

## Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов

*К.т.н., докторант Г.И. Абдуллаев;  
д.т.н., профессор В.З. Величкин\*;  
старший преподаватель Т.Н. Солдатенко,*

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** календарный план; резервы ресурсов; уровень надежности; организационно-технологическая надежность; показатель вероятности; сбои и отклонения; отказы.

Статья посвящена одному из важнейших вопросов проектирования и строительства сложных и трудоемких сооружений, в частности, тоннелей метрополитена, – надежности конструкций в процессе строительства и эксплуатации [1, 2]. Теоретической и методологической основой при решении этих вопросов выступает общая теория надежности, которая детализируется в плоскости организации и технологии строительства и в плоскости функционирования ведущих строительных конструкций тоннелей и станций метро. Основой надежного функционирования строительных конструкций является высокий уровень организации и технологии выполнения работ, сохраняемый в течение всего срока строительства.

В последние годы проведено достаточно много исследований на эту тему: разработана необходимая теоретическая база надежности в области строительства, а также проанализировано влияние качества выполняемых работ и конструкций на надежность [2–6 и др.]. Рассматриваются вопросы влияния управляющих воздействий [2, 7–9], а также эффективности работы техники и эффективности инвестирования на надежность [1, 10–14]. Параллельно с вопросами надежности в строительстве прорабатываются оценка рисков, вероятности возникновения отказов и их корреляция с уровнем надежности [15–18]. Исследуются и методы прогнозирования рисков, отказов и уровня надежности [19, 20]. В совокупности все перечисленные исследования и разработки относятся к теории организационно-технологической надежности, сформулированной д.т.н., проф. А.А. Гусаковым [21].

В подавляющем большинстве работ по организационно-технологической надежности календарных планов теоретической основой оценки является теория вероятности в приложении к сетевым методам планирования и управления [22–25]. Однако поточная организация работ, по структуре приближающаяся к конвейерному производству, имеет свои особенности, которые нужно учитывать при оценке уровня надежности разработанного календарного плана. Здесь необходимо обратить внимание на прогноз возможности возникновения отказов в потоке и расширенную возможность компенсировать задержки из-за возникших отказов в течение выполнения других работ потока (как при конвейерном производстве). В связи с этим ниже предлагается возможный подход для оценки уровня надежности строительных потоков.

В соответствии с государственным стандартом [26] надежность включает в себя безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость. Применительно к строительству безотказность можно понимать как время реализации плана без сбоев и отклонений. Ремонтпригодность можно оценивать временем, необходимым для сбора информации, ее обработки, выработки решения по корректировке плана при допустимом уменьшении показателя эффективности и доведения решения до исполнения. Долговечность применительно к организационно-технологической надежности календарного плана можно рассматривать как время функционирования плана до полной перестройки или до полной замены на вновь разработанный план. Сохраняемость можно понимать как время, в течение которого разработанный план сохраняет свою актуальность и эффективность, а при его корректировке не требуется привлечение дополнительных ресурсов, изменения очередности и последовательности возведения сооружений и выполнения этапов работ.

Весь процесс строительства линейно-протяженных сооружений и реализации плановых решений можно рассматривать как состоящий из ряда этапов:

- этапы безотказной работы без сбоев и отклонений;
- этапы корректировки интенсивности, последовательности и очередности строительства сооружений;
- этапы полного перестроения планов по срокам и очередности строительства сооружений с привлечением дополнительных ресурсов в различные периоды производственного процесса. При этом по ходу строительства в большинстве случаев происходит снижение уровня эффективности строительного производства, запланированного на начальном этапе разработки проекта возведения сооружений.

Все эти составляющие надежности, имеющие размерность времени, являются случайными величинами. Данные случайные величины задаются распределением вероятностей и являются достаточными характеристиками составляющих надежности. Вместе с тем многие исследователи [8, 14, 22, 27, 28] полагают, что для строительства целесообразно рассматривать надежность с позиций завершения строительства в установленные сроки. При этом надежность понимается как вероятность достижения необходимых результатов за требуемое время. Если строительство завершается в утвержденные сроки без сбоев и нарушений, то достигается ранее рассчитанное значение эффективности. Если происходит срыв установленных сроков строительства на значимых этапах или при завершении, то значение планируемого показателя эффективности снижается. В связи с этим возникает проблема сочетания надежности реализации планов и эффективности управления [7, 8, 11, 22, 28].

