

УДК 69.05

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

С.М. Кузнецов¹, О. В. Демиденко², Н.Е. Алексеев²

¹Сибирский государственный университет путей сообщения, Россия, г. Новосибирск;

²НОУ ВПО Омская гуманитарная академия, Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье проанализированы характерные особенности надежности систем строительного производства. Рассмотрены особенности определения надежности технологических процессов и производственных систем в строительстве. Для оценки надежности транспортно-технологического процесса предложен функциональный подход, реализуемый с помощью обобщенного структурного метода. На основе проведенного исследования в качестве показателей надежности транспортно-технологического процесса предлагается использовать коэффициент эксплуатационной готовности и вероятность безотказной работы. Критерием выбора проектируемой транспортно-технологической системы предлагается использовать приведенные затраты.

Ключевые слова: проектирование, надежность, транспортно-технологический процесс, коэффициент эксплуатационной готовности, вероятность безотказной работы, приведенные затраты.

Введение

Понятие надежность относится к техническим терминам. В научной литературе надежностью называют свойство изделий и систем выполнять свои функции в определенном количестве и определенных условиях эксплуатации и времени. Система производства в строительстве значительно более высокого порядка сложности по составу и взаимосвязи элементов, чем технические. Сложность систем строительного производства определяется значительным количеством последовательно и параллельно связанных элементов, таких как заказчик, инвестор, застройщик, генподрядчик, проектные, субподрядные, страховые, консалтинговые, финансово-кредитные организации, поставщики, автотранспортные предприятия и др. [1].

Большие системы обладают меньшей надежностью, так как возрастает вероятность выхода из строя или отклонения от запроецированных параметров хотя бы одного из каналов связи или элементов системы. Это обусловлено тем, что в системе строительного производства для многих элементов характерны разные по уровню, не согласующиеся между собой цели или конфликты этих целей [2].

Создание высококачественной строительной продукции с оптимальными стоимостными показателями возможно при наличии высокоэффективных технологических процессов и производственных систем, обладающих требуемым уровнем надежности.

Надежностью производственных систем в строительстве называется их способность сохранять в заданных пределах свои запроецированные качества в условиях воздействия возмущающих факторов, присущих строительству как сложной вероятностной системе.

При оценке надежности технологических процессов необходимо учитывать, что любой технологический процесс строительного производства есть совокупность техники, технологического оборудования, исходных материалов или комплектующих изделий, контрольно-измерительной аппаратуры и персонала. Специализация технологических процессов и необходимость объединения их в производственную систему значительно снижает надежность строительного производства, если не разрабатываются какие-либо организационные и экономические управленческие решения.

Таким образом, для оценки надежности производственной системы необходимо знать показатели надежности для каждой составляющей процесса, каждого элемента системы и системы в целом, которые оцениваются различными методами. В настоящее время отсутствуют руководящие документы по оценке надежности технологических процессов и производственных систем в строительстве.

Надежность транспортно-технологического процесса в строительстве

Одними из основных структурных элементов системы строительного производства являются подсистемы производства материалов и конструкций, их транспортирования и выполнения строительно-монтажных работ.

Общая задача рассматриваемой системы – обеспечение своевременного ввода объектов в эксплуатацию при минимуме возможной стоимости их строительства и высоком качестве производства работ. В соответствии с общей целью строительного производства для подразделений, входящих в эту систему определены конкретные задачи: выпуск и приобретение необходимого количества и нужного качества материалов, изделий и конструкций; своевременная доставка материальных ресурсов в заданной номенклатуре на строительный объект и производство строительно-монтажных работ в соответствии с календарным планом строительства.

Система транспортно-технологического обеспечения состоит из подсистем погрузки, транспортировки и разгрузки. Транспортная подсистема включает операции ожидания загрузки-разгрузки, маневрирования автомобилей в пунктах загрузки и разгрузки, выполнения погрузочно-разгрузочных работ и оформления документов.

Транспортно-технологический процесс относится к производственным системам, включающим в свой состав различные производственные подразделения и технические средства (управления производственно-технической комплектации, управления механизации, строительные площадки, транспортные средства, погрузочно-разгрузочные механизмы и др.) Предпочтительным при оценке надежности таких систем представляется функциональный подход позволяющий рассчитать интегральный показатель через известные характеристики надежности, составляющие технологический процесс и производственную систему в целом.

