

УДК 69.002.5: 621.879

Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов

О.И. Недавний^{1, a}, С.В. Базилевич^{2, b}, С.М. Кузнецов^{3, c}

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет, пл. Соляная 2, Томск, Россия

²Омский государственный университет путей сообщения, пр. Маркса 35, Омск, Россия

³Новосибирский государственный университет путей сообщения, ул. Д. Ковальчук 191, Новосибирск, Россия

^akirpich@mail.tomsknet.ru, ^bbcv65@mail.ru, ^cksm56@bk.ru

Статья поступила 04.12.2012, принята 12.05.2013

Проектирование строительных процессов связано с необходимостью решения ряда организационно-технологических проблем. Одной из таких проблем является определение показателей надежности функционирования не только строительных бригад, но и транспортно-технологического потока в соответствии с запланированными параметрами. Это позволит наиболее достоверно прогнозировать сроки производства отдельных видов работ и их стоимость еще на стадии проектирования строительства жилого или промышленного комплекса. В статье предложен метод оценки организационно-технологической надежности смежных строительных и механизированных процессов. Ведущим процессом при выполнении строительно-монтажных работ являются машины и механизмы. Для успешного выполнения производственной программы строительной организации необходимо совместное надежное функционирование строительных бригад и транспортно-технологического потока. В статье определен показатель организационно-технологической надежности и степень риска участников инвестиционного процесса, а также дана оценка организационно-технологической надежности производства строительно-монтажных работ. Для оценки организационно-технологической надежности транспортно-технологического процесса авторами статьи предложена имитационная модель и введено понятие рассматриваемой надежности как вероятности достижения комплексом машин и механизмов конечной цели при выполнении проекта строительных работ. При этом процесс выполнения строительно-монтажных работ как в сфере гражданского строительства, так и в сфере промышленного строительства принимается как стохастическая система с множеством соподчиненных прямых и обратных связей. Классическая модель не рассматривается, так как существенным образом не соответствует реальным условиям строительства зданий и сооружений. Использование предлагаемого подхода к оценке организационно-технологической надежности бульдозеров при небольших доработках может быть распространено на любой тип техники и позволит получить численные значения оценки надежности, что весьма актуально при выборе не только типа техники, но и ее скоростных и грузовых характеристик.

Ключевые слова: организационно-технологическая надежность, имитационное моделирование, вероятностно-статистический подход, интегральный коэффициент напряженности, себестоимость производства работ.

Assessment of organizational and technological reliability of project construction

O.I. Nedavny^{1, a}, S.V. Bazilevich^{2, b}, S.M. Kuznetsov^{3, c}

¹Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2 Solyanaya st., Tomsk, Russia

²Omsk State Transport University, 35 Marksa av., Omsk, Russia

³Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 191 D. Koval'chuk st., Novosibirsk, Russia

^akirpich@mail.tomsknet.ru, ^bbcv65@mail.ru, ^cksm56@bk.ru

Received 04.12.2012, accepted 12.05.2013

The design of construction processes is connected with the necessity to solve a number of organizational and technological problems. One of such problems is determining the reliability indicators of performing not only the construction teams, but also the transport and technological workflow according to the planned parameters. It will allow forecasting most reliably the period of execution of works and their cost at the design stage of the house or industrial complex construction. In the article, the method to assess the organizational and technological reliability of the related construction and mechanized processes has been proposed. The leading process while executing construction and installation activities is machines and mechanisms. To successfully implement the construction organization's production program, the reliable co-functioning of the construction teams and the transport and technological workflow is necessary. In the article, the indicator of the organizational and technological reliability and the degree of risk of the investment process participants has been determined, and the assessment of the organizational and technological reliability of construction and installation activities has been given as well. To assess the organizational and technological reliability of the transport and technological process, the authors of the article have proposed the simulated model and the concept of the considered reliability as the probability to achieve the ultimate goal by the complex of machines and mechanisms has been introduced while executing the construction works project. Besides, the process of executing construction and installation activities in the sphere of both civil construction and industrial construction is considered as a stochastic system with a set of coordinated direct communication and feedback. Classical model is not considered as it

doesn't essentially correspond to the real building and construction conditions. The use of the proposed approach in the assessment of the organizational and technological reliability of bulldozers at performing additional work can be extended to any type of equipment and will allow obtaining the numerical values of the reliability assessment that is very urgent when choosing not only the type of equipment, but also its speed performance and cargo characteristics.

Keywords: organizational and technological reliability, simulated modeling, stochastic approach, integral intensity factor, cost of work production.