Сбои и нарушения запланированного хода строительства могут рассматриваться как отказы. Отказ является одним из важнейших понятий в теории надежности. В соответствии с ГОСТ 27.004-85 отказ представляет собой событие, отмечающее нарушение исправного состояния плана или графика, ставшего с этого момента неработоспособным, т.е. невозможным к дальнейшему исполнению.

Отказы при реализации календарных планов строительства линейно-протяженных сооружений могут происходить в следующих случаях:

- неточность исходных данных при расчете производительности строительных машин и выработки на единицу трудовых ресурсов;
- сбои по объемам и срокам поставки на объект трудовых и технических ресурсов;
- сбои по объемам и срокам поставок строительных материалов и конструкций на объект;
- сбои в работе строительных машин и механизмов;
- возникновение аварийных ситуаций при возведении строительных конструкций;
- срыв в сроках и объемах инвестирования объекта.

Повышение надежности планов способствует повышению эффективности процессов строительства. В общем виде можно выделить следующие методы повышения надежности:

- построение планов строительства объектов с максимально возможным уровнем надежности за счет применения наработанных технологических процессов, имеющихся исправных машин и технических устройств, гарантированно поступающих на строительную площадку, подбора обученных и технически грамотных работников;
- введение в планы структурной и временной избыточности за счет предусмотренных альтернативных и равнозначных технологий, альтернативной последовательности и очередности цепей работ, за счет назначения наиболее вероятной продолжительности работ с запасом времени на их выполнение;
- организация достаточно интенсивных циклов контроля над ходом строительства и соответствием его параметров параметрам принятого плана. При опасных отклонениях от плановых показателей цикл контроля переходит в цикл управления;
- улучшение внешних условий для качественного выполнения принятого плана (эффективная организация строительной площадки, улучшение условий выполнения работ в шахтах и тоннелях, своевременная поставка материалов и конструкций и др.).

При оценке надежности разработанных календарных планов и графиков необходимо учитывать, прежде всего, вероятность срыва сроков выполнения критических работ или работ, определяющих общий срок завершения строительства. Для сетевых моделей срыв срока выполнения работы, принадлежащей критическому пути, приводит к срыву срока выполнения всего комплекса работ и в ряде случаев к образованию нового, более длинного критического пути. Резервы времени у некритических работ, связанных с критическими работами только топологией сети, не способствуют повышению организационно-технологической надежности графика.

Рассмотрение структуры графика поточной организации работ показывает, что критический путь проходит по работам частных потоков [22, 27]. Ряду частных потоков могут принадлежать две и более критические работы. Для потока, описанного простой матрицей  $N \times M$ , число частных потоков равно  $M$ , а минимальное число критических работ  $(N + M - 1)$ . Тогда частные потоки, содержащие две и более критических работы, находятся в более напряженном состоянии при выполнении работ, чем частные потоки с одной критической работой. При этом компенсировать напряжение или отставание за счет резервов некритических работ этого частного потока значительно сложнее, чем потока с одной критической работой. Здесь следует учитывать, что все работы одного частного потока выполняются одним и тем же составом бригады и комплектом машин.

Наиболее распространенный вероятностный подход при расчете сроков выполнения комплексов работ предполагает применение бета-распределения для назначения продолжительности выполнения работ [8]. Соответственно, вероятность окончания работ в рассчитанный срок устанавливается на основе этого распределения. Например, достаточно часто применяется следующая разновидность бета-распределения, вполне корректно описывающая вероятность выполнения строительно-монтажных работ:

$$\varphi(x) = \frac{12(x - \alpha)(\beta - x)^2}{(\beta - \alpha)^4}. \quad (1)$$

Для данной функции (1) математическое ожидание вычисляется по следующей формуле

$$T_M = \frac{(2\beta + 3\alpha)}{5}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – минимально и максимально возможная продолжительность выполнения работы (комплекса работ) соответственно.

