

doi: 10.5862/MCE.51.9

Управление и надежность реализации строительных программ

*Д.т.н., профессор В.З. Величкин,**Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

Аннотация. Реализация строительных программ подрядными организациями сопряжена не только с определенными текущими издержками, но и со значительными потерями при несвоевременной сдаче этапов работ и вводе объектов в эксплуатацию.

В статье предлагается специальная разновидность функции бета-распределения плотности вероятности случайной величины для оценки вероятности выполнения строительной программы в полном объеме и в заданные сроки. Данная функция позволяет учитывать влияние эффективности работы управляющей системы на вероятность выполнения программы в установленные сроки.

Для достижения высокого уровня надежности реализации строительной программы (не ниже 0,9) предложены стратегии предварительного формирования требований к показателям системы управления, учета резервов времени и построения структурной избыточности при организации строительства. Приведены примеры соответствующих расчетов.

Ключевые слова: вероятность выполнения программ; значение вероятности; календарный план; надежность; параметр управления; расчетные сроки; резервы времени; риски; структурная избыточность; эффективность управления

В современных условиях текущие издержки строительных организаций, как правило, компенсируются инвестором при окончательных расчетах за законченные объекты. Более серьезной проблемой является несвоевременное окончание этапов работ: штрафы, пени и неустойки строительная организация оплачивает из собственных средств и полученной прибыли.

В этой связи очень важно для строительных организаций определить объем экономических рисков на этапах рассмотрения календарных планов строительства и заключения подрядных договоров и установить сроки окончания этапов работ и строительства в целом. Риски экономических потерь и издержек напрямую связаны с соблюдением принятых сроков завершения этапов строительства в целом [1–5]. В свою очередь надежность соблюдения принятых сроков строительства существенно зависит от эффективности работы всей системы управления [6, 7]. При этом следует учитывать, что сроки строительства по календарному плану установлены на основании определенных технических норм и наличия технических и трудовых ресурсов.

Установленные сроки выполнения этапов строительства на основании технических расчетов не означают их 100%-ную надежность. Практика строительства показывает значительные отклонения реальных сроков окончания работ от расчетных. В общем случае вероятность выполнения расчетных сроков колеблется в районе 50 %. Естественно, эффективное управление и наличие дополнительных ресурсов могут обеспечить почти точное соблюдение принятых сроков строительства.

Эти рассуждения необходимо учитывать при утверждении сроков строительства и заключении договоров. Такой учет требует дополнительных расчетов с учетом вероятности соблюдения установленных сроков и эффективности воздействия управляющих решений. Методика оценки рассматриваемых строительных программ может базироваться на известной разновидности функции бета-распределения плотности вероятности случайной величины [8, 9, 10]. Эта функция [10] хорошо учитывает влияние случайных отклонений рассматриваемых величин и уровень воздействий управляющих решений:

$$\varphi(x) = \frac{(\xi + 1)(\xi + 2)(\xi + 3)}{2(b - a)^{\xi + 3}} (x - a)^{\xi} (b - x)^2, \quad (1)$$

где $\varphi(x)$ – функция плотности вероятности случайной величины x ; x – значение случайной величины срока окончания этапа работ; a – минимально возможный срок окончания этапа работ; b

– максимально возможный срок окончания этапа работ; ξ – параметр функции, учитывающий эффективность функционирования системы управления.

Для данного вида бета-распределения случайной величины можно определить математическое ожидание по формуле

$$T_{MO} = \frac{b\xi + b + 3a}{\xi + 4}. \quad (2)$$

Дисперсия срока окончания выполнения строительной программы для данной функции вычисляется по следующей формуле:

