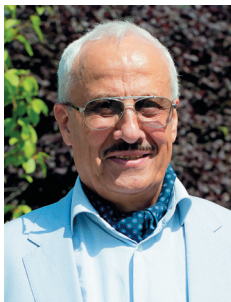


Метод нормирования показателей надежности объектов железнодорожного транспорта

Игорь Б. Шубинский¹, Евгений О. Новожилов^{1*}

¹АО «НИИАС», Российская Федерация, Москва

*eo.novozhilov@vnias.ru



Игорь Б.
Шубинский



Евгений О.
Новожилов

Резюме. Цель. Результаты оценки фактического состояния технической системы (объекта) позволяют принять решение о дальнейшей эксплуатации (продолжение эксплуатации, назначение ремонта, вывод из эксплуатации и замена объекта и т.п.). В условиях ресурсных ограничений актуально выявление наиболее «проблемных» объектов, требующих первоочередного инвестирования. Цель работы состоит в разработке метода нормирования показателей надежности, применение которого направлено на улучшение адресности распределения инвестиций на техническое содержание объектов, что позволяет обеспечить выполнение требований бесперебойности перевозочного процесса в условиях ресурсных ограничений. **Методы.** В работе применены методы системного анализа, теории вероятностей, математической статистики, корреляционного анализа. Предложена аппроксимация временного ряда фактических значений показателя надежности трехпараметрическим гамма-распределением на основе функции необеспеченности $q(x)$. **Результаты.** В работе рассмотрены критерии выбора объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, требующих повышения надежности для случаев отсутствия и наличия нормируемого показателя надежности. Показано, что при введении нормирования показателей следует учитывать неодинаковые условия эксплуатации объектов в различных структурных подразделениях, что обусловлено различиями в климатических факторах, в оснащенности средствами технического обслуживания и ремонта, в укомплектованности персоналом, в степени износа объектов, в требованиях к их производительности. Проведен анализ условий совмещения требований поставщика и потребителя услуги по установлению нормативного значения показателя надежности. Показана целесообразность установления единственного порогового нормативного значения x показателя надежности, в этом случае нормативное значение x для признака x должно соответствовать требованиям как потребителя услуги, так и ее поставщика. При наличии единственного порогового значения риска $Q = P\{x > x\}$ несоответствия показателя установленным требованиям фактически распределяется между потребителем и поставщиком услуги в соответствии с их соглашением. **Выводы.** В статье предложен метод нормирования показателя надежности на основе статистических данных при допущении, что в целом за некоторый период наблюдения этот показатель можно оценить как приемлемый для потребителя услуги. Для выбора и обоснования нормативного значения показателя надежности рассмотрены взаимоотношения поставщика и потребителя услуги, проведен анализ статистики по методу оценки эмпирической обеспеченности ряда исходных данных, а также аппроксимация упорядоченного исходного ряда трехпараметрическим гамма-распределением. Приведен пример установления нормативного значения показателя интенсивности отказов объекта по критерию заданного риска его необеспечения на основе квантилей полученной функции обеспеченности. Показано, что предложенный подход позволяет установить взаимосвязь между задаваемым нормативом и риском его необеспечения через функцию обеспеченности, которая может быть получена на основе существующих статистических данных о надежности объекта за прошедшие периоды. Эта взаимосвязь позволяет гарантировать обеспечение соответствия фактических и нормативных значений показателя с заданным уровнем риска при функционировании объекта в штатном режиме.

Ключевые слова: показатель надежности, нормирование надежности; риск поставщика услуги; риск потребителя услуги; функция необеспеченности; трехпараметрическое гамма-распределение; квантиль распределения.

Для цитирования: Шубинский И.Б., Новожилов Е.О. Метод нормирования показателей надежности объектов железнодорожного транспорта // Надежность. 2019. № 4. С. 17-23. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-4-17-23>

Поступила 02.10.2019 г. / После доработки 22.11.2019 г. / К печати 14.12.2019 г.