Принимая продолжительность работ потока как математическое ожидание, рассчитываем ранние и поздние сроки выполнения работ и устанавливаем работы критического пути. Устанавливая значения  $\alpha$  и  $\beta$ , определяем вероятность выполнения комплекса работ по выражению

$$P_{к.п.} = \sigma^2(3\sigma^2 - 8\sigma + 6), \quad (3)$$

где

$$\sigma = \frac{(T_{к.п.} - \alpha)}{(\beta - \alpha)}. \quad (4)$$

Для сетевых графиков строительства сооружений полученное по выражению (3) значение может приниматься как значение показателя организационно-технологической надежности завершения работ в расчетные сроки. Для потока значение вероятности, полученное по выражению (3), не полностью отражает уровень организационно-технологической надежности. Так как напряженное состояние по соблюдению срока окончания критической работы, принадлежащей конкретному частному потоку, можно ослабить или компенсировать за счет резервов по другим работам данного частного потока или ближайшего частного потока, то уровень надежности должен быть несколько выше значения вероятности.

Проведенные исследования показали, что для конкретного потока можно оценить надежность с учетом возможного использования резервов времени на основе следующего полученного эмпирического выражения:

$$H_{\Pi} = \frac{(\zeta + P_{к.п.})}{[2 - P_{к.п.}(1 - \zeta)]}, \quad (5)$$

где  $\zeta$  – характеристика уровня критичности работ всего потока,  $\zeta = \frac{PP}{N \times M}$ ; PP – количество некритических работ, имеющих резервы времени;  $N \times M$  – общее количество работ потока.

Из выражения (5) видно, что показатель организационно-технологической надежности несколько выше, чем значение вероятности  $P_{к.п.}$ .

Эти исследования на основе статистического моделирования показывают возрастание вероятности отказов по частным потокам с концентрацией критических работ или по частным потокам, определяющим продолжительность строительства при непрерывном использовании трудовых и технических ресурсов. Так, при появлении отказов с частотой по распределению Пуассона вероятность безотказной работы с 0,368 для частного потока с одной критической работой уменьшается до 0,073 при включении четырех работ в состав критического пути (например, шестой поток в таблице 1).

Вычисление коэффициента надежности потока можно производить по формуле:

$$H_{\Pi} = 1 - \min P_i \left\langle \frac{m}{i=1} \right\rangle \text{ или } H_{\Pi} = 1 - P_{от}, \quad (6)$$

где  $H_{\Pi}$  – надежность реализации графика потока;  $P_i$  – показатель вероятности возникновения сбоя (отказа) по  $i$ -му частному потоку;  $P_{от}$  – вероятность отказа календарного графика всего потока;  $m$  – количество частных потоков технических и трудовых ресурсов.

По условиям устойчивости календарных графиков его надежность должна превышать установленный норматив (0,9):

$$H_{\Pi} \geq H_{норм}. \quad (7)$$

Расчет вероятности и надежности реализации разработанного графика поточной организации работ и его оптимизация по рассматриваемой методике проиллюстрированы следующим примером.

**Таблица 1. Расчет сроков выполнения работ при непрерывном использовании ресурсов**

Захватки (участки)	Укладка бетона в стыки	Затирка поверхности	Гидро-изоляционные работы	Устройство защитного слоя М-100	Изоляция стен	Облицовочные работы	Малярные работы
№1	0 - 7	10 - 14	16 - 20*	20 - 27	28 - 34 *	34 - 43	50 - 55
№2	7 - 12	14 - 20*	20 - 26	27 - 34*	34 - 41	43 - 49	55 - 64
№3	12 - 15	20 - 25	26 - 29	34 - 37	41 - 42	49 - 60	64 - 69
№4	15 - 20	25 - 27	29 - 31	37 - 39	42 - 46	60 - 64	69 - 71
№5	20 - 26	27 - 30	31 - 35	39 - 43	46 - 49	64 - 70	71 - 74
№6	26 - 30*	30 - 35	35 - 39	43 - 45	49 - 55	70 - 74*	74 - 75

В таблице 1 выделены работы, определяющие общий срок завершения всех работ. Оценка показателя вероятности выполнения данного графика с окончанием работ в 75 дней по выражениям (3) и (4) показывает невыполнение условий (7).