$$\sigma^2 = \frac{3(\xi + 1)(b - a)^2}{(\xi + 4)^2(\xi + 5)}. \quad (3)$$

Для того чтобы оценить надежность принимаемого календарного плана или программы строительства с позиций выполнения полного объема всех предусмотренных работ в установленный срок и соответствия принятым положениям по организации работ, необходимо выполнить расчеты вероятностных показателей [11–18]. Прежде всего требуется рассчитать сроки выполнения всех работ по принятому методу организации и крайние сроки выполнения программы. Крайние сроки могут приниматься на основе опыта экспертным путем, в таком случае значение «а» мы определим как оптимистическую оценку, а значение «b» – как пессимистическую [9, 10]. Однако более достоверно будет определение этих величин на основе общего опыта строительства с учетом полученного расчетного срока завершения программы, принимаемого за наиболее вероятный. Наиболее вероятный срок при использовании функции (1) и будет математическим ожиданием, определяемым по выражению (2).

Тогда первым этапом оценки строительной программы по возможным рискам на основе надежности ее выполнения в заданные сроки является выявление основных расчетных сроков и формирование крайних оценок «а» и «b». При управлении строительством и его планировании имеются общие рекомендации по возможностям сокращения расчетных сроков, определенных на основе нормативов по трудоемкости работ. Рекомендуется допускать сокращение продолжительности работ на 10–15 %. Тогда целесообразно принимать значение $a = 0,85 T_{MO}$. Преобразовав выражение (2) с учетом $a = 0,85 T_{MO}$, получаем значение величины b:

$$b = \frac{T_{MO}(\xi + 1,45)}{(\xi + 1)}. \quad (4)$$

К основным расчетным срокам строительной программы, кроме крайних значений срока завершения всех работ и расчетного срока T_{MO} , следует отнести срок завершения программы по договору подряда – T_d , который, как правило, несколько больше расчетного: $T_d > T_{MO}$. Для полной оценки надежности программы и возможных рисков необходимо также учитывать срок завершения работ в условиях организации всех работ по методу критического пути с полным напряжением всех видов ресурсов [19–23]. В этом случае возрастают текущие издержки из-за возникающих простоев специализированных потоков (трудовых ресурсов и привлекаемой ими строительной техники) [8, 14, 24, 25]. Получаемый на основе расчетов по другой организации работ T_{kp} является по своей сущности математическим ожиданием другой системы реализации исходной программы и будет иметь свои значения a' и b' , $a < T_{kp} < T_{MO}$.

Вероятность получения некоторого значения случайной величины x , то есть конечного срока выполнения программы, в соответствии с функцией плотности вероятности (1), может быть определена по следующему выражению:

$$\rho(x) = 0,5\alpha^{\xi+1} [\alpha^2(\xi + 1)(\xi + 2) - 2(\xi + 1)(\xi + 3) + (\xi + 2)(\xi + 3)]. \quad (5)$$

Здесь $\alpha = \frac{T_p - a}{b - a}$.

Расчетная вероятность по выражению (5) в значительной степени определяет надежность завершения строительства в срок T . Надежность выполнения плана в принятый срок T следует определять с учетом имеющихся резервов времени для календарного плана по рассматриваемой строительной программе [19, 26, 27–29]. Резервы времени в условиях работы системы управления Величкин В.З. Управление и надежность реализации строительных программ

позволяют повысить значение вероятности, которую целесообразно считать надежностью для рассматриваемой программы. Надежность $H(T)$ может быть вычислена по формуле

$$H(T) = \frac{\psi + \rho(T)}{[2 - \rho(N)(1 - \psi)]}, \quad (6)$$

где $\psi = P_{рез} \setminus P_{общ}$ – показатель содержания резервов времени в рассматриваемой программе;

$P_{рез}$ – суммарная продолжительность работ специализированных потоков, имеющих резервы времени в рассматриваемой программе;

$P_{общ}$ – суммарная продолжительность всех специализированных потоков;

$\rho(T)$ – значение вероятности окончания всех работ (завершения строительства) в срок T .

