

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

© 2021

Н.А. Ермошин, доктор военных наук, профессор,
профессор Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург (Россия)
С.А. Романчиков, доктор технических наук, старший преподаватель
*Военная академия материально-технического обеспечения
имени генерала армии А.В. Хрулева, Санкт-Петербург (Россия)*

Ключевые слова: управление проектированием; транспортные сооружения; имитационная модель; эффективность; технологические схемы проектирования.

Аннотация: Техническая сложность, требования к безопасности эксплуатации, неопределенность условий строительства и функционирования обуславливают объективную необходимость совершенствовать организационно-технологические схемы проектирования объектов транспортной инфраструктуры. Разрабатываемые схемы и способы организации проектирования уникальных транспортных сооружений должны обеспечивать требуемое качество проектов при ограниченных объемах исходных данных и возможности корректировки проектных решений в процессе выполнения проектных заданий. Статья посвящена разработке методологического подхода к обоснованию организационно-технологических схем проектирования транспортных объектов с использованием имитационных моделей, обеспечивающего возможность моделирования работы проектных организаций с учетом динамики поступления исходной информации и ее неопределенности, итеративности и инерционности процессов разработки инновационных конструктивно-технологических решений, временных параметров создания и качества проектных разработок в зависимости от квалификации проектировщиков, инжиниринговых рисков и других стохастических факторов. Проведены теоретические исследования построения имитационной модели и алгоритма работы проектных организаций с применением теории детерминированных и стохастических графов «с возвратами». Получены зависимости качества и времени разработки проектных решений от квалификации проектировщиков и неопределенности исходной информации. Предложены методика преобразования информационно-логических схем работы проектных организаций в стохастические модели, процедуры генерации событий и имитации корректировки принятых решений, а также формирования проектных групп. На основании проведенных исследований установлено, что повышение надежности и безопасности уникальных транспортных сооружений может быть обеспечено посредством разработки организационно-технологических схем их проектирования, учитывающих неопределенность, динамический характер исходной информации и квалификацию проектировщиков.

ВВЕДЕНИЕ

Управление проектированием уникальных транспортных объектов требует разработки альтернативных вариантов концептуальных технических решений, применения нестандартных или специально разработанных методов расчета конструкций и конструктивных схем, построения крупномасштабных моделей транспортных сооружений, проведения дополнительных геодезических и инженерно-геологических изысканий, экспертизы на всех этапах разработки и учета других особенностей и условий строительства и эксплуатации таких сооружений [1; 2]. Многие из исходных данных для проектирования имеют вариативный, неопределенный и нестационарный характер. Стохастичность исходной информации для разработки проектных решений, сложность прогноза и динамика состава транспортных потоков, необходимость разработки нестандартных технических конструкций и технологических схем предъявляют высокие требования к квалификации проектировщиков, качеству работы проектных организаций, своевременности выполнения проектных задач [3; 4].

В теории управления дорожным строительством предложены информационно-логические схемы (ИЛС) как одна из разновидностей сетевых моделей [5; 6].

Однако они применяются в детерминированной постановке и не позволяют учесть изменения условий функционирования проектных организаций, в особенности при проектировании уникальных транспортных сооружений [7; 8].

Для оптимизации сроков разработки и повышения качества проектов уникальных транспортных сооружений необходимы вероятностные ИЛС. Стохастическое представление работы проектных организаций и их структурных подразделений (отделов и групп) на ИЛС должно учитывать как минимум три аспекта: структурный, динамический и стохастический. Первый из них обусловлен количеством структурных подразделений и организационно-технологическими связями между ними, а также между сотрудниками внутри этих подразделений по иерархическому, технологическому и функциональному признакам. Второй аспект определяется квалификацией проектировщиков и может быть учтен в обычной ИЛС.

Существование третьего класса стохастических воздействий объясняется тем, что в ходе разработки проекта возможно внесение коррективов в исходные данные для проектирования, задачи и способы выполнения проектных работ в зависимости от данных дополнительных изысканий, а также промежуточных результатов

и данных экспериментальных исследований на масштабированной модели уникального транспортного объекта [9; 10]. Это потребует корректировки или переработки ранее принятых проектных решений на различных этапах работы проектной организации. Иными словами, в такой ситуации необходим возврат с последующих этапов разработки конструктивно-технологических решений к предыдущим. Предлагаемая имитационная модель для процессов проектирования уникальных транспортных сооружений позволяет преодолеть указанные трудности, являясь одновременно дальнейшим развитием ИЛС.

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных повышению эффективности управления строительством транспортных сооружений [11; 12], вопросы обоснования организационной структуры, состава проектных организаций, организационно-технологических схем их работы, эффективности применения при проектировании различных систем автоматизированного проектирования и расчетно-графических комплексов нуждаются в дальнейших научных обоснованиях [13; 14].

Цель исследования – разработка методологического подхода к моделированию работы проектных организаций в условиях вероятностного характера исходной информации и квалификации проектировщиков.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для достижения целей исследования эффективности управления строительством уникальных транспортных объектов в работе использовались математические модели, основанные на сетевых алгоритмах [3; 12]. Их выбор обусловлен тем, что они позволяют:

- построить модель сложной системы как совокупности простых подсистем;
- составить формальные процедуры для определения характеристик эффективности системы;
- указать механизм взаимодействия элементов системы с целью описания последних в терминах ее основных параметров;
- находить наиболее эффективные решения при оптимизации организационной структуры и процессов функционирования проектных организаций в транспортном строительстве.