Функциональный подход можно реализовать с помощью обобщенного структурного метода, установив множество возможных принципов построения системы и ее элементов, множество взаимосвязанных частных целей системы, множество взаимосвязанных элементов [3].

Интегральным показателем надежности транспортно-технологического процесса может служить вероятность выполнения инвестиционного строительного проекта в определенных условиях в течение заданного промежутка времени.

При оценке надежности технологического процесса в основу положена структура функционирования, методика построения которой аналогична методике моделирования. Эта методика заключается в последовательном выполнении следующих этапов.

1. Составление алгоритма функционирования процесса в описательной форме.

2. Формализованная запись алгоритма, расчленение технологического процесса до уровня операций, для которых могут быть заданы количественные характеристики надежности их выполнения. При этом выделяют: рабочие операции, т.е. операции, при невыполнении хотя бы одной из которых цель не будет достигнута, по результатам которых определяют показатели надежности; операции диагностического контроля, т.е. операции, цель которых состоит в контроле исправности технических средств, используемых для выполнения рабочих операций, т.е. контроль качества технологического процесса; операции контроля ошибок, т.е. операции, цель которых – контроль безошибочности выполнения предшествующих рабочих операций.

3. Выбор исходных данных по количественным характеристикам надежности выполнения отдельных технологических операций, составляющих построенную структуру. Необходимые исходные данные определяются на основании специальных испытаний, хронометражных наблюдений или справочных материалов.

4. Определение количественных значений показателей надежности.

В результате анализа построенных структур выделяются типовые элементы операций, для которых могут быть получены зависимости по определению характеристик надежности. С помощью этих зависимостей структура любой сложности может быть приведена к таковой, что все ее операции будут представлять собой последовательную цепочку эквивалентных единиц, для большинства из которых известны методы определения показателей надежности.

Существует несколько разновидностей методов расчета надежности, которые зависят от конструкции элементов системы и ее состава, а также от характера взаимосвязи между элементами системы и вида закона распределения времени безотказной работы и др. Сущность расчета заключается в определении численных значений основных показателей надежности. Знание количественных значений надежности позволяет объективно оценить структуру производственных систем, характер существующих в системе взаимо-

связей, а также степень влияния технических средств системы на надежность безотказной ее работы. Количественный анализ надежности производственной системы требует учета большого количества детерминированных и стохастических факторов, которые можно оценить с помощью теории случайных процессов, математической статистики и теории вероятности.

В качестве характеристик надежности производственных систем можно использовать:

- наработку на отказ, представляющую собой среднее время выполнения технологического процесса между двумя смежными отказами, вызванными нарушением в предшествующих звеньях транспортно-технологической системы;
- среднюю продолжительность работы в соответствии с графиком работ;
- интенсивность отказов, представляющую собой среднее количество отклонений в единицу времени от запланированного графика производства работ и др.

Система строительного производства обладающая более сложной структурой по составу и взаимосвязи, чем технические способна перестраивать свою структуру для сохранения работоспособности при отказе отдельных элементов. Каждое из работоспособных состояний характеризуется эффективностью работы, которая может измеряться производительностью, вероятностью выполнения своей задачи и др. Обобщающим показателем надежности восстанавливаемых производственных систем является коэффициент эксплуатационной готовности, под которым понимается вероятность того, что процесс в произвольный момент времени функционирует нормально.

Транспортно-технологический процесс относится к восстанавливаемым системам, к показателям надежности относятся коэффициент эксплуатационной готовности и вероятность безотказной работы.

Отказ транспортно-технологической системы - это событие, заключающееся в потере работоспособности или отклонении от запрограммированного графика выполнения работ. Отказы могут быть двух видов:

- 1) внезапными, обусловленными отдельными нарушениями, момент наступления которых практически невозможно прогнозировать - поломка транспортных средств и погрузочно-разгрузочных механизмов, ошибка машиниста, дефекты строительных материалов, отсутствие материалов, нарушение электро-

снабжения, простой по организационным причинам;

- 2) постоянными, вызванными неправильным или дискретным характером изменений состояния технологической системы и приводящие к постепенной потере работоспособности - износ погрузочно-разгрузочного механизма, старение деталей оборудования, нарушение технического обслуживания транспортных средств, наличие перегрузок.