Введение. В настоящее время вопросы повышения организационно-технологической надежности (ОТН) на основе определения с учетом организационных и технологических факторов оказывают большое влияние на эффективность строительного производства, а методы управления этими факторами приобретают особую актуальность.

Отсутствие методик учета вероятностного характера строительного производства приводит к снижению надежности организационно-технологических и управленческих решений в отрасли. При этом особенностью данных работ является единство процесса возведения объектов при структурном обособлении организаций. В связи с этим строительные организации заинтересованы в принятии проектировщиками эффективных решений, способствующих повышению ОТН в проектировании и строительстве. Под ОТН понимается способность технологических, организационных, управленческих решений обеспечивать достижение заданного результата строительного производства в условиях случайных возмущений, присущих строительству как сложной стохастической системе. Значение показателя ОТН во многих методиках представляет собой оценку вероятности выполнения проекта в установленный срок. Практика показывает, что в основу разработки принципов и методов ОТН проектирования должен быть заложен вероятностно-статистический подход.

Постановка задачи. При определении ОТН в процессе проектирования необходимо разрабатывать такие строительные программы, которые обеспечивали бы ритмичность работы строительного-монтажных организаций при соблюдении расчетных сроков ввода объекта в эксплуатацию. В соответствии с этим ниже рассмотрены подходы для определения организационно-технологических решений смежных строительных и механизированных процессов единого комплексного строительного-монтажного процесса.

Методика исследования. Для определения показателя ОТН и степени риска участников инвестиционного процесса проведены исследования на примере генподрядных строительных организаций города Омска (базовая организация ОАО «Омкстрой»). При планировании и реализации годовой производственной программы строительной организации использовались методы и модели сетевого планирования и управления строительством. В качестве базового принимался поточный метод, которым обеспечивается планомерная, непрерывная и ритмичная работа исполнителей [1 – 4].

Для ОАО «Омкстрой» составлялись сетевые графики на возведение каждого объекта годовой программы с учетом принципов поточного выполнения всей программы. В качестве примера рассматривался сетевой график строительства 7-9-этажных жилых домов. В качестве номенклатуры работ принимался унифициро-

ванный перечень строительного-монтажных работ, принятый в практике жилищного строительства.

Решение задачи. Определение показателя ОТН проектирования и степени риска участников инвестиционного цикла в процессе реализации проекта выполняется в следующей последовательности.

1. Определяется перечень видов работ с указанием их кода, фактической продолжительности, резерва времени, трудоемкости, устанавливаются оптимистические и пессимистические оценки работ.
2. Строится сетевой график.
3. Рассчитываются коэффициенты напряженности по каждому отдельному пути сетевой модели (1).
4. Рассчитывается интегральный коэффициент напряженности по сетевому графику в целом через весовой коэффициент. В качестве весового коэффициента принимается трудоемкость выполнения работ (2).
5. Определяется вероятность выполнения работ в договорные сроки по методу А.А. Гусакова, основанному на учете только работ критического пути и степени риска участников инвестиционного цикла (3, 4).

$$K_{nij} = \frac{t[L_{\max}] - t'[L_{kp}]}{t[L_{kp}] - t'[L_{kp}]}, \quad (1)$$

где $t'[L_{kp}]$ – продолжительность пути $t[L_{\max}]$, совпадающего с критическим путем; $t[L_{kp}]$ – продолжительность критического пути; $t[L_{\max}]$ – продолжительность максимального пути, проходящего через данную работу.

$$\sum K_{взв} = \frac{K_1 \cdot T_1}{\sum T_i} + \frac{K_2 \cdot T_2}{\sum T_i} + \dots + \frac{K_i \cdot T_i}{\sum T_i}, \quad (2)$$

где K_i – коэффициент надежности i -й работы; T_i – трудоемкость i -й работы; $\sum T_i$ – общая трудоемкость.

Полученные расчетные данные говорят о том, что выполнить работы в договорной срок невозможно, т. к. $\sum K_{взв}$ должен находиться в пределах от 0,35 до 0,5 (данные исследования И.М. Разумова).

Для расчета показателя организационно-технологической надежности использованы метод, основанный на учете только работ критического пути, и закон усеченного нормального распределения времени выполнения работ, т. к. в качестве расчетного принимается только пессимистическая временная оценка $R_{k_{in}}$, которая определяется как:

$$P_{k_{in}} = \frac{t_{\phi_{in}}}{t_{n_{in}}}, \quad (3)$$

где I, n – код работы, лежащей на критическом пути; $t_{\phi_{in}}$ – фактическое время выполнения работ (в днях); $t_{n_{in}}$ – пессимистическая оценка времени выполнения

работ (в днях).