В целях разработки имитационной модели работы проектных организаций и их структурных подразделений использовались методы имитационного моделирования дискретно-событийного, процессного характера и информационных потоков [14–16].

Для обоснования методики преобразования детерминированных сетевых моделей и приведения к стохастической форме их представления применялись результаты исследований по теории графов [17].

Теоретические исследования по оценке влияния квалификации проектировщиков на качество и сроки разрабатываемой проектной документации выполнены на основе идеи математических методов многомерного шкалирования и измерения установок в социологии [18; 19]. При этом квалификация рассматривается как латентная (скрытая) переменная, которая является обобщением нескольких показателей (признаков).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Постановка задачи математического моделирования работы проектной организации по проектированию уникальных транспортных сооружений сводится к следующему.

Пусть имеется проектная организация, укомплектованная m должностными лицами (проектировщиками, сотрудниками) и состоящая из V структурных подразделений. Деятельность проектной организации по выполнению проектных работ включает n последовательных этапов (сбор исходных данных, рекогносцировочные обследования, анализ и прогноз транспортных потоков, проектные проработки с необходимым объемом инженерно-изыскательских работ, разработка способов внедрения принятых решений, технологий и т. д.). Продолжительность каждого i -го этапа ($i=1, \dots, n$) ограничена (задана) временем $\bar{t}_i$. Каждый j -й сотрудник ($j=1, \dots, m$) характеризуется уровнем профессиональной подготовленности (квалификации) Y_j^k , временем работы в занимаемой должности τ_j и временем работы в данной проектной организации τ'_j , которые определяют

качество и фактическую продолжительность работы j -го специалиста на i -м этапе выполнения проектных работ – t_{ji} . Укомплектованность проектной организации специалистами может быть полной или частичной. При частичной укомплектованности функции выбывших сотрудников (вакантные должности) передаются другим исполнителям, что приводит к увеличению t_{ji} тех работников, на которых возложены функции выбывших. В свою очередь, это ведет к дополнительным затратам времени на отработку этапов проектирования [20]. При выполнении проектных работ возможны ситуации, требующие корректировки или переработки ранее принятых конструктивно-технических и технологических решений. События, вызывающие отклонения подобного рода, характеризуются вероятностями P_{ie} . Критерием оценки эффективности проектной организации является вероятность разработки проекта с требуемым качеством в заданное время – $P(T\phi \leq T_3)$.

Структура модели достаточно проста и имеет блочный характер (рис. 1). Как видно из рис. 1, она включает в себя несколько самостоятельных блоков и строится по модульному принципу. Блоки 1, 2, 3, 6 могут использоваться автономно для решения частных задач (расчет уровня квалификации проектировщиков или сотрудников – блок 1, моделирование подбора исполнителей и их расстановка по должностям – блок 2, оценка эффективности проектной организации без учета корректировки отработанных этапов проектных работ – блок 3).

Алгоритм моделирования включает следующие этапы.

1. Первоначально работа проектной организации (отдела, проектной группы) представляется в виде ИЛС – графа $G(I_d, U_d)$, где I_d – множество вершин графа, U_d – множество его дуг. Каждая дуга (i, e) традиционно обозначается двумя событиями: начальным i и конечным e (каждое событие означает начало или завершение этапа выполнения проектных работ, длины дуг – продолжительность работы специалистов на этапах).