При вычислении значения вероятности срока завершения строительной программы учитываются, с одной стороны, расчетные значения при применении технических норм в виде ожидаемого значения (математического ожидания), а с другой стороны, принимаемый уровень работы управляющей системы. Известно, что процесс строительства подвержен воздействию многочисленных факторов задержек и отказов. Управление обеспечивает компенсацию их негативных последствий, тем самым позволяя достичь расчетных сроков. Эти аспекты процесса строительства и отражают функция (1) и формула вероятности (5).

Для применения этих зависимостей необходимо назначить значение параметра ξ . Проведенные исследования позволяют рекомендовать следующие значения данного параметра. В случае жесткого и плотного управления при непрерывном и ежедневном мониторинге параметр управления может быть принят равным или близким к нулю. При активном контроле над ходом строительства и проведении корректирующих планерок 1–2 раза в неделю значение ξ можно принять близким к 0,5. При более пассивном контроле хода строительства и проведении совещаний 1–2 раза в месяц параметр следует принимать больше 1,0 или равным или близким к 2,0.

Данная методика оценки строительной программы на предмет надежности ее реализации в полном объеме и в установленные сроки может быть представлена в виде следующего примера.

Строительная программа стоимостью 1,509 млрд. руб. в соответствии календарным планом должна быть реализована за 450 календарных дней. По договору подряда планируется завершить весь объем работ за 465 дней. При организации работ по методу критического пути возможен простой специализированных потоков и техники с экономическими потерями в объеме 23,7 млн. руб. При этом достигается сокращение планового срока окончания работ до 420 календарных дней. Запланированная организация работ по календарному плану имеет резервы времени у ряда специализированных потоков около 30 % от общей суммарной продолжительности их календарной работы.

Учитывая оптимистическую возможность сократить срок строительства в благоприятных условиях до 15 %, получаем значение $a = 0,85 T_p = 383$ дня.

Крайнюю пессимистическую оценку определяем по выражению (4), принимая расчетный срок 450 дней как наиболее вероятный (как математическое ожидание случайной продолжительности строительства). Для расчета оценок рисков и надежности можно принять традиционный достаточно эффективный уровень управления при $\xi = 0,5$.

$$b = \frac{450(1 + 1,45)}{(0,5 + 1)} = 585.$$

В этом случае по выражению (5) определяем вероятность выполнения работ в расчетный срок при $\alpha = \frac{450 - 383}{585 - 383} = 0,332$:

$$\rho(450) = 0,5 \times 0,332^{0,5} [0,332^2 \times 1,5 \times 2,5 - 2 \times 0,332 \times 1,5 \times 3,5 + 2,5 \times 3,5] = 0,543.$$

Полученная вероятность выполнения работ в расчетный срок свидетельствует о наличии значительных рисков срыва выполнения программы в полном объеме. По установленным

нормативам требуется вероятность не ниже 0,9 для обеспечения своевременного и качественного выполнения технологии строительства и окончания работ. Следовательно, расчет сроков работ на основе технических норм предполагает вероятность их выполнения около 50 %. При проведении жесткого управления ($\xi \rightarrow 0$) вероятность $\rho(450) = 0,702$, что также недостаточно.

Рассмотрим вероятность реализации строительной программы по выражению (5) в сроки по подрядному договору при $\alpha = \frac{465 - 383}{585 - 383} = 0,406$:

$$\rho(465) = 0,5 \times 0,406^{1,5} [0,406^2 \times 1,5 \times 2,5 - 2 \times 0,406 \times 1,5 \times 3,5 + 2,5 \times 3,5] = 0,660.$$

Полученная вероятность выполнения всей программы также не обеспечивает достаточной надежности. При жестком управлении ($\xi \rightarrow 0$) вероятность $\rho(465) = 0,790$, что также содержит ощутимые риски.

На основе аналогичных расчетов получаем срок, гарантирующий вероятность не менее 0,9 при традиционной эффективной системе управления, равный 490 дням. При улучшении управления вероятность выполнения программы превышает значение 0,9. Однако инвестора не устраивает данный срок реализации строительной программы.

