

Формирование рациональной технологии строительства линейно-протяженных сооружений на основе альтернативных вариантов

К.т.н., докторант Г.И. Абдуллаев,
ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Ключевые слова: организационно-технологическая надежность; альтернативная сетевая модель; оргграф; структурная избыточность

При разработке технологии строительства линейно-протяженных сооружений на стадии проектирования организации строительства и производства работ обычно не учитываются возможности для сокращения сроков строительства и повышения организационно-технологической надежности соблюдения директивной продолжительности, представляемые наличием различных вариантов технологии выполнения работ. Варианты выполнения отдельных комплексов работ и процессов, как правило, рассматриваются на предыдущих этапах (при разработке технологических схем и технологических карт) и сопоставляются по временным, технологическим и стоимостным показателям без учета взаимосвязи всего комплекса процессов возведения строительных конструкций [1-4]. При этом не следующие факторы не принимаются во внимание:

- критерии, принимаемые для оптимизации технологии и организации строительства отдельных линейно-протяженных сооружений (по срокам и надежности) на стадии увязки всего комплекса работ [5,6];
- возможности по оптимизации технологии и организации строительства за счет совместного рассмотрения вариантов технологии выполнения отдельных комплексов работ, отличающихся разновидностью и количеством требуемых технических и трудовых ресурсов, а также продолжительностью их выполнения [4,6];
- воздействие различных технологических вариантов производства отдельных комплексов работ на технологию, очередность, стоимость и продолжительность строительства сооружения в целом [4,7].

На современном уровне строительного производства одной из важных задач является формирование планов строительства с высоким уровнем организационно-технологической надежности. Это означает, что на этапе выполнения проектных работ необходимо предусмотреть возможности демпфирования и ослабления влияния негативных факторов на производство и, соответственно, на сроки выполнения этапов работ и завершения строительства. Применение способов дублирования технологических процессов, резервирования основных видов ресурсов (в том числе и временных), создание избыточных структур является перспективным направлением повышения надежности строительства на этапе плановых разработок [8-11].

В связи с этим при изучении возможностей по оптимизации технологии строительства сооружений, направленных на совершенствование общего процесса, следует учитывать взаимодействие смежных (следующих друг за другом) комплексов работ [2,4,9,12]. Обычно при построении общего процесса возведения сооружения (календарного графика строительства) учитывается только один выбранный ранее вариант выполнения работ. Однако значительное число групп работ допускают параллельное выполнение отдельных комплексов работ, изменение последовательности их выполнения или даже свободное чередование и совмещение работ. Аналогичные возможности могут допускать и некоторые цепи комплексов работ относительно друг друга. Эти цепи работ входят в состав всего комплекса работ по строительству сооружения и должны рассматриваться с учетом взаимосвязи всех строительных процессов.

Учет рассмотренных возможностей по оптимизации процессов возведения сооружения и повышения надежности строительства во многих случаях позволяет добиться существенного сокращения сроков строительства, сокращения производственных затрат и повышения организационно-технологической надежности проектов производства работ [4,5,13]. Для оптимизации процессов возведения сооружений на основе выбора лучшей технологии выполнения отдельных работ или их групп и формирования лучшей технологической взаимосвязи работ необходимо построение соответствующей организационно-технологической модели.

Абдуллаев Г.И. Формирование рациональной технологии строительства линейно-протяженных сооружений на основе альтернативных вариантов

Модель должна отражать экономические аспекты строительных процессов, иметь математические параметры и функциональные зависимости. Эта модель должна отражать наличие и возможности технологических вариантов и позволять вести поиск лучшего [9,14,15]. Такая модель содержит структурную избыточность, что позволяет одновременно обеспечить демпфирование случайных факторов и повысить уровень надежности.