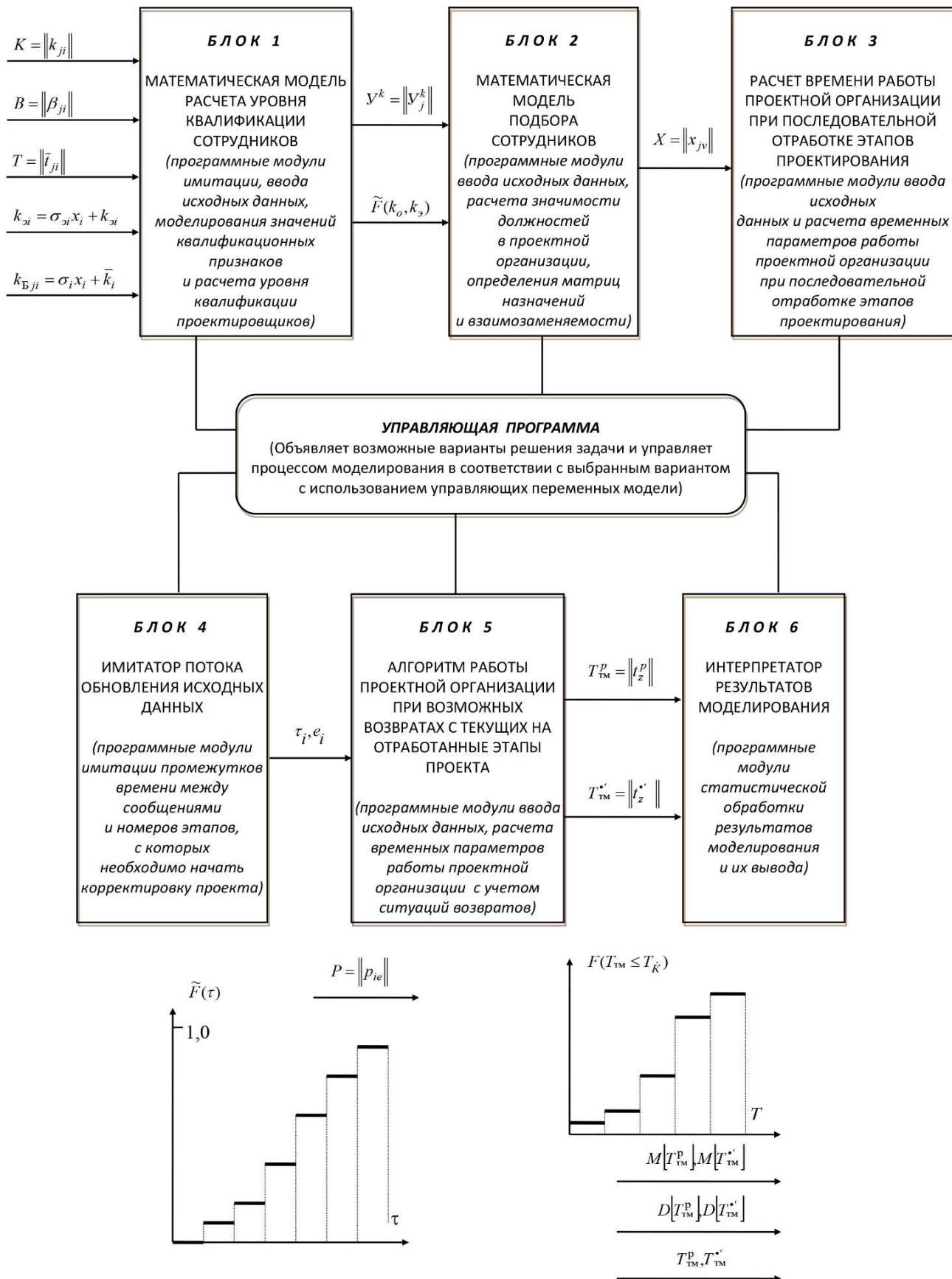


Рис. 1. Структура имитационной модели работы проектной организации

Построенный граф (рис. 2) преобразуется в матричную форму и представляется в виде матрицы $T = \|\bar{t}_{ij}\|$ порядка $m \times n$, где m – количество специалистов; n – число этапов работы проектной организации; $\bar{t}_{ji}$ – заданная продолжительность работы j -го сотрудника на i -м этапе.

2. Для учета влияния событий (изменений запланированного хода выполнения проектных работ), требующих

переработки или корректировки ранее принятых конструктивно-технических и технологических решений, ИЛС преобразуется в стохастический граф с возвратами [11]. Методика построения такого графа проиллюстрирована на рис. 3 и заключается в следующем.

Из множества вершин графа $G(Id, U_d)$ выделяются вершины b , откуда по тем или иным причинам возможны возвраты. Будем считать, что это конечные вершины отдельных этапов работы проектной организации (отдела, группы).

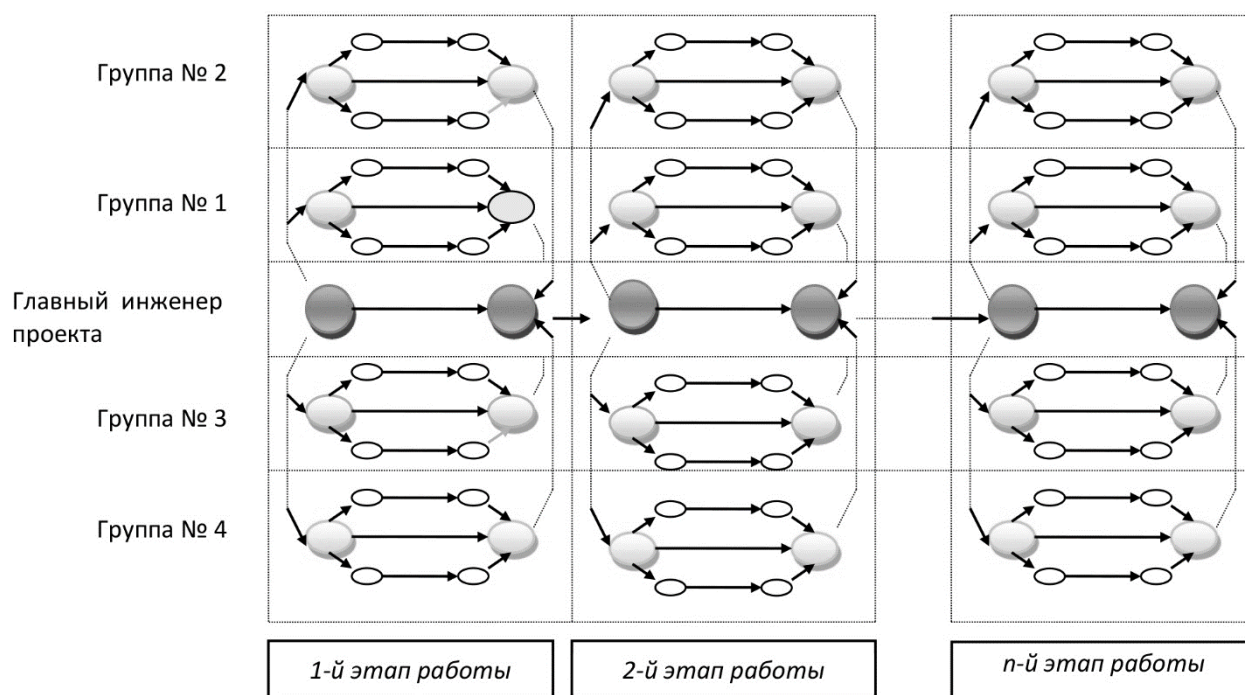


Рис. 2. Принципы построения сетевой детерминированной модели работы проектной организации

