

О. А. Симонова¹, О. А. Гнездилова²

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА СТРОИТЕЛЬСТВА МОСТА

Аннотация. Одним из показателей эффективности организации строительного производства является организационно-технологическая надежность, которая определяет своевременность выполнения работ с заданной вероятностью, и получение запланированного результата в условиях вероятностного характера работ. Наиболее приемлемой моделью для отражения вероятностных строительных процессов является сетевой график, позволяющий показать взаимосвязи работ и выявить критический путь, определяющий срок строительства объекта.

В статье приведены результаты оценки надежности организационно-технологических решений при проектировании комплекса работ по сооружению моста на участке железнодорожной линии методом статистических испытаний.

Проведенные расчеты позволяют сделать следующий вывод: при принятой технологии работ и оснащении трудовыми и техническими ресурсами обеспечить требуемый уровень надежности календарного плана строительных работ можно только за счет создания временной избыточности, которая обеспечит дополнительное время на принятие рационального управленческого решения или резерв времени, необходимый для восстановления функционирования потока в случае отказа.

Ключевые слова: организационно-технологическая надежность, сетевой график, имитационное моделирование, метод Монте-Карло.

О. А. Simonova¹, O. A. Gnezdilova²

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF BRIDGE CONSTRUCTION SCHEDULE

Abstract. Organizational and engineering reliability is one of the main indicators of the efficiency of construction organizational process, which determines the timeliness of work with a given probability, and obtaining the planned result in the conditions of the probabilistic nature of the work. The most suitable model for reflecting probabilistic construction processes is a network schedule that shows the correlation of works and allows to identify a «critical path» that determines the construction period of the facility.

The article presents the results of assessment of reliability of organizational and engineering solutions when designing a complex of works on construction of a bridge on a section of a railway line by method of statistical tests. The calculations make it possible to draw the following conclusion: the accepted work engineering and equipping with working and technical resources, make it possible to ensure the required level of reliability of the construction schedule only by creating temporary redundancy, which will provide additional time for making a rational management decision or a reserve of time necessary to restore the functioning of the flow in case of failure.

Keywords: organizational and engineering reliability, network schedule, stimulation modelling, the Monte Carlo Method.

Введение

Одним из показателей эффективности организации строительного производства является организационно-технологическая надежность, которая определяет своевременность выполнения работ с заданной вероятностью, и определяет получение запланированного результата в условиях вероятностного характера работ.

При проектировании организации строительства железных дорог выбирается организационно-технологическая схема строительства, устанавливающая сроки начала и окончания всех видов работ. Одним из ведущих и определяющих срок строительства видов работ при сооружении железных дорог является устройство верхнего строения пути. Для ритмичного ведения работ по укладке пути необходимо завершить работы по строительству искусственных сооружений. Исходя из этого, в процессе разработки проекта организации строительства

железных дорог, одной из важнейших задач является оценка и прогнозирование продолжительности строительства мостов.

Оценка надежности критического пути

Одним из основных документов в составе проекта организации строительства является календарный график строительства, который моделирует процесс строительных работ и может быть представлен в линейной (линейный график Ганта или циклограмма) или сетевой формах. Сетевая модель позволяет показать взаимосвязи работ, выявить критический путь, определяющий срок строительства, и учесть вероятностный характер строительных процессов.

Для определения продолжительности строительства трехпролетного моста разработана сетевая модель, приведенная на рис.1, в которой при расчете продолжительности строительных работ использован детерминированный подход (на основе существующей нормативной базы ГЭСН). Как видно из рис.1, общий срок строительства моста составил 554 дня.

