

УДК 69.05

Е.Г. Пахомова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: egrakhomova@yandex.ru)

Н.В. Бредихина, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (КУРСК) (e-mail: natalybredikhin@yandex.ru)

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОТОКА

Анализ реализации строительных процессов показывает, что в случайные моменты времени возникают простои. По мере их устранения, в течение достаточно длительного времени функционирования строительного потока наблюдается «поток» отказов.

Для строительного потока условие стационарного возникновения простоев выполняется не всегда. Так, вероятность возникновения простоев какого-то частного потока по различным причинам может меняться в пределах определенного временного промежутка. Естественно предположить, что в начале смены возможны простои частного потока, а именно, из-за несвоевременной доставки рабочих на строительную площадку по случайным причинам, из-за ожидания транспорта со строительными конструкциями или материалами, каких-либо трудностей приведения машин в рабочее состояние и по целому ряду других причин.

Наиболее важными характеристиками процесса возникновения простоев («потока» отказов) являются интенсивность этого процесса и его параметры. Под «потоком» отказов в теории надежности понимается последовательность отказов, происходящих один за другим в случайные моменты времени. Вид «потока» отказов определяет свойства системы и критерии надежности, а также методы ее расчета и исследования. Поэтому изучение «потока» отказов играет важную роль при исследовании надежности любой системы, в том числе и строительного потока. Вероятность наступления отказов в течение конкретного промежутка времени не зависит от того, сколько было отказов и как они распределялись до этого промежутка, то есть отказы являются событиями случайными и независимыми. Стационарность случайного процесса времени возникновения отказов означает, что на любом промежутке времени вероятность возникновения отказов зависит только от величины временного промежутка, но не изменяется от сдвига по оси времени.

В теории надежности различают несколько типов «потоков» отказов. В статье приводится анализ соответствия процесса возникновения простоев частных потоков пуассоновскому «потоку» отказов.

Ключевые слова: строительный процесс, строительный поток, простой, надежность, вероятность отказа, пуассоновский поток.

В различных практических задачах часто встречаются ситуации, когда с течением времени случайным образом осуществляются те или иные однородные события, например прибытие автопанелевозов со строительными конструкциями для монтажа здания, возникновение простоев строительного потока, прибытие самолетов в аэропорт, поступление вызовов на телефонную станцию, обращение пациентов в поликлинику и т. п. Абстрагируясь от конкретного содержания событий, и сосредоточив внимание лишь на самом механизме их появления, все эти случаи можно рассматривать как «поток» однородных событий.

В общем случае под «потоком однородных событий» понимают случайный процесс $N(t)$ с целочисленными неотрицательными значениями и непрерывным временем.

При реализации строительных процессов в случайные моменты времени возникают простои. В процессе их устранения в течение достаточно длительного времени функционирования строительного потока наблюдается «поток» отказов [1, 2, 3, 4].

Под «потоком» отказов в теории надежности понимается последовательность отказов, происходящих один за другим в случайные моменты времени

[5]. Вид «потока» отказов определяет свойства системы и критерии надежности, а также методы ее расчета и исследования. Поэтому изучение «потока» отказов имеет исключительно важное значение при исследовании надежности любой системы, в том числе и строительного потока.

Наиболее важными характеристиками процесса возникновения простоев («потока» отказов) являются интенсивность этого процесса и его параметры. При этом под интенсивностью процесса возникновения простоев $M(\Theta)$ понимается математическое ожидание числа простоев в единицу времени. Под параметром «потока» отказов $\lambda(t)$ понимается предел отношения вероятности появления хотя бы одного простоя за промежуток времени Δt к величине данного промежутка при $\Delta t \rightarrow 0$, то есть

$$\lambda t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(t, t + \Delta t)}{\Delta t}. \quad (1)$$

В теории надежности различают несколько типов «потоков» отказов. Пуассоновским называется такой «поток», при котором время возникновения отказов удовлетворяет одновременно условиям стационарности, отсутствия последствия и ординарности [6; 7; 8, с. 46 - 51]. Проследим, удовлетворяет ли процесс возникновения простоев частных потоков указанным условиям, то есть является ли он пуассоновским «потоком» отказов.

Стационарность случайного процесса времени возникновения отказов означает, что на любом промежутке времени Δt вероятность возникновения n отказов зависит только от величины промежутка Δt , но не изменяется от сдвига Δt по оси времени.