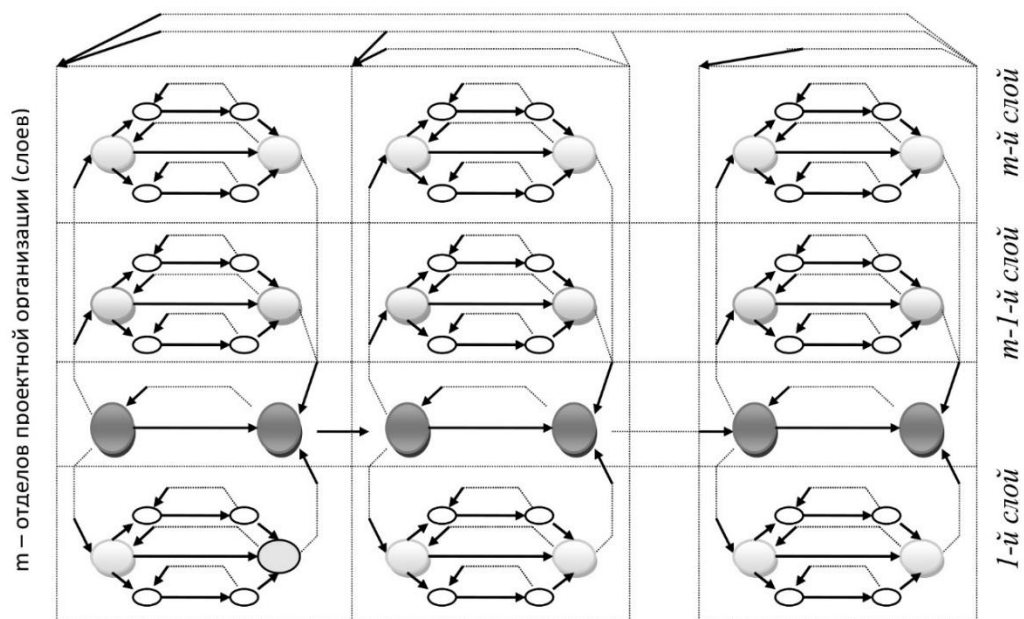


Рис. 3. Принципы построения сетевой модели работы организации, учитывающей возвраты с последующих на предыдущие этапы проектирования

После выделения множества вершин $\{b\} \in Id$, из которых возможен возврат при выполнении проектных работ, определяются исходы всех событий (различных изменений условий проектирования), порождающих возвраты для каждой вершины $b_i \in \{b\}$, т. е. для каждого b_i определяется множество вершин $\{e\} \in Id$, в которые возможен возврат.

Каждый из исходов изменений процесса разработки проекта, порождающих возвраты, может быть идентифицирован дугой возврата (b, e) . Другими словами, каждому случаю возврата соответствует дуга, соединяющая этап работы проектной организации (отдела, группы), из которого произошел возврат, и этап, с которого необходимо начать переработку. Ввиду того, что события, вы-

зывающие возвраты, неоднородны, из любой вершины b_i может исходить не одна, а несколько дуг возврата на различные этапы переработки (рис. 4), каждая из которых будет иметь свою вероятность реализации P_{be} .

Очевидно, что в подмножестве дуг возврата, исходящих из одной вершины, может быть организована логическая операция «или» в исключительном смысле (возврат возможен лишь в одну вершину графа), так как поток событий, вызывающих возвраты, ординарен.

Таким образом, формально граф G_o дополняется дугами возврата $\{(b, e)\}$ и преобразуется в стохастический граф $G(I_o, U)$, $U = U_o \cup \{(b, e)\}$, который в зависимости от целей и задач его анализа может быть укрупнен (агрегирован) до необходимого уровня.