Транспортно-технологический процесс состоит из ряда взаимозависимых последовательно выполняемых операций, нарушение графика производства каждой из них вызывает перебои во всей системе. В соответствии с [4] коэффициент эксплуатационной готовности таких систем ($K_{э.г.}$) определяется по формуле

$$K_{э.г.} = \prod_{i=1}^n K_{э.г.i} \quad (1)$$

где n - количество самостоятельных операций транспортно-технологического процесса; $K_{э.г.i}$ - коэффициент готовности i -й операции, представляющий собой вероятность выполнения каждой операции технологического процесса в установившемся режиме в произвольный момент времени.

Вероятность безотказной работы транспортно-технологического процесса (P) определяется

$$P = \prod_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

где P_i - надежность i -й операции, представляющая собой вероятность выполнения операции транспортно-технологического процесса в соответствии с графиком.

С целью исследования надежности транспортно-технологического процесса рассмотрена работа грузоотправителей, грузополучателей и подвижного состава автомобильного транспорта при возведении ряда строящихся объектов в г. Омске. В соответствии с [5] определена продолжительность строительства жилых домов, на основе которой разработан календарный план производства работ на объекте в виде линейного графика с указанием перечня работ в технологической последовательности выполнения, объема работ, определенного по рабочим чертежам и сметам, трудоемкости работ и затрат машинного времени, продолжительности работ, количества смен, числа рабочих в смену и состав звена.

Для подтверждения расхождения фактических затрат времени выполнения операций

транспортно-технологического процесса с нормированными величинами проведено исследование с помощью натурных наблюдений по фотографиям рабочего дня водителя при доставке материалов и конструкций на строительство жилых зданий.

В результате обработки экспериментальных данных хронометражных наблюдений продолжительности выполнения операций транспортно-технологического процесса установлена вероятность выполнения каждой операции транспортно-технологического процесса в соответствии с графиком при доставке плит перекрытия и строительных растворов.

Надежность транспортно-технологического процесса доставки плит перекрытия составила 60 %, строительных растворов 53 %. Выявлено, что вследствие влияния на транспортно-технологический процесс различных случайных факторов графики поставки материалов на строительный объект не соблюдаются. Это приводит к нарушению графиков производства строительно-монтажных работ. Вероятностное взаимодействие элементов системы между собой и с внешней средой не учитывается организационно-технологической документацией по возведению зданий. Наибольшие потери при этом несут строительные организации [6].

Вероятность безотказного функционирования транспортно-технологического процесса зависит от количества каналов связи.

Производственные взаимоотношения между отдельными подразделениями, выполняющими транспортно-технологический процесс, в зависимости от их характера рассматриваются как односторонний или двухсторонний канал связи. При проектировании транспортно-технологического процесса необходимо установить оптимальную надежность каналов связи, т.е. такую надежность, при которой обеспечивается наибольшая вероятность безотказной работы системы.

По характеру взаимоотношений подразделений системы события в каналах связи можно рассматривать как совместные, а между отдельными элементами системы как несовместные. Для того, чтобы погрузить строительные материалы на автомобиль, грузоотправителю и автотранспортному предприятию необходимо выполнить ряд совместных операций. К ним относятся: подготовка грузов, подъездных путей, погрузочных механизмов и вспомогательных устройств, подача подвижного состава в пункт погрузки, вертикальное, горизонтальное и комбинированное перемещение грузов, оформление товарно-транспортных накладных и т.д. Про-

цессы погрузки и разгрузки автомобиля, транспортировки грузов и сопутствующий им информационный поток являются несовместными, т.к. одновременное появление этих событий невозможно.

Вероятность появления одного из двух событий в канале связи определяется как сумма вероятностей этих событий за вычетом вероятности их совместного появления, а вероятность событий всех каналов связи системы равна произведению вероятностей каждого канала связи. На основе рассчитанных показателей вероятности безотказного периода доставки строительных конструкций и материалов, определенных на основе хронометражных наблюдений установлено, что при прочих равных условиях функционирования производственных систем транспортно-технологические процессы, осуществляемые на условиях трехканальной системы связи имеют уровень надежности выше, чем в условиях пятиканальной [7]. Таким образом, недостаточная разработка вопросов совместной деятельности всех участников транспортно-технологической системы приводит к нерациональному использованию транспортных средств, снижению производительности в строительстве и на транспорте, увеличению себестоимости и сроков сдачи объектов в эксплуатацию. Это требует от системы управления выработки и реализации мероприятий, ликвидирующих отрицательные отклонения.