Строго говоря, для строительного потока условие стационарного возникновения его простоев выполняется не всегда. Так, вероятность возникновения простоев какого-то частного потока по различным причинам может меняться в пределах смены. Естественно предположить, что в начале смены возможны простои частного потока из-за несвоевременной доставки рабочих на место работы по случайным причинам, из-за ожидания транспорта со строительными конструкциями или материалами, каких-либо трудностей приведения машин в рабочее состояние и по целому ряду других причин. Затем строительный процесс стабилизируется и уменьшается вероятность простоя. К концу дня вновь несколько увеличивается вероятность простоев, например, по причине утомляемости рабочих и т.п. В то же время совершенно ясно, что, например, вероятность выпадения осадков или поломки машин и большинства других разновидностей простоев не зависит от времени суток, то есть можно приближенно принять $M(\Theta) = \text{const}$ (на рисунке показано пунктиром).

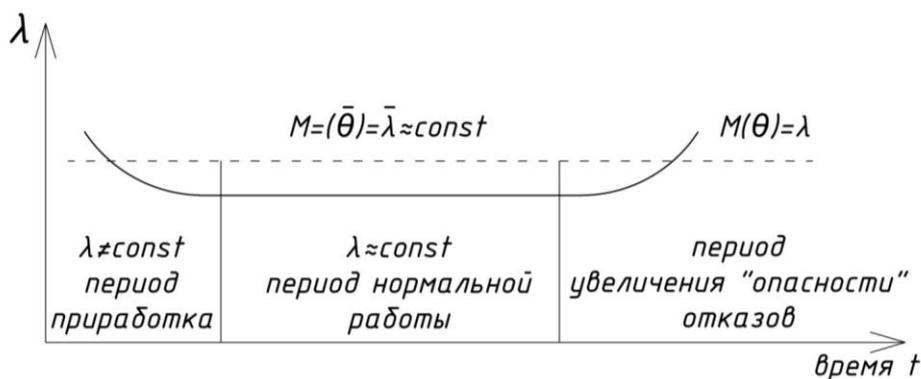


Рис. Лямбда-характеристика («опасность» отказов) строительного потока

Если рассмотреть функционирование того же частного потока на большом промежутке времени, например в течение строительного сезона, то качественно будем также иметь картину, подобную кривой $M(\Theta)$ на рисунке. В самом деле, в начале и в конце строительного сезона увеличивается вероятность простоя из-за природно-погодных условий. В то же время вероятность отказов строительного потока по другим причинам, которых подавляющее большинство, приблизительно равномерна на всем протяжении строительного сезона.

Отсутствие последствия означает, что вероятность наступления отказов в течение промежутка времени Δt не зависит от того, сколько было отказов и как они распределялись до этого промежутка, то есть отказы являются событиями случайными и независимыми. Учитывая, что простои, возникающие при реализации частного потока, можно считать событиями в общем случае случайными и независимыми, процесс возникновения отказов удовлетворяет условию отсутствия последствия. В самом деле, очевидно, что, например, время возникновения простоя частного потока из-за неисправности машины не зависит от того, когда был простой из-за осадков или отсутствия фронта работ.

Ординарность «потока» отказов означает невозможность появления в один и тот же момент времени более одного отказа, то есть

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{>1}(\Delta t)}{\Delta t} = 0, \quad (2)$$

где $P_{>1}$ – вероятность появления более одного отказа в промежуток времени Δt .

Действительно, вероятность возникновения одновременно простоев двух или более видов для данного частного потока

пренебрежимо мала, так что практически можно считать ее равной нулю, а сам процесс возникновения простоев можно считать удовлетворяющим условию ординарности.

Отметим некоторые важные свойства простоев «потока»:

а) случайные отказы, образующие пуассоновский «поток», распределены по закону Пуассона, то есть

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

где $P_n(t)$ – вероятность возникновения n отказов (простоев) в течение времени t ; e – параметр «потока» отказов;

б) закон распределения промежутков времени между соседними отказами, равно как и продолжительность простоев, является экспоненциальным

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad (4)$$

в) плотность вероятности промежутков времени с начала «потока» отказов до n -го отказа определяется выражением

$$f_n(t) = \lambda \frac{(\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

то есть представляет собой гамма-распределение;

г) если промежуток времени, распределенный по не показательному (экспоненциальному) закону, уже длился некоторое время, то это никак не влияет на закон распределения оставшейся части промежутков: он будет таким же, как и закон распределения всего промежутка;

д) сумма большого числа пуассоновских «потоков» в течение времени образует также пуассоновский «поток» с интенсивностью, равной сумме интенсивностей составляющих «потоков» отказов в течение этого же времени t . Иначе говоря, если продолжительности простоев по различным частным потокам подчинены

экспоненциальному закону и имеют интенсивности в течение времени t , то суммарная продолжительность простоя всего строительного потока за тот же период t также подчинена этому закону и имеет суммарную интенсивность отказов, равную

$$\lambda = \sum_{j=1}^N \lambda_j, \quad (6)$$

где N - число частных потоков;

е) интенсивность пуассоновского «потока» отказов (математическое ожидание простоя M (в единицу времени) совпадает с его параметром, то есть $M(\Theta)=X$. Закон распределения времени между отказами позволяет достаточно просто определить все основные характеристики надежности, то есть он является важнейшей характеристикой «потока» отказов.