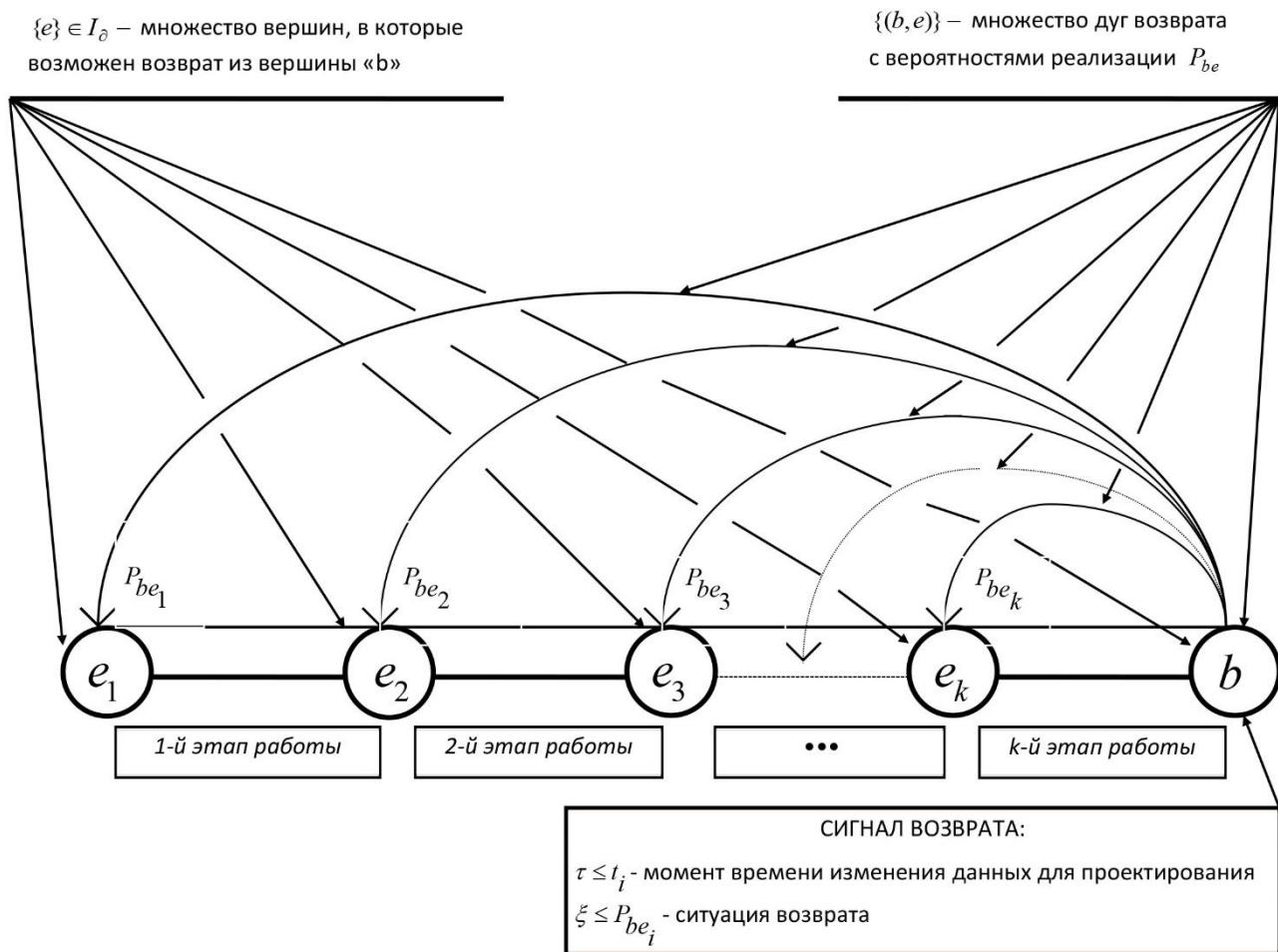


Рис. 4. Структура возможного комплекса возвратов с текущих на ранее пройденные этапы проектирования.
 Статистика для определения e -й вершины:

$$(e_1 = e_1 \vee e_2 \vee \dots \vee e_k),$$

$$\begin{pmatrix} e_1, e_2, \dots, e_n \\ P_{be_1}, P_{be_2}, \dots, P_{be_n} \end{pmatrix},$$

$$P_{ie} = a_{ie} / A, i \in \{b\},$$

где a_{ie} – число изменений, вызывающих возвраты из вершины i ;

A – число всех изменений по разработке проекта, поступающих в структурное подразделение проектной организации

Каждой дуге возврата (b, e) графа $G(I_0, U)$ ставится в соответствие подграф $G_{be} = G_e \cap G_b^{-1}$, дуги которого отображают работы, подлежащие переделке. Здесь G_e – граф, в вершины которого можно попасть, двигаясь из события по направлению дуг; G_b^{-1} – граф, в вершины которого можно попасть, двигаясь из b по дугам с обратной ориентацией.

Отличительной особенностью рассматриваемого графа является выполнение входящих в граф G_0 работ, которые соответствуют детерминированным дугам, причем некоторые из работ из-за возвратов могут выполняться неоднократно. Повторные работы по содержанию и затратам времени могут меняться, например, потому, что изменения хода выполнения проектных работ и исходных данных незначительны или исполнитель использует начальную информацию для уточнения проектного решения.

3. С помощью блока 1 моделируются численные значения показателей квалификации проектировщиков. Механизм моделирования этих показателей описан в работе [20].

В результате одной реализации получается вектор $UK = \|Y_j^k\|$ размерности m , компонентами которого являются уровни квалификации проектировщиков. При автономном использовании блока результатом моделирования является эмпирическая функция распределения случайной величины $Y_j^k - F(Y_j^k)$, которая дает возможность прогнозирования качества работы специалистов в проектной организации.

4. При необходимости (например, при подборе исполнителей, формировании проектных групп, исследовании эффективности работы отделов или проектной организации в целом) моделируется расстановка специалистов на должности (блок 2). Задача решается с использованием известной математической модели линейного программирования – задачи о назначениях [9]. Выходная информация представляется в виде матрицы назначений $X = \|x_{jv}\|$.

5. Определяется фактическое время работы проектировщиков на этапах разработки проекта t_{ji} с учетом показателей Y_j^k (блок 3). Результаты вычислений заносятся в матрицу $T = \|t_{ji}\|$, т. е. значениям $\bar{t}_{ji}$ присваиваются значения t_{ji} и определяется общее время выполнения проектных работ без учета их корректировки, которое составляет

$$T_\phi = t_1 + t_2 + \dots + t_i + \dots + t_n,$$

где t_i – максимальное время реализации i -го этапа выполнения проектных работ, при этом

$$t_i = \max\{t_{ji}\}.$$

6. Генерируются возмущающие воздействия, отражающие динамику разработки проектных решений и возможных изменений исходных данных и прогнозируемых промежуточных результатов (изменения запла-

нированного хода проектирования порождают возвраты с текущих на ранее пройденные этапы).