Для принятых объектов жилых домов расчетные значения составили:

$$P_{1-6} = \frac{101}{110} = 0,92; \quad P_{6-7} = \frac{32}{42} = 0,76;$$

$$P_{7-8} = \frac{105}{112} = 0,94.$$

Вероятность выполнения строительно-монтажных работ в заданный срок, характеризующая надежность организационно-технологического проектирования, определится по формуле:

$$P_{kin} = P_{k1-6} \cdot P_{k6-7} \cdot P_{k7-8}. \quad (4)$$

$$P = 0,92 \cdot 0,76 \cdot 0,94 = 0,66$$

Из расчета можно сделать вывод, что вероятность выполнения работ в договорные сроки, или организационно-технологическая надежность, составит 66 %.

На основании проведенных исследований разработана модель определения оптимальной надежности организационно-технологического проектирования различных типов жилых домов по критерию достижения максимальной прибыли подрядной строительной организации. Сущностью модели является установление границ ОТН, при которых прибыль может получать плюсовые, минусовые и нулевые значения, в зависимости от снижения расчетного уровня надежности, с учетом баланса затрат на восстановление надежности и оплаты штрафов при невыполнении таковых.

ОТН дает возможность оценивать сформированные календарные планы строительства объектов не только с точки зрения качества организационно-технологических характеристик, но и с точки зрения риска их достижения. При возведении объектов большее значение имеет рациональное применение строительных машин. От эффективного использования машин в значительной степени зависит организационно-технологическая надежность строительства объектов.

Критерием оценки ОТН работы строительных машин может быть любой показатель, находящийся в выборке, в т. ч. производительность, продолжительность работ, энергоемкость, стоимость единицы продукции, прибыль и т. д. Основным показателем для оценки эффективности работы комплексов машин предлагается считать себестоимость производства работ.

Одним из основных факторов ОТН работы строительных машин является уровень их использования по времени. Для оценки ОТН работы строительных машин в Сибирском государственном университете путей сообщения создана база данных по результатам натуральных испытаний экскаваторов, земснарядов, бульдозеров и др. [5].

Для доказательства обоснованности значений базы данных по результатам натуральных испытаний проводился два этапа верификации:

- *логическая* – по замечаниям наблюдателя из рядов исключаются значения, не относящиеся к нормируемому процессу;
- *математическая* – с помощью методов мате-

матической статистики определяют правомерность отклонений.

После формирования выборки в соответствии с ГОСТ 8.207-76 определяется ее принадлежность закону нормального распределения и строится кривая нормального распределения.

Известно, что если площадь, ограниченную кривой нормального распределения, принять за 1 или 100 %, то можно рассчитать площадь, заключенную между кривой и любыми двумя ординатами. Организационно-технологический риск (в процентах) не достижения рассматриваемым комплексом (комплексом, отдельной машиной) производительности x_m рассчитывается по следующей формуле:

$$ОТР = \frac{100}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{x_m} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (5)$$

где x – производительность комплекса; \bar{X} – средняя арифметическая производительность комплекса; σ – среднее квадратическое отклонение производительности комплекса; π – постоянное число; e – основание натурального логарифма.

Тогда ОТН достижения рассматриваемым комплексом производительности x_m в процентах рассчитывается по формуле:

$$ОТН = 100 - ОТР. \quad (6)$$

В базе данных [5] хранится информация об использовании бульдозеров по времени по месяцам и годам. В результате обработки статистической информации (при ежемесячных данных о работе бульдозеров) с помощью программы «Sample» получено: средневзвешенная величина коэффициента использования бульдозеров по времени составила 65,97 %, стандартное отклонение – 7,09 %, и вычисленное значение критерия Пирсона (7,89) меньше табличного значения (15,49) – значит, выборка подчиняется закону нормального распределения. В результате обработки ежегодной статистической информации по использованию бульдозеров получено: средневзвешенная величина коэффициента использования бульдозеров по времени составила 65,65 %, стандартное отклонение – 3,17 %, и вычисленное значение критерия Пирсона (1,36) меньше табличного значения (11,04) – значит, выборка подчиняется закону нормального распределения. Анализ работы бульдозеров показал, что коэффициент их использования по времени в рассматриваемой организации составляет приблизительно 66 %, а отклонение средневзвешенного коэффициента использования по времени при ежегодной отчетности составляет ± 10 % и ± 21 % при ежемесячной отчетности. По разработанным аналитическим моделям можно, при заданной организационно-технологической надежности, определить производительность бульдозера и стоимость разработки им 1000 м³ грунта. Например, при ОТН = 60 % требуется определить производительность бульдозера. На рис. 1б находим ОТН, равную 60 %, и соответствующую ей производительность машины – 25,7 м³/ч.