В качестве такой модели строительства сооружения может применяться альтернативная сетевая модель, сконструированная специально для поиска лучшего альтернативного варианта. В отличие от обычных стохастических альтернативных моделей она предназначена для сопоставления и выбора лучших вариантов технологии выполнения работ относительно принятого критерия или целевой функции и может работать на любом этапе строительства. Сформированная таким образом топология сетевой модели будет наиболее полно отвечать требованиям целевой функции, т. е. оптимизации всего процесса строительства, и одновременно повышению его организационно-технологической надежности. После расчета и оптимизации процесса строительства на основе такой альтернативной модели она превращается в обычный сетевой график, на основе которого по типовым программам (например, Microsoft Project) можно получить расчет всех необходимых параметров и ресурсов на определенный момент времени развития производственного процесса.

Предлагаемая альтернативная сетевая модель представляет собой оргграф $Q(X,U)$, который обладает следующими основными свойствами.

1. Не содержит контуров и петель.

2. Множество X неоднородно и состоит из вершин:

а) $a \in A$ и реализующих логическую операцию "И" на входе и на выходе;

б) $b \in B$ и реализующих независимую логическую операцию "ИЛИ" на входе, на выходе или на входе и на выходе;

в) $g \in G$ и реализующих зависимую логическую операцию "ИЛИ" на входе, на выходе или на входе и на выходе.

При этом $X = A \cup B \cup G$, $|X| = |A| + |B| + |G|$.

3. Множество Y неоднородно и состоит из дуг:

а) $v \in V$ и отождествляется с работами;

б) $w \in W$ и отождествляется со связями.

При этом $Y = V \cup W$, $|Y| = |V| + |W|$.

Альтернативная сетевая модель может строиться как по событиям, так и по работам. В общих случаях модели обладают аналогичными рассмотренными свойствами.

Выбор лучшей технологии выполнения отдельных работ и формирование их лучшей технологической взаимосвязи, как правило, не могут осуществляться простым рассмотрением и сопоставлением всех возможных вариантов. Так, например, если только десять работ имеют по две возможных технологии выполнения, то общее число подлежащих рассмотрению вариантов составляет 1024, а при трех альтернативах – 59049. Если при этом структура сети достаточно развита, то расчет всех возможных вариантов может занимать весьма значительное время.

Для расчета и оптимизации альтернативной сетевой модели строительства достаточно развитого комплекса сооружений метрополитена по критерию "время-надежность" можно предложить достаточно простой и эффективный алгоритм. Идея алгоритма заключается в произвольном назначении из альтернатив конкретных технологий и формировании обычного оргграфа. После расчета сетевой модели и определения цепей критических работ производится поэтапная замена работ на альтернативные технологии с оценкой общего времени выполнения критических работ. При сокращении по времени критического пути полученный оргграф принимается для дальнейшего рассмотрения и расчета. Процесс оптимизации заканчивается при отсутствии вариантов сокращения критического пути.

На основе предлагаемого алгоритма можно формировать процесс оптимизации технологии строительства сооружения по критерию организационно-технологической надежности. Учет других показателей процесса строительства и многокритериальный подход к оптимизации требуют разработки разветвленных и достаточно сложных алгоритмов. Однако получаемый экономический эффект значительно превосходит осуществляемые затраты.

Введение альтернативных технологических вариантов при проектировании организации работ и при формировании календарных планов строительства создает определенную структурную избыточность. Данная избыточность повышает вероятность выполнения плана в установленные сроки строительства, то есть повышает организационно-технологическую надежность создания линейно-протяженных сооружений с утвержденными показателями [17,18].

Такая структурная избыточность с позиций надежности может оцениваться по известному выражению [1,14]:

$$P_z(T) = 1 - \prod_{i=1} [1 - P_i(t)], \quad (1)$$

где $P_i(t)$ – вероятность выполнения утвержденных показателей (сроков строительства) по i -му альтернативному варианту.

Выводы

Введение структурной избыточности существенно повышает организационно-технологическую надежность строительства и исполнения плана с заданными показателями. Повышение организационно-технологической надежности может осуществляться при выборе вариантов строительства до необходимых значений с одновременным улучшением принятых экономических показателей. Так, например, разработка плана строительства с достаточно напряженными сроками, как правило, имеет надежность исполнения не выше 0,6. Проработка дополнительных трех-четырех вариантов организации и технологии основных комплексов работ в альтернативном исполнении в соответствии с выражением (1) обеспечивает надежность исполнения плана не ниже 0,9.