Имитатором внешних воздействий служит блок 4. В основу моделирования этого класса факторов положено основное свойство информации быть отображением материальных процессов. Носителями информации являются результаты экспериментальных исследований и изменения исходной информации, поступающие в процессе проектирования. Очевидно, что характер возврата (количество этапов, подлежащих переработке) зависит от содержания поступающей информации и момента ее поступления. В соответствии с этим блок имитации изменений хода выполнения проектных работ разделяется на два модуля: модуль имитации дискретного времени поступления информации и модуль имитации этапа, с которого необходимо начать переработку.

Процедура моделирования величины интервалов времени между поступлениями информации организована с помощью метода обратных функций по зависимости

$$\tau_i^{jb} = \frac{-1}{\lambda} \ln \xi_i,$$

где ξ_i – равномерно распределенное число в интервале $(0,1)$;

λ – интенсивность поступления сообщений (информации, требующей корректировки отработанных этапов проекта).

Таким образом, генерируется информационное сообщение, поступающее в проектную организацию (отдел, группу или отдельному исполнителю) в момент времени $t + \tau_i^{jb}$ (t соответствует текущему времени выполнения проектных работ).

Процедура моделирования этапа, с которого необходимо начать переработку в соответствии с поступившей информацией, состоит в определении его номера. Этому номеру ставится в соответствие значение дискретной случайной величины, заданной статистикой:

$$\begin{pmatrix} e_1, e_2, \dots, e_n \\ P_{be_1}, P_{be_2}, \dots, P_{be_n} \end{pmatrix}.$$

Численное значение P_{be_i} определяется частотностью поступления информации i -го вида, вызывающей возврат на i -й этап.

Считая, что информация об изменениях исходных данных для проектирования поступает в проектную организацию (отдел, группу или отдельному исполнителю) посредством информационных сообщений и полагая поступление каждого из них как равновероятные события, а также учитывая то, что статистика таких сообщений имеется, можно определить (спрогнозировать) P_{ie} для всех вершин $b_i \in \{b\}$.

Так,

$$P_{ie} = a_{ie} / A,$$

где aie – число информационных сообщений, вызывающих возврат из вершины bi в вершину e ;
 A – число всех информационных сообщений, поступающих в проектную организацию.

Особого пояснения требует механизм розыгрыша возвратов.

Пусть из вершины b_i имеется возможность возврата в предыдущие этапы $e1, e2, \dots, ek, \dots, ep$. P_{be_k} есть вероятность возврата из события b_i к ek .

Процедура моделирования возврата осуществляется с использованием «стандартного механизма розыгрыша» единичного жребия, согласно которому вершине bi ставится в соответствие последовательность равномерно распределенных на отрезке $[0, 1]$ случайных величин $\zeta_1^{b_i}, \dots, \zeta_k^{b_i}, \dots, \zeta_s^{b_i}$. При выполнении условия $\zeta_1^{b_i} < \zeta_k^{b_i} \leq \zeta_s^{b_i}$ происходит возврат в вершину ek .

Механизм моделирования весьма прост. Генерируется равномерно распределенное число $\zeta \in [0, 1]$ и определяется интервал $v+1$, в который это число попало из условия

$$\sum_{k=0}^v P_{ie_k} < \zeta \leq \sum_{k=0}^{v+1} P_{ie_k}, v = 0, \dots, s+1.$$

Для однородности записи принято $P_{ie_0} = 0, P_{ie_{s+1}} = q_b$

(здесь $q_b = 1 - \sum_{k=1}^s P_{ie_k}$ есть вероятность не возвратиться,

а пройти из события b_i в событие b_{i+1} . Очевидно, что при такой процедуре реализуется только одна дуга, которой соответствует вероятность $P_{be_{v+1}}$).

В результате однократного моделирования получаем частную реализацию стохастического графа – детерминированный граф G_0 , представляющий собой некоторую вероятностную копию функционирования проектной организации (отдела, группы).

7. Воспроизводится алгоритм расчета временных характеристик работы проектной организации (отдела, группы).

Вычислительная процедура T_ϕ строится на формировании строки R , характеризующей последовательность и кратность выполнения этапов $R = (R_1, R_2, \dots, R_n)$,

где $R_i = \begin{pmatrix} i \\ k_i \end{pmatrix}$ – двумерный вектор-столбец, у которого

первая компонента представляет собой номер этапа, а вторая – его текущую кратность.

Начиная с анализа исходных данных, последующие этапы работы проектной организации проводятся последовательно (как и в детерминированной ИЛС), и им приписывается кратность $k_i = 1$, т. е. строка имеет вид

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} 3 \\ 1 \end{pmatrix}, \dots$$

Процесс выполнения проектных работ продолжается монотонно до получения первого сигнала о возврате. Пусть на этапе b получен сигнал вернуться в этап e , где

$e < b$, тогда событию e присваивается кратность $k_e = 2$ и строка на этом шаге выглядит так:

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} b \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} b \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Далее осуществляется реализация подграфа с началом в e с присвоением повторно пройденным вершинам кратности $k_i = 2$. Процесс продолжается до получения следующего сигнала о возврате.

В итоге строка R дает полное представление о последовательности и кратности выполнения каждого этапа проектных работ и позволяет вычислить параметры работы проектной организации (время отработки этапов проекта).

$$T_{TM} = \sum_{i=1}^n \left(t_i + t_i \sum_{\eta=1}^{k_i-1} r_\eta \right),$$

где t_i – время выполнения i -го этапа выполнения проектных работ;

k_i – кратность выполнения i -го этапа;

r_η – коэффициент изменения параметра t_i при повторном выполнении этапа ($0 < r_\eta \leq 1$).

Величина r_η является случайной и определяется в предположении о равномерности ее распределения моделированием на полуинтервале $(0, 1)$.

