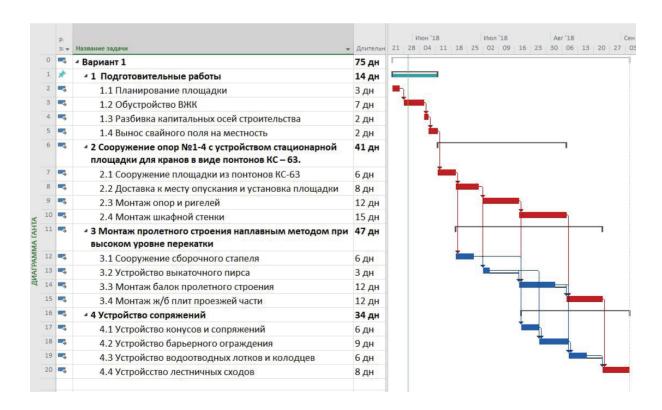


Рисунок 2 – График №1. Летний вариант

Figure 2 - Graph No. 1. Summer variant

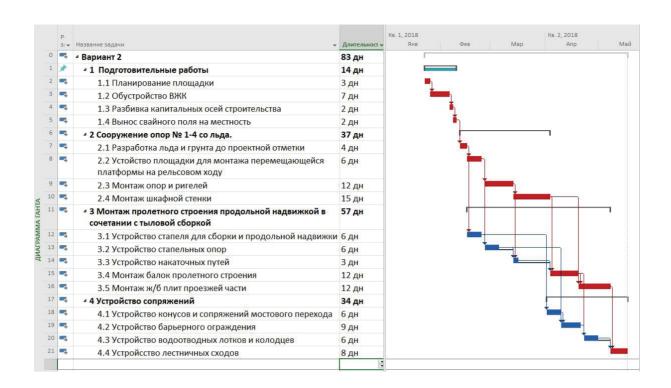


Рисунок 3 – График № 2. Зимний вариант

Figure 3 – Graph №. 2. Winter variant

Источник: рисунки 2, 3 получены авторами по результатам проектирования графиков

ТАБЛИЦА 1
ПРОГНОЗ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА
В MS PROJECT ПРИ РАЗНЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОЦЕНКАХ ДЛИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ
ТАВLE 1

FORECAST OF BRIDGE CONSTRUCTION TIMING BY RESULTS' CALCULATION IN MS PROJECT FOR DIFFERENT PROBABILISTIC WORK DURATION

Тип вероятностной оценки длительности видов работ	Прогноз продолжительности проекта по вариантам, дни	
	летний сезон	зимний сезон
Оптимистическая	65,1	72,0
Пессимистическая	112,5	118,5
Нормативная	75,0	83,0
Математическое ожидание	84,0	92,8

Источник: составлено авторами в процессе имитационного моделирования в MS Project

Вероятность завершения проекта к определенному моменту времени, например $T_{\rm дир}$, для нормального закона распределения рассчитывается согласно зависимости

$$P(T \le T_{\text{дир}}) = 0.5 + \Phi(Z)$$
, (5)

где $T_{\rm дир}$ –заданный срок строительства по контракту с заказчиком, $\Phi(Z)$ – функция Лапласа, определяемая по таблице стандартного нормального распределения; Z аргумент функции Лапласа рассчитывают по формуле

$$Z = \frac{(T_{\text{дир}} - T_{\mu})}{\sigma T_{\mu}} \ . \tag{6}$$

Если принять $T_{\rm дир}$ равным нормативной продолжительности строительства, увеличенной в контракте на страховой резерв в размере 10%, то вероятность завершения строительства в соответствии с контрактом составит для летнего варианта 35,3%, для зимнего варианта -36,6%.

Используя таблицы стандартного нормального распределения, определим сроки вы-

полнения всего комплекса работ мостового перехода по вариантам строительства с вероятностью 90%. Для первого варианта (летний сезон) продолжительность с 90% обеспеченностью составила 89 дней, для 2-го варианта (зимний сезон) — 98 дней.