$$P_{к.п.} = \sigma^2(3\sigma^2 - 8\sigma + 6) = 0,548$$

$$\sigma = \frac{(T_{к.п.} - \alpha)}{(\beta - \alpha)} = \frac{(75 - 56)}{(102 - 56)} = 0,413$$

Оценку вероятности завершения всех работ потока в расчетные сроки производим с учетом принятого бета-распределения вероятности для графиков выполнения строительных работ. Принимаем « $\alpha$ » применительно к возможной организации ритмичного потока ( $\alpha = 56$ ), а  $\beta$  применительно к двойному увеличению 25% наиболее продолжительных работ, определяющих общий срок выполнения всех работ ( $\beta = 75 + 11 + 9 + 7 = 102$ ).

Для приведенного примера по выражению (5) оцениваем надежность всего потока с учетом общего числа работ, имеющих резервы времени и не определяющих значение конечного срока:

$$H_{\Pi} = \frac{\left(\frac{18}{42} + 0,548\right)}{2 - 0,548\left(1 - \frac{18}{42}\right)} = 0,579 .$$

Так как  $0,579 \ll 0,9$ , то, не перестраивая потоки, не меняя принятое количество исполнителей и техники, рассчитываем сроки выполнения работ того же потока для ускорения строительства методом формирования критического пути (таблица 2).

**Таблица 2. Расчет сроков выполнения работ по методу критического пути**

Захватки (участки)	Укладка бетона в стыки	Затирка поверхности	Гидро-изоляционные работы	Устройство защитного слоя М-100	Изоляция стен	Облицовочные работы	Малярные работы
№1	0 - 7	7 - 11	11 - 15	15 - 22	22 - 28	28 - 37	37 - 42
№2	7 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 31	31 - 38	38 - 44	44 - 53
№3	12 - 15	18 - 23	24 - 27	31 - 34	38 - 39	44 - 55	55 - 60
№4	15 - 20	23 - 25	27 - 29	34 - 36	39 - 43	55 - 59	60 - 62
№5	20 - 26	26 - 29	29 - 33	36 - 40	43 - 46	59 - 65	65 - 68
№6	26 - 30	30 - 35	35 - 39	40 - 42	46 - 52	65 - 69	69 - 70

Как было показано выше, для поточной организации работ концентрация критических работ на одном частном потоке резко увеличивает вероятность отказа для всего календарного плана. В таблице 2 (обустройство станции) наиболее напряженным является шестой частный поток (чистовая облицовка). Наибольшей вероятностью отказа для данного графика обладает шестой частный поток, так как резерв времени у него минимальный.

Оценку показателя вероятности завершения всех работ потока (в расчетные сроки по таблице 2, принимая в качестве директивного срока 75 дн. по таблице 1) также производим по выражениям (3) и (4). Принимаем  $\alpha$  применительно к возможной организации ритмичного потока ( $\alpha = 56$ ), а  $\beta$  применительно к двойному увеличению 25% наиболее продолжительных работ критического пути ( $\beta = 70 + 11 + 7 + 7 = 95$ ). Тогда вероятность выполнения расчетного срока 75 дн. составит величину:

$$P_{к.п.} = \sigma^2(3\sigma^2 - 8\sigma + 6) = 0,667 ,$$

$$\sigma = \frac{(T_{к.п.} - \alpha)}{(\beta - \alpha)} = \frac{75 - 56}{95 - 56} = 0,487 .$$

Для приведенного примера (таблица 2) по выражению (5) оцениваем надежность всего потока с учетом общего числа некритических работ:

$$H_{\Pi} = \frac{\left[\frac{30}{42} + 0,667\right]}{\left[2 - 0,667\left(1 - \frac{30}{42}\right)\right]} = 0,763 .$$

Надежность частных потоков по выражению (5) определяется следующими значениями:

- для первого частного потока  $H_{п1} = 0,750$ ;
- для шестого частного потока  $H_{п6} = 0,577$ ;
- для остальных работ критического пути  $H_{п2-7} = 0,794$ .