8. Производится пробное число реализаций модели $W_{пр}$ ($W_{пр} = 50 \dots 100$) и проверка надежности временных параметров модели ($T_{TM}^p, T_{TM}^{\bullet}$) (блоки 5, 6). При неудовлетворительных оценках (доверительная вероятность $Pd < 0,95$) устанавливается необходимое число испытаний W и проводится W -кратное моделирование.

В отличие от существующих, предлагаемый подход к исследованию эффективности работы проектных организаций, их структурных подразделений и отдельных проектировщиков позволяет определить состав, подобрать сотрудников и определить требуемые сроки выполнения проектных работ с учетом штатной численности и оснащенности современными системами компьютерного проектирования и оборудованием для экспериментальных работ.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявлено, что детерминированная сетевая модель (ИЛС или традиционные алгоритмы работы проектных организаций) отражает процесс разработки проекта лишь в том идеальном случае, когда все этапы работы проектировщиков заканчиваются положительными исходами и возвратов на доработку (переработку) не происходит. Ситуации изменения динамики поступления и обновления исходных данных для проектирования и возврата к ранее отработанным этапам (например, с этапа проектирования опоры моста к этапу анализа исходных данных) эти модели не отражают. Возвраты могут значительно менять топологию сетевого графика, поэтому такие понятия, как критический путь и резервы, претерпевают значительную трансформацию.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании проведенных исследований установлено, что предлагаемый методологический подход позволяет определить состав и структуру проектных организаций. Применение разработанных процедур имитации работы проектных групп обеспечивает построение оптимальных организационно-технологических схем проектирования уникальных транспортных сооружений. Предложенные алгоритмы генерации исходных данных в процессе проектирования, сроков их поступления и разработки проектных решений позволяют исследовать влияние автоматизации на сроки разработки и качество разрабатываемых проектов строительства уникальных транспортных объектов; определять нормы времени на выполнение проектных работ высокой сложности; моделировать риски своевременной разработки проектной документации; оценивать эффективность работы проектных организаций по критериям оперативности, надежности, адаптивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров Н.В. Новый этап развития нормативной базы на дорожный асфальтобетон // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 2. С. 2–5.
2. Дмитриев И.И., Кириллов А.М. Теплофизические модели исследования и контроля дорожного покрытия // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 11. С. 25–46.
3. Ватин Н.И., Колосова Н.Б., Бердюгин И.А. Эффективность применения систем автоматического управления Accugrade в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 4. С. 29–35.
4. Болотин С.А., Вихров А.Н., Гладий Н.Я., Малкин М.М. Анализ несвоевременности выполнения работ с позиции теории нелинейных динамических систем // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 1. С. 33–38.
5. Палатинская И.П., Боровик С.И., Орлов А.А., Деметьева Е.С., Синяева В.А., Редькина Н.Е. Исследование влияния огнезащитных покрытий на свойства пенополистирола // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Т. 18. № 1. С. 47–52. DOI: [10.14529/build180104](https://doi.org/10.14529/build180104).
6. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г., Егшин А.М., Змеев А.Т. Управление инвестиционными и техническими рисками в дорожном строительстве. СПб.: ВАМТО, 2017. 210 с.
7. Telegina M.E., Barabash A.V., Naumova E.A., Zhuvak O.V., Lazarev Y.G. Predicted temperature dependence of the road surface on the air temperature in a variety of road-climatic zones of the Russian // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 11. С. 71–82.
8. Лазарев Ю.Г. Методологические аспекты планирования сети автомобильных дорог. СПб.: СПбГЭУ, 2018. 75 с.
9. Месропян А.В., Шарипов Р.Р. К вопросу об эффективности применения нечеткой логики в системах управления исполнительными гидроприводами //

Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2019. № 2. С. 49–56.

10. Gravit M.V., Serdjuk D., Vatin N., Lazarev Y.G., Yuminova M.O. Single burning item test for timber with fire protection // Magazine of Civil Engineering. 2020. Vol. 95. № 3. P. 19–30.
11. Исмаилов А.М., Лазарев Ю.Г. Качественные показатели российских битумных дорожных эмульсий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 8. С. 41–50.
12. Таха Х. Введение в исследование операций. В 2-х кн. Кн. 1. М.: Мир, 1985. 479 с.
13. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Математическая модель планирования дорожной сети минимального состава на множестве «взвешенных» графов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2018. № 3. С. 35–44.
14. Литвиненко А.Н. Экономическая и национальная безопасность: проблемы соотнесения понятий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2013. № 3. С. 9–15.
15. Кораблев Ю.А. Имитационное моделирование. М.: КНОРУС, 2017. 146 с.
16. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем. М.: Юрайт, 2020. 253 с.
17. Омельченко А.В. Теория графов. М.: МЦНМО, 2018. 416 с.
18. Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Кластерный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. С. 139–140.
19. Толстова Ю.Н. Измерение в социологии. М.: КДУ, 2007. 288 с.
20. Бирюков О.Р., Стройков В.А., Турищев М.А. Применение мостовых инвентарных конструкций гражданского производства при восстановлении мостов на ВАД // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. 2018. № 2. С. 83–88.