Опираясь на полученные данные можно сделать вывод, что при одинаковом уровне риска (10%) строительство мостового перехода в летний сезон можно осуществить в более короткие сроки. Однако вероятность завершения строительства в директивные сроки в зимнее время несколько выше. Эти данные будут полезны как для заказчика, так и для подрядчика при заключении контракта на строительство. Дополнительными критериями для принятия решения будут показатели стоимости по вариантам проекта, трудоемкости, энергоемкости и др., которые повлияют на принятие окончательного решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе проведенных исследований был разработан алгоритм действий для комплексного информационного моделирования строительных проектов в среде MS Project. Результатом моделирования является информация для выбора вариантов организационно-технологических решений в условиях статистической неопределенности временных параметров технологических процессов. Процесс моделирования предусматривает выполнение следующих операций:

- 1. Сформировать варианты организационно-технологических решений выполнения проекта строительства на основе проектной документации.
- 2. Структурировать проект на комплексы работ и рабочие процессы по участкам (фронтам работ).
- 3. Определить технологическую последовательность и способы выполнения рабочих процессов, установить связи предшествования между отдельными работами, детерминированные и случайные организационные отклонения.
- 4. Рассчитать нормативные сроки выполнения отдельных видов работ на основе ГЭСН, технологических карт и других нормативных документов.
- 5. При наличии информации о фактической продолжительности выполнения работ на объектах аналогах провести статистическую обработку данных.
- 5. Составить и рассчитать матрицы с ранними сроками начала работ на частных фрон-

тах методом критического пути (прямой путь сетевого графика).

- 6. В программе MS Project рассчитать календарные графики в виде диаграмм Ганта, сетевые графики с определением критических и подкритических путей, резервов времени с учетом положительных и отрицательных связей между работами. Расчеты выполнить для всех вариантов организации строительства по четырем оценкам длительностей работ.
- 7. Оценить ожидаемые сроки выполнения проекта с разным уровнем надежности, вероятность выполнения проекта в директивные сроки.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный в статье комплексный подход раскрывает дополнительные возможности использования программы MS Project как для расчета сетевых графиков транспортных объектов, так и для вариантного проектирования организации строительства, расчета ресурсного обеспечения на протяжении жизненного цикла проекта, отслеживания хода работ.

Для оперативного управления ходом производства работ требуется принятие решений по регулированию процессов, а также оптимизация распределения и резервирования ресурсов на основе прогнозирования выполнения проекта. На решение этих и других вопросов организационного проектирования с применением информационного моделирования будут направлены дальнейшие исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Скворцов А.В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. №2(5). С. 4—12.
- 2. Chavada R., Dawood N., Kassem M. Construction workspace management: the development and application of a novel nD planning approach and tool // J. Inform. Technol. Constr. (ITcon). 2012. Vol. 17. P. 213-236.
- 3. Ting W., Ying Y., Xiao L. The impact of BIM application to the project organizational process//3rd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials. Jinan, 2013. No.357. Pp. 2524-2528.
- 4. Yildiz A.E., Dikmen I., Birgonul M.T., Ercoskun K., Alten S. A knowledge-based risk mapping tool for cost estimation of international construction projects // Automation in Construction. 2014. T. 43. C. 144-155.
 - 5. Болотин С.А., Дадар А.Х., Птухина И.С.

Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7. С. 82–86.

- 6. Бовтеев С.В., Канюкова С.В. Развитие методики контроля сроков инвестиционно-строительного проекта // Инженерно-строительный журнал. 2016. №2(62). С. 102–112.
- 7. Бовтеев С.В., Терентьева Е.В. Управление сроками строительного проекта // Управление проектами и программами. 2014. № 2 (38). С. 158–173.
- 8. Мальцев, Ю.А. Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 320 с.
- 9. Захаров А.С. Методология проектирования на основе использования Microsoft offic Project // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2011. № 3. С. 86–95.
- 10. Курченко Н.С., Алексейцев А.В., Галкин С.С. Методика определения продолжительности строительства на основе эволюционного моделирования с учетом случайных организационных ожиданий // Вестник МГСУ. 2016. № 10.С. 120–130.
- 11. Щербатов И.А. Классификация неопределенностей в задачах моделирования и управления сложными слабоформализуемыми системами // Информационные технологии Вестник СГТУ. 2013. №1 (69). С. 175–179.
- 12. Болотин С. А. Организация строительного производства: учебное пособие для студ. высш. учеб, заведении / С. А. Болотин, А. Н. Вихров. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 208 с.
- 13. Птухин И.А., Морозова Т.Ф., Ракова К.М. Формирование ответственности участников строительства за нарушение календарных сроков выполнения работ по методу PERT // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3 (18). С. 57–71.
- 14. Bynum P., Issa R., Olbina S. Building information modeling in support of sustainable design and construction//Journal of Construction Engineering and Management. 2013. Vol. 139(1). Pp. 24-34.
- 15. Олейникова С.А. Критический анализ метода PERT решения задачи управления проектами со случайной длительностью выполнения работ//Системы управления и информационные технологии. 2013. Т. 51. №1. С. 20-24.