Используя данную методику оценки вероятностных показателей строительной программы, можно сформировать несколько стратегий обеспечения требуемой надежности ее выполнения. Эти стратегии могут опираться на:

- 1) предельно возможную жесткость и непрерывность управляющих воздействий (выражение 5, $\xi \rightarrow 0$);
- 2) возможность полного использования имеющихся резервов времени для повышения надежности сроков (выражение 6);
- 3) возможность структурной избыточности календарных планов.

Структурная избыточность [30–32] может формироваться за счет параллельного включения организационных форм непрерывной работы специализированных потоков и организационных форм метода критического пути при формировании календарного плана работ. Дублирование методов организации работ позволяет при отказе одного метода (срыв сроков выполнения работ) переходить на другой для достижения плановых сроков строительства.

Для рассматриваемой строительной программы по первой стратегии при жестком управлении $\xi = 0$ получаем вероятность при $\alpha = \frac{465 - 363}{546 - 383} = 0,503$:

$$\rho(465) = 0,5 \times 0,503(0,253 \times 2 - 6 \times 0,503 + 6) = 0,877.$$

Полученное значение близко к 0,9. Если учесть использование резервов времени, согласно второй стратегии надежность по выражению (6) принимает значение

$$H(465) = \frac{0,7 + 0,877}{2 - 0,877(1 - 0,7)} = 0,908.$$

При создании структурной избыточности по третьей стратегии возможен одновременный учет двух методов организации строительства. К этим методам целесообразно относить непрерывную работу специализированных потоков и работу по методу критического пути [18]. В этом случае возможно применение зависимости для двух параллельно соединенных элементов с целью оценки вероятности отказа системы:

$$\rho(T) = 1 - (1 - \rho_1(T))(1 - \rho_2(T)). \quad (7)$$

В соответствии с выражением (7) вероятность выполнения программы за 450 дней при жестком управлении $\xi = 0$ и при учете системы с двумя возможными методами организации строительства принимает значение

$$\rho(450) = 1 - (1 - 0,702)(1 - 0,796) = 1 - 0,298 \times 0,204 = 0,939.$$

Здесь 0,702 – вероятность выполнения программы за 450 дней при непрерывной работе специализированных потоков; 0,796 – вероятность выполнения программы за 450 дней методом критического пути.

При учете возможности применения двух методов организации строительства при обычном эффективном управлении $\xi = 0,5$ также получаем высокую вероятность выполнения строительной программы в установленные договором сроки.

$$\rho(465) = 1 - (1 - 0,66)(1 - 0,788) = 1 - 0,0721 = 0,928$$

Здесь 0,66 – вероятность выполнения программы за 465 дней при непрерывной работе специализированных потоков; 0,788 – вероятность выполнения программы за 465 дней методом критического пути.

На основе положений, рассмотренных выше, можно сделать вывод о необходимости тщательного рассмотрения строительных программ по срокам выполнения, методам организации строительства, возможным экономическим рискам с учетом договорных обязательств. Необходимо учитывать, что сроки строительства, определенные по расчетным техническим нормам – это наиболее вероятные сроки, обеспечивающие вероятность их выполнения в пределах 50–60 %. Поэтому на стадии формирования строительных программ и договорных отношений необходимо оценить возможности по срокам и методам организации строительства, наличие резервов сил, средств и времени, оценить уровень действующей системы управления.

Полученные в результате изучения строительной программы оценки и выводы желательно переложить в конкретные значения показателей приведенных математических выражений. Выполнение расчетов вероятности реализации принимаемых строительных программ позволяет заранее сформировать необходимые стратегии и минимизировать риски экономических потерь. При необходимости такие оценки и расчеты могут быть проведены на любом этапе выполнения строительной программы.