Выше установлено, что процесс возникновения простоев может быть описан экспоненциальным законом распределения, при котором интенсивность возникновения отказов $\lambda(f) = \lambda = \text{const}$. Тогда зависимости между основными количественными характеристиками надежности потока будут выражены следующими формулами:

– вероятность безотказной работы потока

$$P\left(\frac{-}{x}\right) = e^{-\lambda x} = e^{-\lambda x}. \quad (7)$$

Выражение часто называют экспоненциальным законом надежности вероятностей отказа

$$Q(x) = 1 - e^{-\lambda x}; \quad (8)$$

– плотность распределения вероятностей отказа

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}; \quad (9)$$

– среднее время безотказной работы потока

$$\begin{aligned} t_{\text{ср}}^{\text{б.р}} &= \int_0^{\max} e^{-\lambda x} dx = \\ &= -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda x} \Big|_0^{\max} = \frac{1}{\lambda}. \end{aligned} \quad (10)$$

Из теории вероятностей [9, с. 164 – 170; 10] известно, что для экспоненциального распределения, то есть применительно к строительному потоку среднеквадратическое отклонение и математическое ожидание продолжительности простоев равны. Это свойство экспоненциального закона надежности позволяет считать, что в данном случае среднее время безотказной работы (или же, наоборот, среднее время простоя) является достаточно полной характеристикой надежности. Кроме того, указанное свойство на практике может быть использовано для предварительной проверки истинности гипотезы об экспоненциальном распределении продолжительности простоев.

Список литературы

1. Организация, планирование и управление строительством/ под общ. ред. П.Г.Грабового и А.И.Солунского. – М.: Изд-во «Проспект», 2013. – 528 с.
2. Сервейинг: организация, экспертиза, управление. Часть первая. Организационно-технологический модуль системы сервейинга/ под общ. ред. П.Г.Грабового. – М.: Изд-во «АСВ», ИИА «Просветитель», 2015. – 560 с.
3. Управление рисками в недвижимости/ под общ. ред. П.Г.Грабового – М.: Изд-во «Проспект», 2012. – 424 с.
4. Бредихин В.В. Методология формирования и развития совокупного производственно-технического потенциала

территории города и региона: монография. – Курск, 2013. – 122 с.

5. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учебное пособие. – М.: Изд-во «КНОРУС», 2010. – 480 с.

6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие. – М.: Изд-во «КНОРУС», 2013. – 448 с.

7. Федотов А.В., Скабкин Н.Г. Основы теории надежности и технической диагностики: конспект лекций. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – 64 с.

8. Бредихин В.В., Бредихина Н.В. Моделирование интенсивности произ-

водства строительного-монтажных работ при строительстве объектов жилищной недвижимости // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2015. – № 5(62). – С. 46 - 51.

9. Таскаева Н.Н., Силантьева Т.Н. Сравнительный анализ интеграционных структур управления и критерии их оптимальности// Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – №2. Ч. 3. – С. 164 – 170.

10. Олейник П.П. Организация строительного производства. – М.: Изд-во «АСВ», 2010. – 576 с.

Получено 14.11.16

E. G. Pakhomova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: egpakhomova@yandex.ru)

N.V. Bredikhina, Senior Lecturer, Southwest State University (Kursk) (e-mail: natalybredikhin@yandex.ru)

PROBABILITY REGULARITIES OF CONSTRUCTION FLOW FAILURE OCCURRENCE

The analysis of construction processes implementation shows that at random times dead time periods occur. In the course of their elimination for rather a long period of time a flow of failures occurs.

For a construction flow the condition of stationary occurrence of dead time periods is not always met. Thus, probability of dead time period occurrence for a specific flow can change for various reasons within a certain time period. It would appear reasonable that at the beginning of the shift dead time periods of a certain flow are probable, namely, because of the late arrival of workers to the construction site due to waiting for construction structures and materials delivery, other difficulties of equipment conditioning and due to other reasons.