В заключение следует отметить, что предлагаемое применение альтернативных сетей позволяет за счет разработки математической модели возможных вариантов организации и технологии работ получить достаточный уровень резервирования и структурной избыточности, чтобы существенно повысить значение организационно-технологической надежности при одновременном улучшении экономических показателей.

Литература

1. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительного производства в условиях автоматизированных систем проектирования. М.: Стройиздат, 1974. 252 с.
2. Гусева М. Н. Надежность и эффективность систем управления в строительном бизнесе. Учебное пособие / ГУУ. М., 2004. 40 с.
3. Дикман Л. Г. Организация и планирование строительного производства: Учеб. для строит. Вузов. М.: АСВ, 2002. 512 с.
4. Кукушкин В. А., Морозова Т. Ф. Календарное планирование в строительстве. Учебно-методическое пособие и деловая игра. СПб. 2003. 124 с.
5. Маилян Л. Р. и др. Справочник современного строителя. Ростов-на Дону: «Феникс», 2006. 540 с.
6. Трушкевич А. И. Организация проектирования и строительства. Минск: Высш. Шк., 2009. 479 с.
7. Макаркин Н. П. Экономика надежности техники: монография. М.: Экономика, 2001. 436 с.
8. Заренин Ю. Г., Збырко М. Д. и др. Надежность и эффективность АСУ. Киев: Техника, 1975. 368 с.
9. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 142 с.

10. Четыркин Е. М. Теория массового обслуживания и ее применение в экономике. Математическая статистика для экономистов. М.: Статистика, 1971. 103 с.
11. Clarc-Hugnes J., Mawdesley M. J. Avoiding construction disputes through active Project Management. UK // World congress on Project Management. S-Petersburg, 1995. Pp. 34-62.
12. Baiburin A. Kh. Implementation of pile foundation quality and serviceability / A. Kh. Baiburin, S. G. Golovnev // The Proceedings of the International Geotechnical Symposium «Geotechnical Aspects of Natural and Man-Made Disasters». Astana, Kazakhstan Geotechnical Society. 2005. Pp. 144–147.
13. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. М., 1989.
14. Liu K. F. A Possibilistic Petri NetModel for Diagnosing Cracks in RC Structures // Computer-Aided Civil and infrastructure Engineering. 2003. Vol. 18. Pp. 426-439.
15. Хибухин В. П., Баранецкий В. И., Величкин В. З., Втюрин В. И. Математические методы планирования и управления строительством. Ленинград: «Стройиздат», 1985. 140 с.
16. Асаи К., Ватада Д., Иван С. Прикладные нечеткие системы: пер. с япон. М.: Мир, 1993. 368 с.
17. Bayar T. Associate Editor Better Renewables Risk Management Solutions Emerge // Renewable Energy World. 2012. №3. Pp. 22-24.
18. Шульман Г. С., Романов М. В. Надежность инженерных сооружений / СПбГТУ. СПб, 1997. 48 с.

**Гасым Исрафиль оглы Абдуллаев, Санкт-Петербург, Россия
Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: v.velichkin2011@yandex.ru*

© Абдуллаев Г.И., 2012

doi: 10.5862/MCE.33.11

Rational construction method for linearly extended structures based on alternative options

G.I. Abdullaev,

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia

+7(812)297-59-49; e-mail: v.velichkin2011@yandex.ru

Key words

organizational and technological reliability; alternative network model; digraph; structural redundancy

Abstract

In the development of construction technology of linearly extended structures at the stage work production plan the possibility to reduce the construction time and improving organizational and technological reliability, represented by the presence of different technology options for a range of works and processes usually are not considered. However, to improve the overall process the interaction of adjacent (consecutive) work packages should be taken into account.