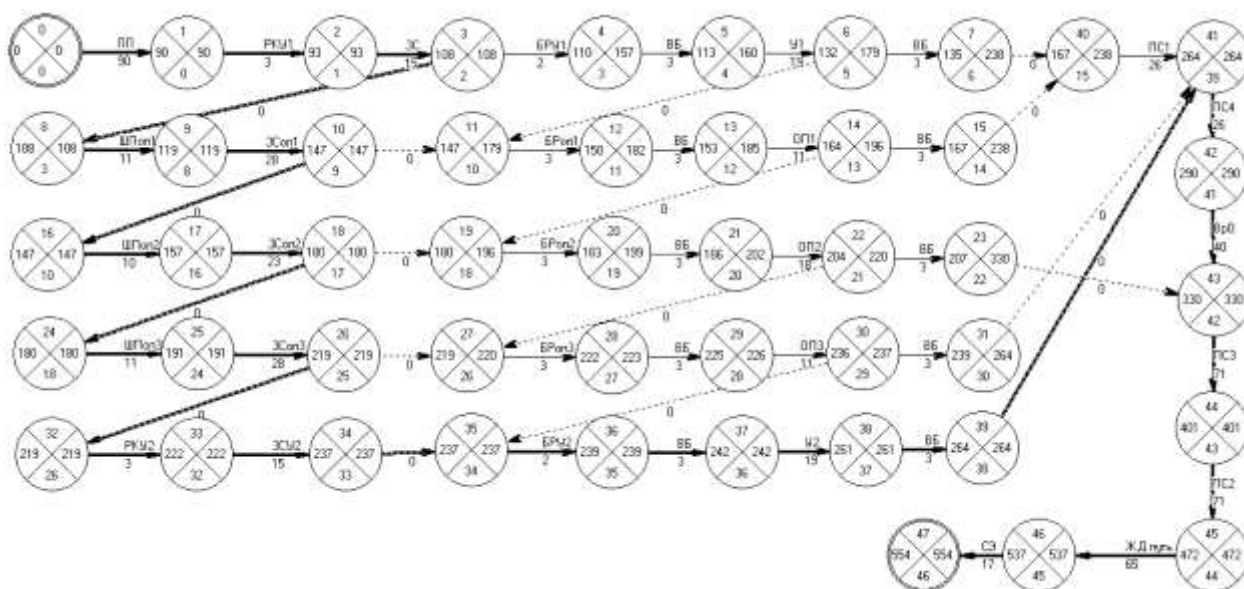


Рис. 1. Детерминированный сетевой график строительства моста

Условные обозначения, принятые на графике: ПП – подготовительный период строительства; РК – рытье котлована; ЗС – забивка свай; ВБ – выдержка бетона; У – сооружение устоя; ШП – забивка шпунта; ОП – сооружение опоры; БР – бетонирование ростерка; ПС – сооружение пролетного строения; ВрО – сооружение временной опоры; ЖД путь – устройство железнодорожного пути; СЭ – подготовка к сдаче в эксплуатацию.

Для прогнозирования продолжительности строительства моста с целью учета влияния случайных факторов на процесс производства работ используем вероятностную сетевую модель, учитывая, что продолжительности отдельных работ подчиняются закону β -распределения со стандартным отклонением, равным 1/6 диапазона. Для каждой работы были заданы три временные оценки: оптимистическая (T_0), наиболее вероятная ($T_{нв}$) и пессимистическая (T_n) и определена ожидаемая продолжительность работ по формуле:

$$T_{ож} = \frac{T_0 + 4T_{нв} + T_n}{6} \quad (1)$$

Одним из основных методов анализа сетевых моделей со случайными продолжительностями работ является метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), позволяющий имитировать вероятностные процессы с применением аппарата случайных чисел. Для этого продолжительности отдельных работ определены по формуле, предложенной в работе [4]:

$$T_{имит} = T_{ож} + \sigma \cdot \gamma \quad (2)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение продолжительности работы от ожидаемой;
 γ – нормированные случайные отклонения (в долях от среднеквадратического отклонения).

В основе метода Монте-Карло лежит многократное проигрывание строительных процессов на сетевой модели с целью получения как можно большего числа значений продолжительности работ. Имитационное моделирование было реализовано с использованием таблиц Microsoft Excel, для генерации случайных величин использована функция «СЛУЧМЕЖДУ». Проведя 300 реализаций сетевой модели, были получены значения продолжительности критического пути сетевой модели, по результатам реализаций построена гистограмма распределения случайной величины (продолжительности строительства) (рис.2).



Рис.2. Гистограмма и функция плотности вероятности

По форме гистограммы можно предположить, что продолжительность критического пути подчиняется нормальному закону распределения. Для обработки результатов имитационного моделирования были применены статистические методы [2], результаты приведены в табл.1. Оценка близости распределения выборки полученных данных к нормальному закону распределения выполнена с использованием критерий согласия Пирсона. При числе степеней свободы $\nu = 7$ и уровне значимости $\alpha = 0,05$ (95%) критерий Пирсона составил 10,8 при табличном значении 14,1 [2], отсюда следует, что продолжительность критического пути подчиняется нормальному закону распределения.