Введение

Для любой технической системы одной из важных задач является нормирование показателей надежности (например, допустимых значений показателей готовности, безотказности или ремонтпригодности) [1, 2]. Нормирование надежности – это установление (в технической или иной документации) количественных и качественных требований к надежности. Таким образом, нормирование устанавливает допустимые пределы изменения контролируемой характеристики.

Показатель надежности – это характеристика, как правило, количественная, одного или нескольких свойств, составляющих надежность технической системы (объекта). Значения показателей надежности могут быть нормативными или фактическими. Они могут определяться расчетными методами, по данным испытаний или экспериментов, по данным эксплуатации или путем экстраполирования. Фактические значения показателей надежности в процессе эксплуатации технической системы получают на основе анализа статистических данных об отказах системы и времени до ее восстановления. Что же касается нормативных значений показателей надежности, то они, как правило, численно задаются при проектировании объекта. Для большинства объектов применяется нормативный вероятностный подход, при котором нормируется и обеспечивается требуемый эко-

номически обоснованный уровень вероятностных показателей надежности, который затем контролируется испытаниями на надежность и поддерживается с помощью системы технического обслуживания при эксплуатации. Исключение составляют критические ответственные объекты с катастрофическими последствиями отказов, отказы которых недопустимы (в данной статье такие объекты не рассматриваются, так как они относятся к сфере функциональной безопасности).

1. Цель нормирования показателей надежности

Результаты оценки фактического состояния объекта позволяют принять решение [3] о его дальнейшей эксплуатации (продолжение эксплуатации, назначение ремонта, вывод из эксплуатации и замена объекта и т.п.). В условиях ресурсных ограничений является актуальным выявление наиболее «проблемных» объектов, требующих первоочередного инвестирования.

На рисунке 1 а и 1 б показан пример определения приоритетности объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, требующих повышения надежности, например, путем назначения и проведения ремонта, для двух структурных подразделений, в которых объекты одного вида находятся в различных эксплуатационных условиях. В данном примере мы считаем, что на два

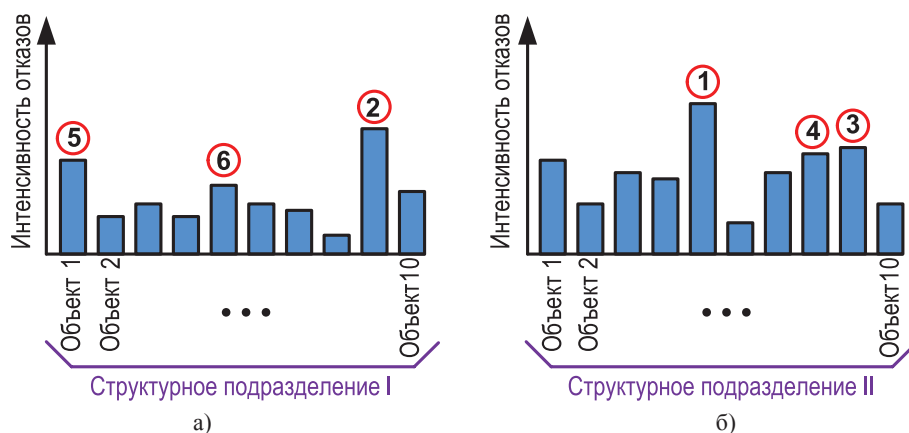


Рисунок 1 – Пример определения приоритетности объектов для назначения ремонта (без применения нормирования).