Полученные значения свидетельствуют о большой вероятности возникновения отказов именно на шестом частном потоке, который и снижает общее значение уровня надежности. Рассчитанный уровень надежности рассматриваемого потока не удовлетворяет требованиям установленных нормативов ( $0,763 < 0,9$ ), и график производства работ должен быть улучшен. Так как вероятность отказа наиболее высока на напряженных частных потоках, лежащих на критическом пути, то необходимо в максимальной степени использовать имеющиеся резервы времени у не критических работ. Для оптимизации рассмотренного плана с целью достижения требуемого уровня надежности (0,9) необходимо проанализировать напряженность каждого частного потока с позиций их трудоемкости. При этом сохранение принятой технологии и ее трудоемкости по каждому частному потоку обеспечивает неснижение общей эффективности построенного плана [11, 26, 28].

В таблице 3, в которой сроки выполнения работ определены по таблице 1 и таблице 2, выделены наиболее трудоемкие частные потоки по виду работ и по фронту работ. Критический путь при любой очередности выполнения работ должен проходить в значительной части по этим частным потокам. В связи с этим для уменьшения вероятности возникновения отказов целесообразно начинать первыми наименьшие по продолжительности работы по первому потоку (см. таблицу 2), а по последнему – ставить в конец плана. Критических работ в частном потоке должно быть как можно меньше. С учетом данных положений определяем рациональную очередность освоения частных фронтов работ (таблица 4).

**Таблица 3. Продолжительность выполнения работ по частным потокам**

Захватки (участки)	Укладка бетона в стыки	Затирка поверхности	Гидро-изоляционные работы	Устройство защитного слоя М-100	Изоляция стен	Облицовочные работы	Малярные работы	Итого
№1	7	4	4	7	6	9	5	Σ42
№2	5	6	6	7	7	6	9	Σ46
№3	3	5	3	3	1	11	5	Σ31
№4	5	2	2	2	4	4	2	Σ21
№5	6	3	4	4	3	6	3	Σ29
№6	4	5	4	2	6	4	1	Σ26
Итого	Σ30	Σ25	Σ23	Σ25	Σ27	Σ40	Σ25	Σ195

**Таблица 4. Расчет сроков выполнения работ при оптимизации очередности освоения фронтов работ**

Захватки (участки)	Укладка бетона в стыки	Затирка поверхности	Гидро-изоляционные работы	Устройство защитного слоя М-100	Изоляция стен	Облицовочные работы	Малярные работы	Итого
№3	0 - 3	3 - 8	8 - 11	11 - 14	14 - 15	15 - 26	26 - 31	Σ31
№1	3 - 10	10 - 14	14 - 18	18 - 25	25 - 31	31 - 40	40 - 45	Σ42
№2	10 - 15	15 - 21	21 - 27	27 - 34	34 - 41	41 - 47	47 - 56	Σ46
№5	15 - 21	21 - 24	27 - 31	34 - 38	41 - 44	47 - 53	56 - 59	Σ29
№4	21 - 26	26 - 30	31 - 33	38 - 40	44 - 48	53 - 57	59 - 61	Σ21
№6	26 - 30	30 - 35	35 - 39	40 - 42	48 - 54	57 - 61	61 - 62	Σ26
Итого	Σ30	Σ25	Σ23	Σ25	Σ27	Σ40	Σ25	Σ195

За счет прогнозирования возможных отказов [19] и использования резервов времени у не критических работ удалось на конкретном примере сократить общую продолжительность выполнения комплекса работ по плану таблицы 2 на восемь дней (Тк.п. = 62 вместо Тк.п. = 70). При этом очередность освоения частных фронтов работ несколько изменилась, и общий объем резервов и простой фронтов работ сократился. Для такого плана расчет значения показателя вероятности также производим по выражениям (3) и (4). Принимаем  $\alpha$  применительно к

возможной организации ритмичного потока ( $\alpha = 56$ ), а  $\beta$  применительно к двойному увеличению 25% наиболее продолжительных работ критического пути ( $\beta = 62 + 9 + 7 + 7 = 85$ ). Тогда показатель вероятности выполнения расчетного срока 75 дн. составит величину

$$P_{к.п.} = \sigma^2(3\sigma^2 - 8\sigma + 6) = 0,878,$$

где

$$\sigma = \frac{(T_{к.п.} - \alpha)}{(\beta - \alpha)} = \frac{75 - 56}{85 - 56} = 0,655.$$