Литература

1. Baiburin A.Kh., Golovnev S.G. 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.
2. Байбури́н А.Х., Головнев С.Г. Оценка качества строительно-монтажных работ на основе показателей надежности // Известия вузов. Строительство. 1998. № 2. С. 67–70.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. М., 1989.
4. Крылов Э.И. Основные принципы оценки эффективности инвестиционного проекта. СПб.: СПбГУАП, 2003. 47 с.
5. Bayar T. Associate Editor. Better Renewables Risk Management Solutions Emerge // Renewable Energy World. 2012. No.3. Pp. 22–24.
6. Ансофф И.А. Стратегическое управление. Экономика, М., 2006. 358 с.
7. Гусева М.Н. Надежность и эффективность систем управления в строительном бизнесе. Гос. университет управления, М., 2004. 38 с.
8. Абдуллаев Г.И., Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов // Инженерно-строительный журнал. 2013. №3(38). С. 43–50.
9. Абсалямов Д.Р. Повышение надежности инженерных систем методом формализации поиска отказов // Инженерно-строительный журнал. 2012. №2. С. 39–47.
10. Хибухин В.П., Величкин В.З., Втюрин В.И. Математические методы планирования и управления строительством. Л.: Стройиздат, Ленингр. Отделение, 1990. 140 с.
11. Абдуллаев Г.И. Основные направления повышения надежности строительных процессов // Инженерно-строительный журнал. 2010. №4(14). С. 59–60.
12. Абдуллаев Г.И., Величкин В.З. Особенности оценки надежности строительных потоков // Инженерно-строительный журнал. 2009. №4(6). С. 53–54.
13. Абдуллаев Г.И. Оценка уровня надежности с учетом организационно-технологических параметров строительства линейно-протяженных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2009. №8(10). С. 62–64.

14. Шульман Г.С., Романов М.В. Надежность инженерных сооружений. СПб.: СПбГТУ, 2001. С. 56.
15. Рогонский В.А., Костриц А.И., Шеряков В.Ф. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб.: Стройиздат, 2004. 272 с.
16. Artur A., Czarnecki A. Time-variant reliability profiles for steel giarder bridges // Structural safety. 2008. Vol. 30. No.1. Pp. 49–64.
17. Au S.K., Ching J., Beck J.L. Application of subset simulation method to reliability benchmark problems // Structural safety. 2007. Vol. 29. No. 3. Pp. 183–192.
18. Daaboul J., Castagna P., Da-cunha C., Demard A. Value network Modeling and Simulation for strategic Analysis: A discrete event simulation Approach // International Journal of Production Research. 2011. No. 9. Pp 2501–2517.
19. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. С. 203.
20. Байбурин А.Х., Головнев С.Г. Формирование системы показателей качества в троеительстве // Известия вузов.Строительство. 1999. №8. С. 57–60.
21. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М.: Дело, 2001. 832 с.
22. Bendraouche M., Boudhar M., Oulamara A. Scheduling: Agreement Graph VS resource Constraints // European Journal Operation Research. 2013. Vol. 240. No.2. Pp. 365–360.
23. Belton V., Montibeller G. Qualitative Operators for Reasoning maps // Eropean Journal of Operation Research. 2009. No. 3. Pp. 829–840.
24. Томаев Б.М. Надежность строительного потока. М.: Стройиздат, 1983. 129 с.
25. Papakonstantionou D.A., Raekoff C.W. Characterizing Sets of Jobs that Admit Optimal Greedy-Like Flgorithms // Journal of Scheduling. 2010. No. 2. Pp. 163–176.
26. Automatik control. Honeywell. SI Editor. Printed in USA. 1989. 412p.
27. Autodesk Animator. Tutorials Autodesk ink. San Rafael, 1990. 102 p.
28. Rowinski L. Organizacia procesow budowlanych. Warszawa, PWN, 1979, 520 p.
29. Belton V., Montibeller G. Cousal maps and the Evaluation of Decision // Eropean Journal of Operation Research. 2006. No. 7. Pp. 779–791.
30. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures // Computer-Aided Civil and infrastructure Engineering. 2003. Vol. 18. Pp. 426–439.
31. Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузьмин. Прогнозирование количественных характеристик процессов. М.: Советское радио, 1975. 400 с.
32. Verderame P.M., Floudas C.A. Integration of Operation Planning and Medium-Term Scheduling for Large-Seale Industrial Batch Plants under Demand and Processing Time Uncertainty // Industrial and Engineering Research. 2010. No. 10. Pp. 4948–4965.