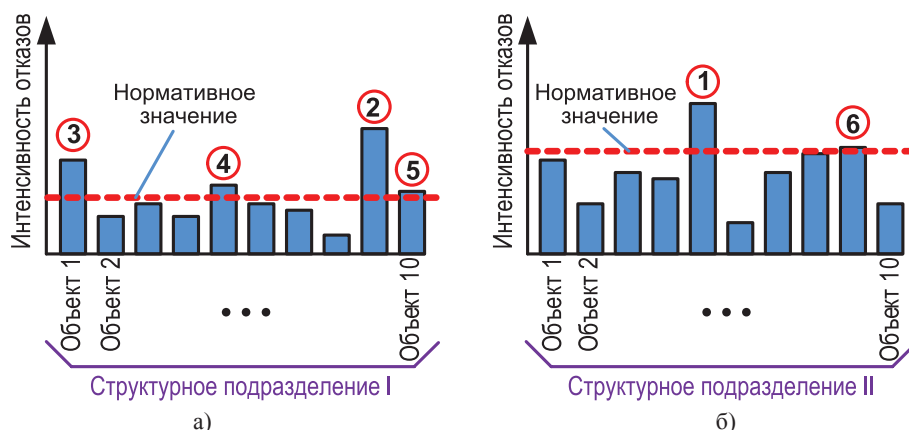


Рисунок 2 – Пример определения приоритетности объектов для назначения ремонта (с применением нормирования).

структурных подразделения выделены средства на проведение ремонта 6 объектов.

Рисунок 1 показывает, что на основе фактических значений показателя надежности (например, интенсивности отказов), отражающего текущее состояние объекта в процессе его эксплуатации, можно определить те объекты, которые требуют назначения ремонта в приоритетном порядке, с учетом выделенного финансирования. В этом случае, при отсутствии нормативных значений, объекты выбираются по критерию наихудшего значения показателя.

При введении нормирования показателей следует учитывать неодинаковые условия эксплуатации объектов в различных структурных подразделениях, что обусловлено различиями в климатических факторах, в оснащенности средствами технического обслуживания и ремонта, в укомплектованности персоналом, в степени износа объектов, в требованиях к их производительности (например, при различных размерах движения поездов). В таком случае объекты для назначения ремонта будут выбираться по критерию отклонения показателя в худшую сторону от нормативного значения (рис. 2 а и 2 б).

Очевидно, что при введении нормирования показателей с учетом условий эксплуатации объектов и ряда других факторов деятельности подразделений улучшается адресность распределения инвестиций на техническое содержание объектов, что позволяет обеспечить выполнение требований бесперебойности перевозочного процесса в условиях ресурсных ограничений [4].

2. Интересы потребителя и поставщика услуги

В случае, когда техническая система участвует в процессе предоставления услуг (например, объект железнодорожной инфраструктуры обеспечивает выполнение перевозочного процесса), нормативные значения

показателей надежности должны учитывать отношения между поставщиком и потребителем услуги (например, структурным подразделением, отвечающим за функционирование объекта железнодорожной инфраструктуры и структурным подразделением, выполняющим перевозочный процесс).

Следует отметить, что в этой схеме неизбежно существует конфликт интересов потребителя и поставщика услуги. С одной стороны, потребитель заинтересован в том, чтобы отказов объекта, предоставляющего услугу, не было вообще; это позволило бы ему осуществлять свою деятельность с полным отсутствием риска, связанного с отказом объекта (например, риска потери поезд-часов по причине отказа объекта железнодорожной инфраструктуры). С другой стороны, поставщик заинтересован в том, чтобы сократить расходы на предоставление услуги, тем самым увеличив прибыль от своей деятельности; но при сокращении расходов неизбежно возрастание количества отказов объекта. Нормирование показателей надежности объекта в сути своей должно обеспечить компромисс между интересами поставщика, стремящегося обеспечить предоставление услуги в условиях ресурсных ограничений, и интересами потребителя, стремящегося получить услугу с высоким качеством при наименьших затратах.

Рассматриваемая ситуация аналогична той, в которой потребитель принимает у поставщика партию товара и где однозначность взаимного признания качества продукции между поставщиком и потребителем в большинстве случаев регулируется с помощью методов статистического приемного контроля. При этом отношения между поставщиком и потребителем характеризуют приемлемый уровень качества x_a (предельно допустимое значение доли дефектных изделий в партии) и браковочный уровень качества x_b (граница доли дефектных изделий для отнесения партии продукции к браку), где $x_a \leq x_b$ (рис. 3). Таким образом, область интересов потребителя