To optimize the construction process based on selecting the best technology of individual works or groups of works performance it is necessary to build appropriate organizational and technological model. As such a model of building structures an alternative network model can be used, designed specifically to find the best alternative.

The proposed use of alternative networks allows receiving sufficient reservation and structural redundancy to significantly increase the organizational and technological reliability while improving economic performance.

References

1. Asai K., Vatada D., Ivan S. *Prikladnye nechetkie sistemy* [Applied fuzzy systems]. Translated by Japan. Moscow: Mir, 1993. 368 p. (rus)
2. Baiburin A. Kh. Implementation of pile foundation quality and serviceability. A. Kh. Baiburin, S. G. Golovnev. *The Proceedings of the International Geotechnical Symposium «Geotechnical Aspects of Natural and Man-Made Disasters»*. Astana, Kazakhstan Geotechnical Society. 2005. Pp. 144–147.
3. Bayar T. Associate Editor Better Renewables Risk Management Solutions Emerge. *Renewable Energy World*. 2012. No. 3. Pp. 22-24.
4. GOST 27.002-89. *Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [Reliability engineering. Terms and definitions]. Moscow, 1989. (rus)
5. Gusakov A. A. *Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost stroitel'nogo proizvodstva v usloviyakh avtomatizirovannykh sistem proektirovaniya* [Organizational and technological reliability of building production in automated design systems]. Moscow: Stroyizdat, 1994. (rus)
6. Guseva M. N. *Nadezhnost i effektivnost sistem upravleniya v stroitel'nom biznese* [The reliability and efficiency of control systems in the construction business]. State University of Management, 2004. (rus)
7. Dikman L. G. *Organizatsiya i planirovanie stroitel'nogo proizvodstva* [Organization and planning of construction operations]. Moscow, 2002. (rus)
8. Zarenin Yu. G., Zbyrko M. D. and others. *Nadezhnost i effektivnost ASU. Tekhnika* [Reliability and efficiency of automated control systems. Technique]. 1975. 368 p. (rus)
9. Kukushkin V. A., Morozova T. F. *Kalendar'noe planirovanie v stroitel'stve. Uchebno-metodicheskoe posobie i delovaya igra* [Scheduling in the construction industry. Teaching aid and business game]. Saint-Petersburg, 2003. 124 p. (rus)
10. Liu K. F. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2003. Vol. 18. Pp. 426-439.
11. Mailyan L. R. and others. *Spravochnik sovremennogo stroitelya* [Handbook of Contemporary builder]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2006. 540 p. (rus)
12. Makarkin N. P. *Ekonomika nadezhnosti tekhniki* [Economy safety equipment]. Moscow: Ekonomika. 2001. (rus)

13. Moiseev N. N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza* [Mathematical problems of system analysis]. Moscow: Nauka, 1981. 142 p. (rus)
14. Clarc-Hugnes J., Mawdesley M. J. Avoiding construction disputes through active Project Management. UK. *World congress on Project Management*. Saint-Petersburg, 1995. Pp. 34-62.
15. Trushkevich A. I. *Organizatsiya proektirovaniya i stroitelstva* [Organization of project and building]. Minsk: High School, 2009. 479 p. (rus)
16. Khibukhin V. P., Baranetskiy V. I., Velichkin V. Z., Vtyurin V. I. *Matematicheskie metody planirovaniya i upravleniya stroitelstvom* [Mathematical methods of planning and construction management]. Leningrad: Stroyizdat, 1985. 140 p. (rus)
17. Chetyrkin E. M. *Teoriya massovogo obsluzhivaniya i ee primeneniye v ekonomike. Matematicheskaya statistika dlya ekonomistov* [Queuing theory and its application in the economy. Mathematical Statistics for Economists]. Moscow: Statistika, 1971. (rus)
18. Shulman G. S., Romanov M. V. *Nadezhnost inzhenernykh sooruzheniy* [Reliability of engineering structures]. Saint-Petersburg: SPSPU, 1997. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 89-92