Виктор Захарович Величкин, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(921)6545468; эл. почта: V.Velichkin2011@yandex.ru

© Величкин В.З., 2014

doi: 10.5862/MCE.51.9

Management and reliability of construction programs

V.Z. Velichkin*St-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia
+79216545468; e-mail: V.Velichkin2011@yandex.ru*

Key words

probability of program execution; the probability value; schedule; reliability; parameter control; payment terms; time reserves; risks; structural redundancy; management efficiency

Abstract

The paper proposes a special kind of function of beta probability density distribution of the random variable to estimate probability of execution of the construction program in full and within the given timeframe. This function allows us to consider the impact of the effectiveness of the control system on the probability of the program execution in time.

To achieve a high level of reliability of the realization of the construction program (at least 0.9), the strategies for performance of preliminary requirements for management system, accounting reserves of time and building structural redundancy in the organization of construction were proposed. Examples of the corresponding estimates are given.

References

1. Baiburin A.Kh., Golovnev S.G. 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.
2. Bayburin A.Kh., Golovnev S.G. Otsenka kachestva stroitelno-montazhnykh rabot na osnove pokazateley nadezhnosti [Assessment of quality of construction and installation work on the basis of reliability indices]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 1998. No. 2. Pp. 67–70. (rus)
3. GOST 27.002-89. *Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [Reliability engineering. Terms and Definitions]. Moscow, 1989.
4. Krylov E.I. *Osnovnyye printsipy otsenki effektivnosti investitsionnogo proyekta* [Basic principles of assessing the effectiveness of the investment project]. Saint-Petersburg: SPbGUAP, 2003. 47 p. (rus)
5. Bayar T. Associate Editor. Better Renewables Risk Management Solutions Emerge. *Renewable Energy World*. 2012. No.3. Pp. 22–24.
6. Ansoff I.A. *Strategicheskoye upravleniye. Ekonomika* [Strategic management. Economy]. Moscow, 2006. 358 p. (rus)
7. Guseva M.N. *Nadezhnost i effektivnost sistem upravleniya v stroitelnom biznese* [Reliability and efficiency of management systems in the construction business]. Moscow: Gos. universitet upravleniya, 2004. 38 p. (rus)
8. Abdullayev G.I., Velichkin V.Z., Soldatenko T.N. Povysheniye organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitelstva lineyno-protiyazhennykh sooruzheniy metodom prognozirovaniya otkazov [The organizational and technological reliability improvement in construction by using failure prediction method]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No.3(38). Pp. 43–50. (rus)
9. Absalyamov D.R. Povysheniye nadezhnosti inzhenernykh sistem metodom formalizatsii poiska otkazov [Improving the engineering systems reliability by formalizing the failure search]. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.2. Pp. 39–47. (rus)
10. Khibukhin V.P., Velichkin V.Z., Vtyurin V.I. *Matematicheskiye metody planirovaniya i upravleniya stroitelstvom* [Mathematical methods of planning and construction management]. Leningrad: Stroyizdat, Leningr. Otdeleniye, 1990. 140 p. (rus)
11. Abdullayev G.I. Osnovnyye napravleniya povysheniya nadezhnosti stroitelnykh protsessov [The main directions of building processes reliability improving]. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.4(14). Pp. 59–60. 2010. (rus)
12. Abdullayev G.I., Velichkin V.Z. Osobennosti otsenki nadezhnosti stroitelnykh potokov [Some features of reliability evaluation of building flows]. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No.4(6). Pp. 53–54. (rus)
13. Abdullayev G.I. Otsenka urovnya nadezhnosti s uchetom organizatsionno-tekhnologicheskikh parametrov stroitelstva lineyno-protiyazhennykh sooruzheniy [The estimation of level of the reliability in view of organizational and technological parameters of building of the linearly and extensive constructions]. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No.8(10). Pp. 62–64. (rus)