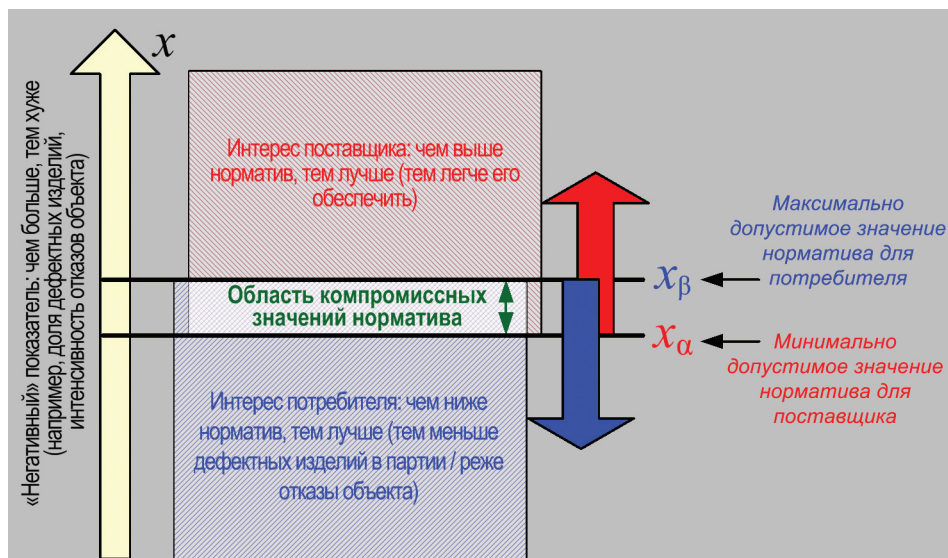


Рисунок 3 – Области интересов потребителя и поставщика услуги.

$x \leq x_\beta$, а область интересов поставщика $x > x_\alpha$; очевидно, что эти две области пересекаются, что является необходимым условием для существования компромисса обоих интересов. Область значений признака x ниже x_α является «зоной приемки», выше x_β – «зоной браковки», а между x_α и x_β – «зоной неопределенности».

Отметим, что применение двух точек (x_α , x_β) в качестве пороговых значений является обычной практикой при последовательном выборочном контроле [5], где вывод о годности (или негодности) партии делается на основе доли дефектных изделий в выборке, являющейся частью объема партии. Для этого процесса приемлемый и браковочный уровень качества задают с применением доверительных границ. Вероятность того, что доля дефектных изделий во всей партии составляет не более x_α , когда при контроле выборки был превышен верхний доверительный интервал браковочного уровня, является риском поставщика; напротив, вероятность того, что доля дефектных изделий во всей партии составляет более x_β , когда при контроле выборки был достигнут нижний доверительный интервал приемочного уровня, является риском потребителя.

Из рис. 3 следует, что: поставщик услуги может гарантировать, что фактическое значение x показателя будет находиться выше порогового значения x_α с высокой степенью доверия (вероятностью), например, $P_\alpha = P\{x > x_\alpha\} > 0,95$ (риск поставщика $Q_\alpha = 1 - P_\alpha \leq 0,05$ (ГОСТ Р ИСО 8422-2011. Статистические методы. Последовательные планы выборочного контроля по альтернативному признаку); потребитель услуги ожидает, что фактическое значение x показателя будет не выше порогового значения x_β с высокой степенью доверия (вероятностью), например, $P_\beta = P\{x \leq x_\beta\} > 0,9$ (риск потребителя $Q_\beta = 1 - P_\beta \leq 0,1$).

В реальных условиях эксплуатации технической системы задача оценки ее соответствия заданным требованиям надежности чаще всего сводится к сравнению полученного за некоторый интервал наблюдения по статистическим эксплуатационным данным значения фактического показателя надежности с установленным (в технической или другой документации) нормативным значением. В этом случае наличие «зоны неопределенности» будет затруднять оценку, делая ее неоднозначной. Поэтому в технической документации на объект, как правило, задается нормативное значение показателя в виде единственного порогового значения (например: «средняя наработка на отказ с учетом технического обслуживания должна быть не менее 30 000 ч»).