На стадии проектирования выбор наиболее надежной транспортно-технологической системы перевозок строительных грузов необходимо осуществлять путем сравнения приведенных затрат, связанных с созданием и эксплуатацией системы. Сравнительная оценка различных систем по приведенным затратам должна проводиться с учетом принципа равенства производственного эффекта, т.е. равной надежности работы системы. При сравнении систем с разной надежностью необходимо учитывать дополнительные ежегодные затраты, обусловленные нарушением надежности системы [8].

Издержки участников транспортно-технологической системы перевозок грузов, обусловленные нарушением надежности системы "поставщик-транспорт-объект строительства", состоят из следующих основных групп: издержек, связанных с уменьшением объемов выпуска продукции; издержек, вызванных вынужденным изменением установленного режима работы предприятий; прямых расходов, обусловленных ликвидацией отказов в отдельных элементах системы и кана-

лах связи; косвенного ущерба, причиненного вследствие недоиспользования основных и оборотных средств предприятий, включенных в систему.

Издержки, связанные с уменьшением объемов выпуска продукции, складываются из затрат на оплату времени простоя работников, осуществляющих отгрузку материалов потребителям, накладных расходов и амортизационных отчислений предприятий. Издержки, связанные с вынужденным изменением установленного ритма работы предприятий, принимаются по фактическим отчетным данным.

Прямые расходы, вызванные ликвидацией отказов в отдельных элементах и каналах связи транспортно-технологической системы, определяются путем умножения времени простоя на стоимость одного часа восстановления надежности. Косвенные расходы рассматриваются как ущерб предприятий, входящих в состав системы, связанный с платой за основные фонды в период отказов системы.

Заключение

Наличие взаимосвязи транспортного процесса с технологическими процессами производства (комплектации) строительных материалов и выполнения строительно-монтажных работ обуславливает необходимость разработки теоретических положений проектирования надежности транспортно-технологических процессов. Для этого необходимо выбрать методы моделирования надежности транспортно-технологического процесса, способствующие своевременному и эффективному обеспечению строительных потоков необходимыми материальными ресурсами.

Продолжительность операций транспортно-технологического процесса является случайной величиной. Любое воздействие случайных факторов приводит к отклонениям фактической продолжительности работ и фактических затрат ресурсов на выполнение этих работ от значений, принятых в исходных планах и графиках. Несоблюдение графиков поставки материалов на строительные объекты вызывает потери рабочего времени, отказы строительного потока, которые существенно сказываются на эффективности строительства. Потери рабочего времени могут быть уменьшены за счет выполнения соответствующих мероприятий. Сведения о фактической продолжительности отдельных операций транспортно-технологического процесса в строительных организациях должны учитываться при составлении графиков производства строительно-монтажных работ.

Мероприятия, направленные на повышение надежности транспортно-технологического процесса должны быть экономически обоснованы. Выбор рационального варианта проектных решений транспортно-технологического процесса осуществляется на основе: оптимальной конструкции системы; количественных значений показателей надежности; оценки различных систем по надежности управления.

Библиографический список

1. Демиденко, О.В. Основы управления строительным потоком / О. В. Демиденко // Омский научный вестник. – 2013. – № 1 (115). – С. 68-71.
2. Гусаков, А.А. Организационно-технологическая надёжность строительства / А.А.Гусаков, С.А. Веремеенко, А.В.Гинзбург и др. М.: Внешторг-издат, 1994. – 472 с.
3. Демиденко, О.В. Экономико-математическая модель транспортно-технологического процесса в строительстве / О.В. Демиденко // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2013. – № 4 (14). – С. 20–25.
4. ГОСТ Р 53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2010. – 27с.
5. СНиП 1.04.03-85*. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. – М.: ЦНИИ-ОМТ, 1990. – 136с.
6. Демиденко, О. В. Экономико-математическая модель работы стреловых кранов / О.В. Демиденко, В.Н. Анферов, С.М. Кузнецов, М.Ю. Серов, С.И. Васильев // Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 4. – С. 35–40.
7. Алексеев, Н.Е. Анализ состояния транспортно-технологического процесса в строительстве / Н.Е. Алексеев, О.В. Демиденко // Омский научный вестник. – 2015. – № 2 (136). – С. 217-220.
8. Исаков, А.Л. Оптимизация работы комплекса машин / Исаков А.Л. Кузнецова К.С., Кузнецов С.М. // Экономика ж. д. – 2013. – № 1. – С. 85–91.