Для полученного плана (таблица 4) по выражению (5) оцениваем надежность всего потока с учетом общего числа не критических работ:

$$H_{\Pi} = \frac{\left[ \frac{27}{42} + 0,878 \right]}{\left[ 2 - 0,878 \left( 1 - \frac{27}{42} \right) \right]} = 0,902.$$

Полученный показатель вероятности завершения работ потока и уровень надежности календарного плана (таблица 4) удовлетворяет требованиям установленных нормативов ( $0,902 > 0,9$ ), следовательно, план может быть реализован с незначительной вероятностью отказа. Также следует отметить, что в целях достижения требуемого уровня надежности календарного плана строительство осуществлялось за счет создания временной избыточности и использования временных резервов у частных потоков. При этом принятая по технико-экономическим расчетам технология, оснащение трудовыми и техническими ресурсами не изменялись, что позволило не снижать экономическую эффективность выполнения комплекса работ.

В заключении следует отметить целесообразность построения поточной организации работ при строительстве линейно-протяженных сооружений, так как поток, как организационная структура, обладает более высоким уровнем надежности, чем любая другая неструктурированная организация работ [3–6, 15]. На основе проведенных исследований предложена зависимость, позволяющая заблаговременно оценить уровень надежности поточной организации с учетом имеющихся основ теории вероятности и надежности строительных процессов.

Кроме того, поточная организация работ позволяет производить структурные перестроения для достижения более высоких значений эффективности и надежности на базе применения современных высоких технологий. Повышение достоверной надежности строительных потоков обеспечивает более широкое применение поточной организации работ, что имеет большое практическое значение для повышения производительности труда.

## Литература

1. Clarc-Hugnes J., Mawdesley M.J. Avoiding construction disputes through active Project Management. UK // World congress on Projece Management. Saint-Petersburg, 1995. Pp. 34–62.
2. Абсалямов Д.Р. Повышение надежности инженерных систем методом формализации поиска отказов // Инженерно-строительный журнал. 2012. №2. С. 39–47.
3. Bayburin A.Kh., Golovnev S.G. Implementation of pile foundation quality and serviceability // Proceedings of the International Geotechnical Symposium "Geotechnical Aspects of Natural and Man-Made Disasters". Astana, Kazakhstan Geotechnical Society, 2005. Pp. 144–147.
4. Байбурин, А.Х., Головнев С.Г. Оценка качества строительно-монтажных работ на основе показателей надежности // Известия вузов. Строительство. 1998. №2. С. 67–70.
5. Байбурин А.Х., Головнев С.Г. Формирование системы показателей качества в строительстве // Известия вузов. Строительство. 1999. №8. С. 57–60.
6. Байбурин А.Х. Надежность как критерий для классификации дефектов в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. №10. 2000. С. 25–26.