The most important data of the process of dead time period occurrence (flow of failures) are process intensity and its parameters. Under a flow of failures in the reliability theory a succession of failures occurring one by one in random periods of time is meant. The failure flow type defines system properties and reliability criteria as well as reliability calculation methods and analysis. Therefore, studies of flow of failures play an important role while investigating system's reliability, including those of a construction flow. Probability of failure occurrence during a certain period of time does not depend on the number of failures and their distribution before this period, i.e. failures are accidental and independent occurrences. Stationarity of a random process of time of failure occurrence means that at any time period probability of failure occurrence depends only on the time period but does not change due to the time axes shift.

In the reliability theory several types of failure flows are distinguished. The correspondence of process of dead time periods for some flows to the Poisson failure flow is analyzed in the article.

Key words: construction, flow, simple, reliability, probability of failure, Poisson flow.

Reference

1. Организация, планирование и управление строител'ством/ под обshh. ред. P.G.Grabovogo i A.I.Solunskogo. – М.: Изд-во «Prospekt», 2013. – 528 с.

2. Servejng: organizacija, jekspertiza, upravlenie. Chast' pervaja. Organizacionno-tehnologicheskij modul' sistemy servejngja / pod obshh. red. P.G.Grabovogo. – М.: Изд-во «ASV», ИА «Prosvetitel'», 2015. – 560 с.

3. Upravlenie riskami v nedvizhimosti/ pod obshh. red. P.G.Grabovogo – M.: Izd-vo «Prospekt», 2012. – 424 s.

4. Bredihin V.V. Metodologija formirovaniya i razvitiya sovokupnogo proizvodstvenno-tehnicheskogo potenciala territorii goroda i regiona: monografija. – Kursk, 2013. – 122 s.

5. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teorija verojatnostej i ee inzhenernye prilozhenija : uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo «KNO-RUS», 2010. – 480 s.

6. Ventcel' E.S., Ovcharov L.A. Teorija sluchajnyh processov i ee inzhenernye prilozhenija: uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo «KNORUS», 2013. – 448 s.

7. Fedotov A.V., Skabkin N.G. Osnovy teorii nadezhnosti i tehnicheckoj diagnostiki:

konspekt lekcij. – Omsk: Izd-vo OmGTU, 2010. – 64 s.

8. Bredihin V.V., Bredihina N.V. Modelirovanie intensivnosti proizvodstva stroitel'no-montazhnyh rabot pri stroitel'stve ob#ektov zhilishhnoj nedvizhimosti // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 5(62). – S. 46 - 51.

9. Taskaeva N.N., Silant'eva T.N. Sravnitel'nyj analiz integracionnyh struktur upravlenija i kriterii ih optimal'nosti// Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii. – 2012. – №2. Ch. 3. – S. 164 – 170.

10. Olejnik P.P. Organizacija stroitel'nogo proizvodstva. – M.: Izd-vo «ASV», 2010. – 576 s.

УДК 621.762.27

Е.В. Агеев, д-р техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: ageev_ev@mail.ru)

С.В. Харди́ков, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск). (e-mail: hardikov1990@mail.ru)

С.В. Пикалов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: drevojog@gmail.com)

М.А. Зубарев, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: koy747@gmail.com)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗНОСОСТОЙКОСТИ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Технологии нанесения плазменных покрытий интенсивно развивались в России в 60–80 годы прошлого века как в научном, так и в прикладном плане, в основном в оборонных отраслях промышленности, что позволило достичь высоких показателей в ракетно-космической отрасли, военном авиастроении, создании турбин различного назначения. Вынужденная ориентация на применение зарубежных разработок (оборудования, материалов и технологий) в этом вопросе противоречит национальным интересам, так как данные технологии имеют двойное применение и используются в оборонных отраслях промышленности, а значит, поступают на внешний рынок только после серьезного устаревания в научном и прикладном плане. Сущность технологии плазменного напыления заключается в получении низкотемпературной плазмы на основе электродугового разряда в среде различных газов или их комбинаций. Плазма (поток ионизированного газа с температурой 20000°С...30000°С) образуется в специальном генераторе плазмы - плазматроне. В полученный в плазматроне поток плазмы вводится в определенном месте порошок металла, металлокерамики или керамики, который практически мгновенно оплавляется, разгоняется до скорости 100...500 м/с и выше и наносится на деталь. В результате на поверхности детали формируется сравнительно тонкое покрытие (как правило, в пределах 0,2 - 1 мм) с высокими эксплуатационными показателями. Для получения таких покрытий требуются порошки различных металлов. Целью настоящей работы являлось изучение характеристик износостойкости