- 16. Hajdu M., Bokor O. Sensitivity analysis in Pert networks: does activity duration distribution matter?// Automation in Construction. 2016. T. 65. C. 1-8.
- 17. Hajdu M. Effects of the application of activity calendars on the distribution of project duration in PERT networks // Automation in Construction. 2013. T. 35. C. 397-404.
- 18. Kalugin Yu.B. Universal method for calculation of reliable completion times. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 7. Pp. 70–80.
- 19. Боброва, Т.В. Проектно-ориентированное управление производством работ на региональной сети автомобильных дорог: монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. 334 с.
- 20. Абдуллаев Г.И. Оценка уровня надежности с учетом организационно-технологических параметров строительства // Инженерно-строительный журнал, №8, 2009, С. 62—64.
- 21. Абдуллаев Г.И. Основные направления повышения надежности строительных процессов // Инженерно-строительный журнал. №4. 2010. С. 59–60.
- 22. Haga W., O'Keefe T. Crashing PERT networks: A simulation approach//Proc. of the 4th International conference of the Academy of Business and Administrative Sciences Conference. Quebec City, Canada. 2001.
- 23. Руководство по техническому нормированию труда рабочих в строительстве. М.: Стройиздат, 1977, 47 с.
- 24. Величкин.В.З. Управление и надежность реализации строительных программ/ В.З. Величкин. // Инженерно-строительный журнал, №7, 2014. С. 74–79.
- 25. Абдулаев Г.И., Величкин В.З. Солдатенко Т.Н. Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов // Инженерно-строительный журнал. 2013. №3. С. 43–50.

REFERENCES

- 1. Skvorcov A.V. Trudnosti perekhoda ot avtomatizirovannogo proektirovaniya k informacionnomu modelirovaniyu dorog. [Difficultie of transition from computer-aided design to information modeling of roads]. SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog, 2015, no. 2(5), pp. 4-12.
- 2. Chavada R., Dawood N., Kassem M. Construction workspace management: the development and application of a novel nD planning approach and tool. J. Inform. Technol. Constr. (ITcon). 2012. Vol. 17. pp. 213-236.
- 3. Ting W., Ying Y., Xiao L. The impact of BIM application to the project organizational pro-

- cess//3rd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Building Materials. Jinan, 2013. No.357. Pp. 2524-2528.
- 4. Yildiz A.E., Dikmen I., Birgonul M.T., Ercoskun K., Alten S. A knowledge-based risk mapping tool for cost estimation of international construction projects. *Automation in Construction*, 2014, T. 43. pp. 144-155.
- 5. Bolotin S.A., Dadar A.H., I.S. Ptuhina Imitaciya kalendarnogo planirovaniya v programmah informacionnogo modelirovaniya zdanij i regressionnaya detalizaciya norm prodolzhitel'nostej stroitel'stva. [Simulation of scheduling in the programs of building information modeling and regression detailing of building duration standards]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, no. 7, 2011. pp. 82-86.
- 6. Bovteev S.V., Kanyukova S.V. Razvitie metodiki kontrolya srokov investicionno-stroitel'nogo proekta [Development of methods for monitoring the timing of the investment and construction project]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2016, no 2(62). pp. 102-112.
- 7. Bovteev S.V., Terent'eva E.V. Upravlenie srokami stroitel'nogo proekta [Timetable management of the construction project]. *Upravlenie proektami i programmami*, 2014, no. 2 (38). pp. 158–173.
- 8. Mal'cev YU.A. Ekonomiko-matematicheskie metody proektirovaniya transportnyh sooruzhenij [Economic and mathematical methods of transport structures designing]. Moscow, Izdatel'skij centr «Akademiya», 2010. 320 p.
- 9. Zaharov A.S. Metodologiya proektirovaniya na osnove ispol'zovaniya Microsoft offic Project [Design methodology based on Microsoft Offic Project]. *Vestnik rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Informatizaciya obrazovaniya*, 2011, no 3. pp. 86–95.
- 10. Kurchenko N.S., Aleksejcev A.V., Galkin S.S. Metodika opredeleniya prodolzhitel'nosti stroitel'stva na osnove ehvolyucionnogo modelirovaniya s uchetom sluchajnyh organizacionnyh ozhidanij [Method for determining the duration of construction on the basis of evolutionary modeling, taking into account random organizational expectations]. *Vestnik MGSU*, 2016, no 10. pp. 120–130.
- 11. Shcherbatov I.A. Klassifikaciya neopredelennostej v zadachah modelirovaniya i upravleniya slozhnymi slaboformalizuemymi sistemami [Classification of uncertainties in problems of modeling and control of complex weakly formalizable systems]. *Informacionnye tekhnologii Vestnik SGTU*, 2013, no 1 (69). pp 175-179.
 - 12. Bolotin S.A., Vihrov A.N. Organizaciya