Velichkin V.Z. Management and reliability of construction programs

14. Shulman G.S., Romanov M.V. *Nadezhnost inzhenernykh sooruzheniy* [Reliability of engineering structures]. Saint-Petersburg: SPbGTU, 2001. P. 56. (rus)
15. Rogonskiy V.A., Kostrits A.I., Sheryakov V.F. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [The operational reliability of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Stroyizdat, 2004. 272 p. (rus)
16. Artur A., Czarnecki A. Time-variant reliability profiles for steel girder bridges. *Structural safety*. 2008. Vol. 30. No.1. Pp. 49–64.
17. Au S.K., Ching J., Beck J.L. Application of subset simulation method to reliability benchmark problems. *Structural safety*. 2007. Vol. 29. No. 3. Pp. 183–192.
18. Daaboul J., Castagna P., Da-cunha C., Demard A. Value network Modeling and Simulation for strategic Analysis: A discrete event simulation Approach. *International Journal of Production Research*. 2011. No. 9. Pp. 2501–2517.
19. Afanasyev V.A. *Potochnaya organizatsiya stroitelstva* [Mainstreaming of construction]. Leningrad: Stroyizdat, 1990. P. 203. (rus)
20. Bayburin A.Kh., Golovnev S.G. Formirovaniye sistemy pokazateley kachestva v troitelstve [Formation of a system of quality indicators in construction]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 1999. No.8. Pp. 57–60. (rus)
21. Vilenskiy P.L., Livshits V.N., Smolyak S.A. *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proyektov. Teoriya i praktika* [Evaluating the effectiveness of investment projects. Theory and practice]. Moscow: Delo, 2001. 832 p. (rus)
22. Bendraouche M., Boudhar M., Oulamara A. Scheduling: Agreement Graph VS resource Constraints. *European Journal Operation Research*. 2013. Vol. 240. No. 2. Pp. 365–360.
23. Belton V., Montibeller G. Qualitative Operators for Reasoning maps. *Eropean Journal of Operation Research*. 2009. No. 3. Pp. 829–840.
24. Tomayev B.M. *Nadezhnost stroitel'nogo potoka* [Reliability of construction stream]. Moscow: Stroyizdat, 1983. 129 p. (rus)
25. Papakonstantinou D.A., Raekoff C.W. Characterizing Sets of Jobs that Admit Optimal Greedy-Like Flgorithms. *Journal of Scheduling*. 2010. No. 2. Pp. 163–176.
26. *Automatik control. Honeywell*. SI Editor. Printed in USA. 1989. 412p.
27. *Autodesk Animator*. Tutorials Autodesk ink. San Rafael, 1990. 102 p.
28. Rowinski L. *Organizacia procesow budowlanych*. Warszawa, PWN, 1979, 520 p.
29. Belton V., Montibeller G. Cousal maps and the Evaluation of Decision. *Eropean Journal of Operation Research*. 2006. No. 7. Pp. 779–791.
30. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures. *Computer-Aided Civil and infrastructure Engineering*. 2003. Vol. 18. Pp. 426–439.
31. Chuyev Yu.V., Mikhaylov Yu.B., Kuzmin V.I. *Prognozirovaniye kolichestvennykh kharakteristik protsessov* [Prediction of quantitative characteristics of processes]. Moscow: Sovetskoye radio, 1975. 400 p. (rus)
32. Verderame P.M., Floudas C.A. Integration of Operation Planning and Medium-Term Scheduling for Large-Seale Industrial Batch Plants under Demand and Processing Time Uncertainty. *Industrial and Engineering Research*. 2010. No. 10. Pp. 4948–4965. (rus)

Full text of this article in Russian: pp. 74–79