Абдуллаев Г.И., Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов

7. Рогонский В.А., Костриц А.И., Шеряков В.Ф. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. СПб.: Стройиздат, 2004. 272 с.
8. Engineering manual of automatic control for commercial buildings. SI Edition / Honeywell Inc. USA, 1997. 502 p.
9. Томаев Б.М. Надежность строительного потока. М.: Стройиздат, 1983. 129 с.
10. Ансофф И.А. Стратегическое управление. М.: Экономика, 1989. 519 с.
11. Bayar T. Associate Editor. Better Renewables Risk Management Solutions Emerge // Renewable Energy World. 2012. №3. Pp. 22–24.
12. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М.: Дело, 2001. 832 с.
13. Nazari M., Akbari Foroud A. Optimal strategy planning for a retailer considering medium and short-term decisions // International journal of Electrical power & Energy systems. 2013. Vol. 45. Issue 1. Pp. 107–116.
14. Крылов Э.И. Основные принципы оценки эффективности инвестиционного проекта. СПб.: СПбГУАП, 2003. 47 с.
15. Крылов Э.И. Технико-экономический анализ влияния интенсивных факторов на повышение эффективности труда. СПб.: СПбГУАП, 2004. 17 с.
16. Чувев Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузьмин В.И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. М.: Советское радио, 1975. 400 с.
17. Averkin A.N., Titova N.V., Agrafonova T.V. Synthesis of distributed fuzzy hierarchical model in decision support systems in fuzzy environment // Proceeding of the 5th EUSFLAT Conference. Ostrava, Czech Republic. 2007. Vol. 1. Pp. 377–379.
18. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 303 с.
19. Ocheana L., Popescu D., Florea C. Risk and hazard prevention using remote intervention // Scientific bulletin. 2012. Issue 3. Pp.18–25.
20. Абдуллаев Г.И. Основные направления повышения надежности строительных процессов // Инженерно-строительный журнал. 2010. №4(14). С. 59–60.
21. Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства в условиях автоматизированных систем проектирования. М.: Стройиздат, 1974. 252 с.
22. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2003. Vol. 18. Issue 6. Pp. 426–439.
23. Абдуллаев Г.И., Величкин В.З. Особенности оценки надежности строительных потоков // Инженерно-строительный журнал. 2009. №4(6). С. 53–54.
24. Абдуллаев Г.И. Оценка уровня надежности с учетом организационно-технологических параметров строительства линейно-протяженных сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2009. №8(10). С. 62–64.
25. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. М., 1989.
26. Гусева М.Н. Надежность и эффективность систем управления в строительном бизнесе. М.: Государственный университет управления, 2004. 38 с.
27. Шульман Г.С., Романов М.В. Надежность инженерных сооружений. СПб.: СПбГТУ, 1997. 48 с.
28. Хибухин В.П., Величкин В.З., Втюрин В.И. Математические методы планирования и управления строительством. Л.: Стройиздат, Ленингр. Отделение, 1990. 140 с.

*\*Виктор Захарович Величкин, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. раб.: +7(812)297-59-49; эл. почта: V.Velichkin2011@yandex.ru*

© Абдуллаев Г.И., Величкин В.З., Солдатенко Т.Н., 2013

doi: 10.5862/MCE.38.6

## The organizational and technological reliability improvement in construction by using failure prediction method

**G.I. Abdullayev;****V.Z. Velichkin;****T.N. Soldatenko,***Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia**+7(812)297-59-49; e-mail: V.Velichkin2011@yandex.ru*

### Key words

planned schedule; resource reserves; reliability level; organizational and technological reliability; probability index; failure and rejection; refusals

### Abstract

The study shows how to assess the schedule reliability with available reserves of time in non-critical operations.

The basis for assessing the reliability is the probability index of plan fulfillment, which is calculated according to known methods based on the beta-distributed random variables. The critical path operations postulate the highest probability of failures. Time reserves in non-critical operations of private flows have a compensating effect on the impact of the failures (delays) occurred on the critical path.

The appropriate dependence for accounting time reserves in non-critical operations and calculated values of probability is proposed. In case of necessity of increasing the level of organizational and technical reliability the technique of changing the order of development of particular fronts based on the prediction of possible failures is proposed. The necessary computational techniques are given.

### References

1. 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.
2. Absalyamov D.R. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No.2. Pp. 39–47. (rus)
3. Baiburin A.Kh., Golovnev S.G. Implementation of pile foundation quality and serviceability. *Proceedings of the International Geotechnical Symposium "Geotechnical Aspects of Natural and Man-Made Disasters"*. Astana, Kazakhstan Geotechnical Society, 2005. Pp. 144–147.
4. Bayburin A.Kh., Golovnev S.G. *News of higher educational institutions. Construction*. 1998. No.2. Pp. 67–70. (rus)
5. Bayburin A.Kh., Golovnev S.G. *News of higher educational institutions. Construction*. 1999. No.8. Pp. 57–60. (rus)
6. Bayburin A.Kh. *Industrial and Civil Engineering*. No.10. 2000. Pp. 25–26. (rus)
7. Rogonskiy V.A., Kostrits A.I., Sheryakov V.F. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost zdaniy i sooruzheniy* [Maintainability of buildings and structures]. Saint-Petersburg: Stroyizdat, 2004. 272 p. (rus)
8. *Engineering manual of automatic control for commercial buildings*. SI Edition / Honeywell Inc. USA, 1997. 502 p.
9. Tomayev B.M. *Nadezhnost stroitel'nogo potoka* [Reliability of the construction production line]. Moscow: Stroyizdat, 1983. 129 p. (rus)
10. Ansoff I.A. *Strategicheskoye upravleniye* [Strategic management]. Moscow: Ekonomika, 2006. 519 p. (rus)
11. Bayar T. Associate Editor. Better Renewables Risk Management Solutions Emerge. *Renewable Energy World*. 2012. No.3. Pp. 22–24.
12. Vilenskiy P.L., Livshits V.N., Smoliak S.A. *Otsenka effektivnosti investitsionnykh proektov. Teoriya i praktika* [Investment projects performance evaluation]. Moscow: Delo, 2001. 832 p. (rus)
13. Nazari M., Akbari Foroud A. Optimal strategy planning for a retailer considering medium and short-term decisions. *International journal of Electrical power & Energy systems*. 2013. Vol. 45. Issue 1. Pp. 107–116.