- stroitel'nogo proizvodstva: ucheb, posobie dlya stud. vyssh. ucheb, zazedenii [Organization of construction]. Moscow, Izdatel'skij centr «Akademiya», 2007. 208 p.
- 13. Ptuhin I.A., Morozova T.F., Rakova K.M. Formirovanie otvetstvennosti uchastnikov stroitel'stva za narushenie kalendarnyh srokov vypolneniya rabot po metodu PERT [Formation of responsibility of the construction participants for violation of the calendar terms of the works performed by the PERT method]. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdanij i sooruzhenij*, 2014, no 3 (18), pp. 57–71.
- 14. Bynum P., Issa R., Olbina S. Building information modeling in support of sustainable design and construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2013. Vol. 139(1). Pp. 24-34.
- 15. Olejnikova S.A. Kriticheskij analiz metoda PERT resheniya zadachi upravleniya proektami so sluchajnoj dlitel'nost'yu vypolneniya rabot [Critical analysis of the PERT method for solving the project management task with a random duration of work execution]. Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii, 2013. T. 51. no 1. pp. 20-24.
- 16. Hajdu M., Bokor O. Sensitivity analysis in Pert networks: does activity duration distribution matter? Automation in Construction, 2016, T. 65. pp. 1-8.
- 17. Hajdu M. Effects of the application of activity calendars on the distribution of project duration in PERT networks. Automation in Construction. 2013. T. 35. pp. 397-404.
- 18. Kalugin Yu.B. Universal method for calculation of reliable completion times. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 7. Pp. 70–80.
- 19. Bobrova T.V. *Proektno-orientirovannoe upravlenie proizvodstvom rabot na regional'noj seti avtomobil'nyh dorog* [Project-oriented management of the production of works on the regional network of highways]. Omsk: Izd-vo SibADI, 2006. 334 p.
- 20. Abdullaev G.I. Ocenka urovnya nadezhnosti s uchetom organizacionno-tekhnologicheskih parametrov stroitel'stva [Assessment of the level of reliability taking into account the organizational and technological parameters of construction]. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal, 2009, no 8, pp.62-64.
- 21. Abdullaev G.I. Osnovnye napravleniya povysheniya nadezhnosti stroitel'nyh processov [Main directions of increasing the reliability of construction processes]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, no 4, 2010, pp.59-60.
 - 22. Haga W., O'Keefe T. Crashing PERT net-

works: A simulation approach // Proc. of the 4th International conference of the Academy of Business and Administrative Sciences Conference. Quebec City, Canada. 2001.

- 23. Rukovodstvo po tekhnicheskomu normirovaniyu truda rabochih v stroitel'stve. [Guide to the technical regulation of labor in the construction industry]. Moscow, Strojizdat, 1977, 47 p.
- 24. Velichkin.V.Z. Upravlenie i nadezhnost' realizacii stroitel'nyh program [Management and reliability implementation of construction programs]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, no 7, 2014. pp. 74-79.
- 25. Abdulaev G.I., Velichkin V.Z. Soldatenko T.N. Povyshenie organizacionno-tekhnologicheskoj nadezhnosti stroitel'stva linejno-protyazhennyh sooruzhenij metodom prognozirovaniya otkazov [Increase of organizational and technological reliability of construction of linear-extended structures by the method of failure prediction]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2013, no 3. pp. 43-50.

Поступила 19.04.2018, принята к публикации 25.06.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Боброва Татьяна Викторовна (г. Омск, Россия) — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Экономика и проектное управление в транспортном строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail: bobrova.tv@gmail.com).

Ратанин Максим Сергеевич, магистрант, ИМА, СМ16-МА5 ФГБОУ ВО «Си-бАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail: maximratanin@yandex.ru).

Тимофеева Елена Павловна, магистрант, ИМА, СМ16-МА5 ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail: Elena-Zotov 9401@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bobrova Tatiyna Victorovna (Omsk, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Economics and Project Management in Transport Construction Department, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: bobrova.tv@gmail.com).

Ratanin, M.S. – Master of Science, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: maximratanin@yandex.ru).

Timofeeva, E.P. – Master of Science, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: Elena-Zotov 9401@mail.ru).

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Боброва Т.В. Формулирование цели, метод исследования, анализ источников, алгоритм расчета, редактирование и оформление статьи.

Ратанин М.С. Разработка графиков строительства, расчеты в MS Project.

Тимофеева Е.П. Разработка графиков строительства, расчеты в MS Project.

AUTHOR CONTRIBUTION

Bobrova T.V. Aim formulation, research method, source analysis, calculation algorithm, article editing and design.

Ratanin, M.S. Development of construction schedules, calculations in MS Project.

Timofeeva, E.P. Development of construction schedules, calculations in MS Project.