DESIGNING RELIABILITY OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL PROCESS IN CONSTRUCTION

S.M. Kuznetsov, O.V. Demidenko, N.E. Alekseev

Abstract. The authors analyze the characteristics of reliability of construction production's systems. There are considered the peculiarities of determining reliability of technological processes and production systems in construction. To assess the reliability of transport and technological process there is offered a functional approach realized by means of the generalized structural method. On the basis of the conducted research as the indicators of reliability of transport and technological process it is offered to use a coefficient of operational readiness and probability of no-failure operation. There is offered to use the given expenses as the criterion of choosing designed transport and technological system.

Keywords: design, reliability, transport and technological process, coefficient of operational readiness, probability of no-failure operation, given expenses.

References

1. Demidenko O.V. Osnovy upravleniya stroitel'nym potokom [Bases of construction stream management]. *Omskij nauchnyj vestnik*, 2013, no 1 (115). pp. 68–71.
2. Gusakov A.A., Veremeenko S.A., Ginzburg A.V. *Organizacionno-tehnologicheskaja nadjozhnost' stroitel'stva* [Organizational and technological reliability of construction]. Moscow, Vneshtorg-izdat, 1994. 472 p.
3. Demidenko O.V. Jekonomiko-matematicheskaja model' transportno-tehnologicheskogo processa v stroitel'stve [Economical and mathematical model of transport and technological process in construction]. *Nauka o cheloveke: gumanitarnye is-sledovaniya*, 2013, no 4 (14). pp. 20–25.
4. *State standard R 53480-2009. Nadezhnost' v tehnike. Terminy i opredeleniya* [GOST P 53480-2009. Reliability in equipment. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform, 2010. 27p.
5. SNiP 1.04.03-85*. Normy prodolzhitel'no-sti stroitel'stva i zadela v stroitel'stve predpriyatij, zdaniy i sooruzhenij [Construction Norms and Regulations 1.04.03-85*. Norms of duration and reserve in the construction of enterprises, buildings and constructions]. Moscow, CNII-OMT, 1990. 136 p.
6. Demidenko O.V., Anferov V.N., Kuznecov S.M., Serov M.Ju., Vasil'ev S.I. Jekonomiko-matematicheskaja model' raboty strelovyh kranov [Economic and mathematical model of jib cranes' operation]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 2014, no 4. pp. 35–40.
7. Alekseev N.E., Demidenko O.V. Analiz sostojanija transportno-tehnologicheskogo processa v stroitel'stve [The analysis of a condition of transport and technological process in construction]. *Omskij nauchnyj vestnik*, 2015, no 2 (136). pp. 217–220.
8. Isakov A.L., Kuznecova K.S., Kuznecov S.M. Optimizacija raboty komplek-sa mashin [Optimization of a complex of cars' work]. *Jekonomika zh. d*, 2013, no 1. pp. 85–91.

Кузнецов Сергей Михайлович (Россия, г. Новосибирск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология, организация и экономика строительства» Сибирского государственного университета путей сообщения. (630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, e-mail: ksm56@yandex.ru).

Демиденко Ольга Владимировна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Коммерции, маркетинга и рекламы» НОУ ВПО Омская гуманитарная академия; доцент кафедры «Организация и технология строительства» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644115, г. Омск, ул. 4-я Челюскинцев, 2а, e-mail: dovanddms@yandex.ru).

Алексеев Николай Евгеньевич (Россия, г. Омск) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Коммерции, маркетинга и рекламы» НОУ ВПО Омская гуманитарная академия; доцент кафедры «Общая экономика и право» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644115, г. Омск, ул. 4-я Челюскинцев, 2а, e-mail: oeip@mail.ru).

Kuznetsov Sergey Mikhailovich (Russian Federation, Novosibirsk) – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Technology, organization and economy of construction» of the Siberian State Transport University. (630049, Novosibirsk, 191 D. Kovalchuk st., e-mail: ksm56@yandex.ru).

Demidenko Olga Vladimirovna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Commerce, marketing and advertising» of Omsk Humanitarian Academy; associate professor of the department «Organization and technology of construction» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI). (644115, Omsk, 4th 2a Chelyuskintsev st., e-mail: dovanddms@yandex.ru).

Alekseev Nikolai Evgenievich (Russian Federation, Omsk) – candidate of economic sciences, associate professor of the department «Commerce, marketing and advertising» of Omsk Humanitarian Academy; associate professor of the department «General economics and law» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI). (644115, Omsk, st. 4th Chelyuskintsev 2a, e-mail: oeip@mail.ru).