Таблица 1

Статистический ряд продолжительности критического пути

Интервалы продолжительности критического пути, дн	524 - 550	550 - 576	576 - 602	602 - 628	628 - 654	654 - 680	680 - 706	706 - 732	732 - 758	758 - 784
Число наблюдений в данном интервале	8	36	43	58	73	43	24	10	3	2
Относительная частота попадания в интервал	0,03	0,12	0,14	0,19	0,24	0,14	0,08	0,03	0,01	0,01
Математическое ожидание, дн	628									
Среднее квадратическое отклонение, дн	45									

Для обоснования планового срока строительства необходимо выполнить оценку надежности календарного графика строительства. Вероятность выполнения комплекса работ за установленный на детерминированной сетевой модели срок может быть определена по формуле [3]:

$$P(T_d \leq T_{кр}) = \Phi \left(\frac{T_d - T_{кр}}{\sqrt{\sum \sigma^2}} \right), \quad (3)$$

где T_d – продолжительность критического пути сетевого графика, рассчитанного с использованием детерминированного подхода;

$T_{кр}$ – продолжительность критического пути, полученная в результате имитационного моделирования;

σ^2 – дисперсия продолжительности критического пути.

По мнению академика А.А. Гусакова [1] рациональное значение показателя организационно-технологической надежности находится в диапазоне от 0,5 до 0,7. Показатели более 0,7 свидетельствуют об избыточной надежности, а менее 0,5 – об угрозе срыва проекта.

Вероятность выполнения работ по строительству моста за 554 дня (детерминированная продолжительность критического пути) составила:

$$P(554 \leq 628) = \Phi \left(\frac{554 - 628}{\sqrt{1037}} \right) = \Phi(-2,3) = 0,011.$$

Следовательно, своевременно завершить процесс строительства моста при учете вероятностного характера работ маловероятно.

Повышение организационно-технологической надежности календарного графика до 0,6 возможно увеличением срока выполнения работ до 636 дней.

Заключение

Проведенные расчеты позволяют сделать следующий вывод: при принятой технологии работ и оснащении трудовыми и техническими ресурсами обеспечить требуемый уровень надежности календарного плана строительных работ можно только за счет создания временной избыточности, которая обеспечит дополнительное время на принятие рационального управленческого решения или резерв времени, необходимый для восстановления функционирования потока в случае отказа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусаков А.А., Ильин Н.И. Организационно-технологическая надёжность строительства. М.: Стройиздат, 1984. 169 с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2002. 479 с.
3. Хрусталеv Е.Ю., Ларин С.Н. Анализ методов сетевого планирования и управления для формирования программ воспроизводства жилищного фонда // Экономический анализ: теория и практика. 2011. №23(230). С. 59–66.
4. Шалягин Г.Л., Потапова И.В. Организационно-технологическая надёжность строительства: метод. пособие для проведения практ. занятий. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. 52 с.

REFERENCES

1. Gusakov A.A. Il'in N.I. Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost' stroitel'stva [Organizational and engineering reliability of construction]. Moscow: Sroyizdat, 1984. 169 p.
2. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika: Ucheb. Posobie dlya vuzov [Theory of Probability and Mathematical Statistics: Textbooks for higher education.]/ M.: Higher education, 2002. 479 p.
3. Hrustalev E.Yu., Larin S.N. Analiz metodov setevogo planirovaniya i upravleniya dlya formirovaniya program vosproizvodstva zhilishnogo fonda [Analysis of network planning and management methods for housing stock reproduction programmes]. *Ekonomicheski' analiz: teoriya i praktika* [Economic Analysis: theory and practice], 2011, No. 23(230), pp. 59–66.

4. Shalyagin G.L., Potapova I.V. Organizatsionno-tehnologicheskaya nadezhnost' stroitel'stva: metod posobie dlya provedeniya prakticheskikh zanyati' [Organizational and engineering reliability of construction: method. manual for practical exercises]. Habarovsk : Publishing house DVGUPS, 2006. 52 p.

Информация об авторах

Симонова Ольга Алексеевна - студентка группы СЖД.1-17-1, факультет «Строительство железных дорог», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olgasimonova-99@mail.ru

Гнездилова Ольга Анатольевна - к. т. н., доцент кафедры «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: gnezdilova_oa@irgups.ru

Authors

Simonova Olga Alekseevna – student of the group SGD.1-17-1, faculty "Construction of railways", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olgasimonova-99@mail.ru

Gnezdilova Olga Anatol'evna – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the department "Construction of railways, bridges and tunnels", e-mail: gnezdilova_oa@irgups.ru

Для цитирования

Симонова О. А. Оценка надежности календарного графика строительства моста [Электронный ресурс] / О. А. Симонова, О. А. Гнездилова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — №11. — Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус. англ. (дата обращения: 11.05.2021)

For citation

Simonova O.A., Gnezdilova O.A. Otsenka nadezhnosti kalendarnogo grafika stroitel'stva mosta [Assessment of reliability of bridge construction schedule]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 1. [Accessed 11/05/21]