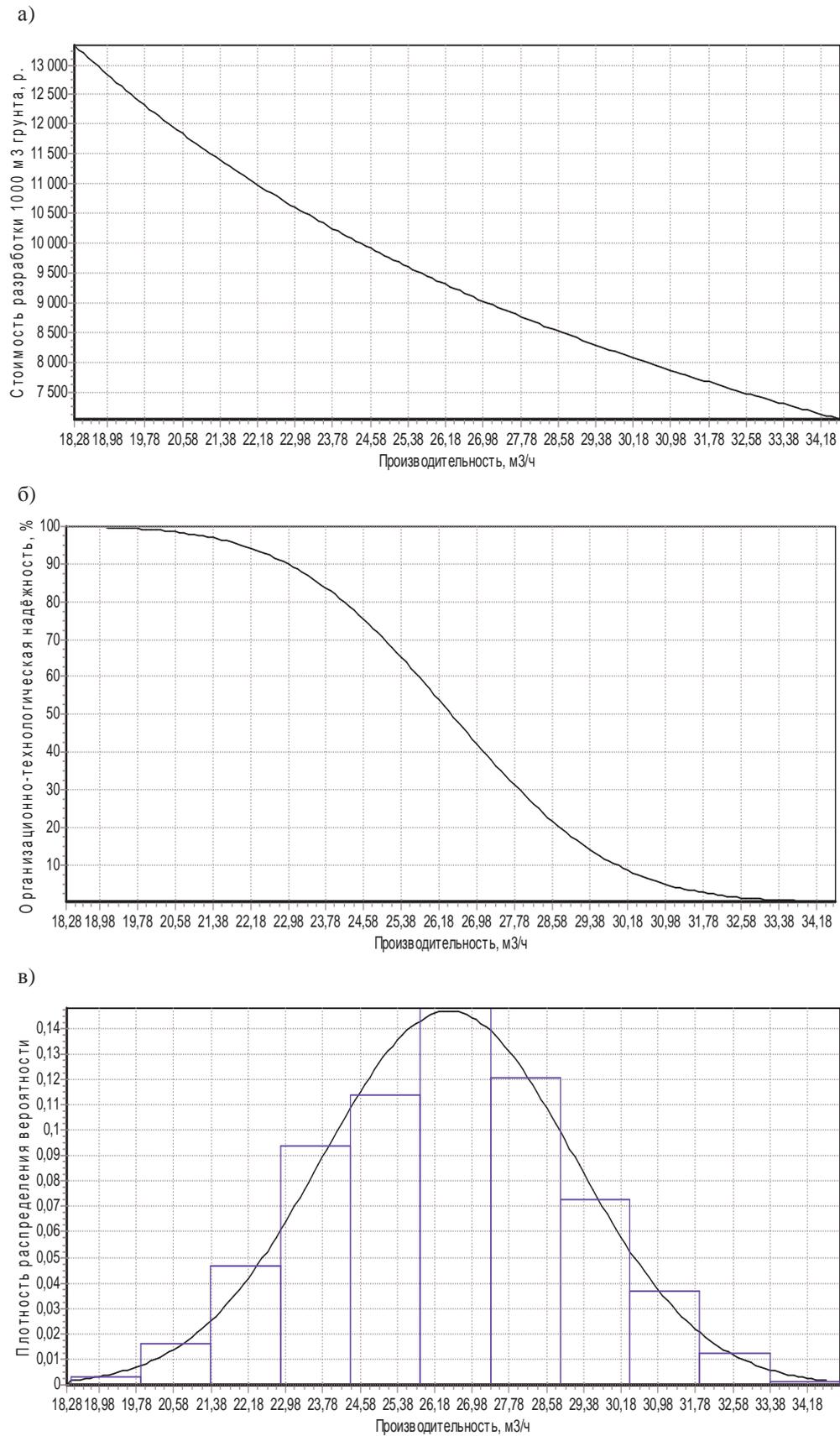


Рис. 1. Пример форматов ОТН: зависимости стоимости (а), организационно-технологической надежности (б), плотности распределения вероятности от производительности (в) при работе бульдозеров на базе тракторов Т-130 при производстве работ способом гидромеханизации

Организационно-технологическую надежность работы комплекса машин следует определять по формуле:

$$OTN = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} OTN_i \cdot t_i \cdot n_i}{N \cdot t_{дир}}, \quad (7)$$

где N – количество комплектов в комплексе машин; t_i – темп строительства i -го комплекта; $t_{дир}$ – темп строительства комплекса.