REFERENCES

1. Bystrov N.V. New stage in the development of the regulatory framework for road asphalt concrete. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*, 2017, no. 2, pp. 2–5.
2. Dmitriev I.I., Kirillov A.M. Thermophysical models of pavement research and control. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*, 2017, no. 11, pp. 25–46.
3. Vatin N.I., Kolosova N.B., Berdyugin I.A. Efficiency of use of systems of automatic control of Accugrade in construction. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*, 2013, no. 4, pp. 29–35.
4. Bolotin S.A., Vikhrov A.N., Gladiy N.Ya., Malkin M.M. Analysis of falling out of schedule possibilities when carrying out works from a position of nonlinear dynamic systems theory. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2008, no. 1, pp. 33–38.
5. Palatinskaya I.P., Borovik S.I., Orlov A.A., Demeteva E.S., Sintyaeva V.A., Redkina N.E. Study of influence of fire retardant coatings on expanded polystyrene properties. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitelstvo*

- i arkhitektura*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 47–52. DOI: [10.14529/build180104](https://doi.org/10.14529/build180104).
6. Ermoshin N.A., Lazarev Yu.G., Egoshin A.M., Zmeev A.T. *Upravlenie investitsionnymi i tekhnicheskimi riskami v dorozhnom stroitelstve* [Investment and technical risk management in road construction]. Sankt Petersburg, VAMTO Publ., 2017. 210 p.
 7. Telegina M.E., Barabash A.V., Naumova E.A., Zhuvak O.V., Lazarev Y.G. Predicted temperature dependence of the road surface on the air temperature in a variety of road-climatic zones of the Russian. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*, 2017, no. 11, pp. 71–82.
 8. Lazarev Yu.G. *Metologicheskie aspekty planirovaniya seti avtomobilnykh dorog* [Metological aspects of road network planning]. Sankt Petersburg, SPbGEU Publ., 2018. 75 p.
 9. Mesropyan A.V., Sharipov R.R. On the efficiency of fuzzy logic applications in hydraulic actuator control systems. *Vektor nauki Tolyatinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, no. 2, pp. 49–56.
 10. Gravit M.V., Serdjuks D., Vatin N., Lazarev Y.G., Yuminova M.O. Single burning item test for timber with fire protection. *Magazine of Civil Engineering*, 2020, vol. 95, no. 3, pp. 19–30.
 11. Ismailov A.M., Lazarev Yu.G. Quality indicators of Russian bitumen road emulsions. *Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy*, 2018, no. 8, pp. 41–50.
 12. Takha Kh. *Vvedenie v issledovanie operatsiy* [Introduction to operations research]. Moscow, Mir Publ., 1985. Kn. 1, 479 p.
 13. Ermoshin N.A., Lazarev Yu.G. Mathematical model of road network planning of minimal composition on a set of weighted graphs. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*, 2018, no. 3, pp. 35–44.
 14. Litvinenko A.N. Economic and national safety: problem of correlating concepts. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki*, 2013, no. 3, pp. 9–15.
 15. Korablev Yu.A. *Imitatsionnoe modelirovanie* [Simulation modeling]. Moscow, KNORUS Publ., 2017. 146 p.
 16. Boev V.D. *Imitatsionnoe modelirovanie system* [Simulation of systems]. Moscow, Yurayt Publ., 2020. 253 p.
 17. Omelchenko A.V. *Teoriya grafov* [Theory of graphs]. Moscow, MTsNMO Publ., 2018. 416 p.
 18. Oldenderfer M.S., Bleshfield R.K. Cluster analysis. *Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz*. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1989, pp. 139–140.
 19. Tolstova Yu.N. *Izmerenie v sotsiologii* [Measurement in sociology]. Moscow, KDU Publ., 2007. 288 p.
 20. Biryukov O.R., Stroykov V.A., Turishchev M.A. Use of bridge inventory constructions of civil production in restoration of bridges to wad. *Vestnik Voennoy akademii materialno-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V. Khruleva*, 2018, no. 2, pp. 83–88.

THE DEVELOPMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL DIAGRAMS FOR DESIGNING UNIQUE TRANSPORT FACILITIES USING SIMULATION MODELS

© 2021

N.A. Ermoshin, Doctor of Sciences (Military Sciences), Professor,
professor of Higher School of Industrial, Civil and Road Construction
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg (Russia)
S.A. Romanchikov, Doctor of Sciences (Engineering), senior lecturer
General A.V. Khrulev Military Academy for Logistics, St. Petersburg (Russia)

Keywords: design management; transport facilities; simulation model; efficiency; design technological diagrams.

Abstract: Technical complexity, service safety requirements, and uncertainty of building and functioning conditions cause the objective necessity to improve organizational and technological diagrams of designing transport infrastructure facilities. The developed schemes and methods of organization of projecting unique transport facilities should meet the required quality of projects at the limited value of initial data and the possibility to adjust the design solutions in the process of design tasks implementation. The paper deals with the development of a methodological approach to substantiating the organizational and technological diagrams for the design of unique transport structures using simulation models. This approach provides the possibility of modeling the work of design organizations, taking into account the dynamics of the input of initial information and its uncertainty, iteration and persistence of the processes of developing innovative design and technology solutions, time parameters of creation, and quality of project design depending on the designer skills, engineering risks, and other stochastic factors. The authors carried out the theoretical research of simulation model and design organizations functionality creation using the theory of deterministic and stochastic graphs with returns. During the study, the dependences of quality and design solution development time on the designer skills and initial information uncertainty are obtained. The authors propose the technique for transforming the information-logical schemas of design organizations work into stochastic models, the procedures of events generation and solution adjustment imitation, and the project groups' formation. The study identified that it is possible to improve the reliability and safety of the unique transport facilities through the development of organizational and technological design diagrams, which consider the uncertainty, initial data dynamic nature, and designer skills.