Abdullayev G.I., Velichkin V.Z., Soldatenko T.N. The organizational and technological reliability improvement in construction by using failure prediction method

14. Krylov E.I. *Osnovnye printsipy otsenki effektivnosti investitsionnogo proekta* [Fundamentals of investment projects performance evaluation]. Saint-Petersburg; SPbGUAP, 2003. 47 p. (rus)
15. Krylov E.I. *Tekhniko-ekonomicheskiy analiz vliyaniya intensivnykh faktorov na povysheniye effektivnosti truda* [Technical and economic study of impact of intensive factors on labour productivity]. Saint-Petersburg: SPbGUAP, 2004. 17 p. (rus)
16. Chuyev Yu.V., Mikhaylov Yu.B., Kuzmin V.I. *Prognozirovaniye kolichestvennykh kharakteristik protsessov* [Forecasting of process quantitative characteristics]. Moscow: Sovetskoye radio, 1975. 400 p. (rus)
17. Averkin A.N., Titova N.V., Agrafonova T.V. Synthesis of distributed fuzzy hierarchical model in decision support systems in fuzzy environment. *Proceeding of the 5th EUSFLAT Conference*. Ostrava, Czech Republic. 2007. Vol. 1. Pp. 377–379.
18. Afanasyev V.A. *Potochnaya organizatsiya stroitelstva* [Mass organization of construction]. Leningrad: Stroyizdat, Leningr. Otdeleniye, 1990. 303 p. (rus)
19. Ocheana L., Popescu D., Florea C. Risk and hazard prevention using remote intervention. *Scientific bulletin*. 2012. Issue 3. Pp.18–25.
20. Abdullayev G.I. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No.4(14). Pp. 59–60. (rus)
21. Gusakov A.A. *Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost stroitel'nogo proizvodstva v usloviyakh avtomatizirovannykh sistem proyektirovaniya* [The organizational and technological reliability of building using automated design systems]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 252 p. (rus)
22. Liu K.F.R. A Possibilistic Petri Net Model for Diagnosing Cracks in RC Structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2003. Vol. 18. Issue 6. Pp. 426–439.
23. Abdullayev G.I., Velichkin V.Z. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No.4(6). Pp. 53–54. (rus)
24. Abdullayev G.I. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No.8(10). Pp. 62–64. (rus)
25. GOST 27.002-89. *Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [Reliability in engineering. Terms and definitions]. Moscow, 1989.
26. Guseva M.N. *Nadezhnost i effektivnost sistem upravleniya v stroitel'nom biznese* [Reliability and efficiency of control systems in building business]. Moscow: Gosudarstvennyy universitet upravleniya, 2004. 38 p. (rus)
27. Shulman G.S., Romanov M.V. *Nadezhnost inzhenernykh sooruzheniy* [Reliability of engineering structures]. Saint-Petersburg: SPbGTU, 1997. 48 p. (rus)
28. Khibukhin V.P., Velichkin V.Z., Vtiurin V.I. *Matematicheskiye metody planirovaniya i upravleniya stroitel'stvom* [Mathematical planning and management techniques in building]. Leningrad: Stroyizdat, Leningr. Otdeleniye, 1990. 140 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 43–50**