Требуемая ОТН работы i -го комплекта в процентах должна удовлетворять следующему условию:

$$OTN_i^{тр} \geq 50 \cdot \frac{t_{дир}}{t_i}. \quad (8)$$

Для автоматизации прогнозирования продолжительности, стоимости строительства объектов, ОТН календарного планирования, прибыли строительной организации и других показателей разработаны имитационная модель потока и соответствующее программное обеспечение «Impotok» [6]. Под имитационным моделированием понимается воспроизведение процессов, происходящих в строительной системе, с искусственной имитацией величин, от которых зависят эти процессы, с помощью датчика случайных чисел. Алгоритм расчета показателей строительства объектов составлен с использованием метода Монте-Карло.

С помощью имитационной модели потока проанализировано влияние возможных изменений времени выполнения отдельных работ на общую продолжительность строительства объекта в целом, на изменение сметной стоимости строительства, прибыли строительной организации с учетом организационно-технологической надежности строительства. В качестве примера рассматривалось строительство объектов годовой программы ОАО «Омкстрой».

Кроме того, разработано методическое, математическое и программное обеспечение для автоматизации обоснования очередности и сроков строительства объектов годовой программы строительной организации – «Potok» [6]. Программное обеспечение «Potok» позволяет определить оптимальную очередность возведения объектов и рассчитать минимально возможный срок строительства. Для оптимального варианта очередности включения объектов в поток с целью более наглядного представления полученного решения в программе строятся циклограмма и график освоения сметной стоимости.

Выводы

1. При заключении договоров подряда необходимо распределение риска между участниками инвестиционного проекта, чтобы была возможность диверсифицировать ущерб в соответствии с возможностями организаций по управлению риском и финансовой компетенции последствий их проявления. Распределение риска осуществляется на стадии согласования взаимоотношений и закрепляется в договоре.

Для реализации задачи, с помощью которой возможна оптимизация строительных процессов при возведении объектов, может быть использован предлагаемый подход, при котором ОТН определяется алгоритмами поиска вероятностных отклонений параметров строительных потоков в сетевой структуре строительных работ.

2. Для реализации задачи по оптимизации организационно-технологических решений может быть использован предлагаемый подход, при котором учет надежности работы комплексов, комплектов и отдельных машин позволяет с большей обоснованностью планировать их ритмичную работу, точнее определять время (сроки, длительность) производства строительного-монтажных работ, что сказывается на снижении стоимости и повышении качества строительной продукции.

Литература

1. Базилевич С.В., Чулкова И.Л., Кузнецов С.М., Сироткин Н.А. Повысим надёжность строительства объектов // Механизация строительства. 2009. № 6. С. 12 – 14.
2. Пермяков В.Б., Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности работы строительных машин // Там же. 2008. № 11. С. 24 – 29.
3. Кузнецов С.М. Маслов И.А., Суворов А.Д., Ячменьков С.Н. Оценка надежности организационно-технологических решений в строительстве // Транспортное строительство. 2007. № 1. С. 26 – 27.
4. Сироткин Н.А., Кузнецов С.М., Перцев В.П. Оптимизация продолжительности строительства объектов // Транспортное строительство. 2007. № 5. С. 16 – 17.
5. Лизунов Е.В., Седов В.А., Кузнецов С.М. Организационно-технологическая надёжность строительных машин // Механизация строительства. 2005. № 10. С. 22 – 24.
6. Сироткин Н.А., Кузнецов С.М. Оптимизация потока: программа для ЭВМ. Св. отраслевой регистрации разработки № 6686. Зарег. 14.08.2006.

References

1. Bazilevich S.V., Chulkova I.L., Kuznetsov S.M., Sirotkin N.A. Let's increase project construction reliability // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2009. № 6. S. 12 – 14.
2. Permyakov V.B., Kuznetsov S.M. The assessment of organizational and technological reliability of the building machines operation // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2008. № 11. S. 24 – 29.
3. Kuznetsov S.M., Maslov I.A., Suvorov A.D., Yachmen'kov S.N. The assessment of organizational and technological decisions in construction // Transportnoye stroitel'stvo. 2007. № 1. S. 26 – 27.
4. Sirotkin N.A., Kuznetsov S.M., Pertsev V.P. Optimization of the project construction duration // Transportnoye stroitel'stvo. 2007. № 5. S. 16 – 17.
5. Lizunov E.V., Sedov V.A., Kuznetsov S.M. organizational and technological reliability of the building machines // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2005. № 10. S. 22 – 24.
6. Sirotkin N.A., Kuznetsov S.M. 6 Stream Optimization: programma dlya EVM. Sv. Otrasleyvoy registratsii razrabotki № 668. Zareg. 8.14.2006.