Пусть для показателя надежности объекта по соглашению между потребителем и поставщиком услуги устанавливается единственное пороговое нормативное значение x_η , тогда будем считать, что при $x \leq x_\eta$ данный объект соответствует требованиям, а при $x > x_\eta$ – не соответствует. Очевидно (см. рис. 3), что при переходе от двух пороговых уровней к одному целесообразно выполнение условия $x_\alpha < x_\eta \leq x_\beta$ (x_η находится в области «компромиссных значений»), в этом случае нормативное

значение x_η для признака x удовлетворит требования как потребителя услуги, так и ее поставщика.

При наличии единственного порогового значения риск $Q_\eta = P\{x > x_\eta\}$ несоответствия показателя установленным требованиям фактически распределяется между потребителем и поставщиком услуги в соответствии с их соглашением (например, превышение норматива на одном интервале наблюдения является риском потребителя, а на двух и более следующих подряд интервалах наблюдения – относится на ответственность поставщика).

Одним из путей нормирования показателей надежности, применяемых в мировой практике (в частности, в сфере электроснабжения) является нормирование на основе прошлого опыта (анализа фактических данных о надежности) [5]. Учитывая наличие таких данных на железнодорожном транспорте, будем считать дальнейшей задачей выбор и обоснование значения x_η с применением имеющихся статистических данных о функционировании объекта на протяжении некоторого интервала наблюдения при допущении, что в целом за этот интервал показатели надежности объекта можно оценить как приемлемые для потребителя услуги.

3. Анализ статистических данных и оценка их обеспеченности

Как было отмечено выше, фактические значения показателей надежности являются случайными величинами. Например, для интенсивности отказов объекта (количества отказов в единицу времени) статистика представляет собой временной ряд дискретных значений – например, это последовательность значений количества отказов, произошедших в каждом годовом интервале наблюдения, за несколько лет.

Случайная величина полностью определяется законом распределения, для дискретных величин – это ряд распределения или дискретная функция распределения. Ряд распределения (или дискретная функция распределения) представляет собой таблицу возможных значений случайной величины с соответствующими вероятностями.

Существует очень большое количество различных теоретических законов распределения (равномерный, Бернулли, Коши, Пуассона, нормальный, логнормальный, Гумбеля, Джонсона, 13 кривых распределения Пирсона и др.) [6]. Но на практике часто приходится иметь дело со статистическим материалом весьма ограниченного объема, на основе которого определить конкретный закон распределения для случайной величины не всегда возможно. В таких случаях необходимо описать поведение случайной величины числовыми характеристиками.

При инженерных расчетах и научных исследованиях применяются эмпирические кривые распределения характеристик случайных величин. Основными этапами при построении таких кривых являются ранжирование

исходного временного ряда и оценка его эмпирической обеспеченности. Решение первой из этих задач не представляет сложностей, а второй – требует учитывать, что некоторые формулы для оценки обеспеченности приводят к систематическим погрешностям и дают различные значения случайных погрешностей.

Функция необеспеченности $q(x)$ является аналогом функции распределения $F(x)$ и характеризует вероятность того, что значение аргумента превышает заданное пороговое значение. В работе [7] на основании теоретических исследований и результатов испытаний определена формула, которая дает состоятельные, несмещенные и эффективные значения оценок необеспеченности i -го ($i = 1 \dots n$) члена ранжированной по убыванию дискретной выборки (то есть, вероятностей q_i того, что фактическое значение x превышает значение члена ряда x_i):

$$q_i = P\{x > x_i\} = \frac{i}{n+1}, \quad (1)$$

где n – количество членов ряда.

Рассмотрим алгоритм, включающий ранжирование исходного временного ряда, оценку его эмпирической обеспеченности и аппроксимацию теоретическим законом распределения на примере статистических данных по отказам объектов первичной сети железнодорожной электросвязи за период 2008–2016 гг. (таблица 1, данные предоставлены Центральной станцией связи – филиалом ОАО РЖД).

1) Исходный ряд ранжируется в порядке убывания значений показателя. Вместо годов наблюдения вводятся условные номера членов ранжированного ряда (1, 2, 3, ...).

2) Для каждого члена ранжированного ряда по формуле (1) рассчитываются значения q_i функции необеспеченности.

3) Вычисляется математическое ожидание $\bar{x}$ членов ряда.

4) Для каждого члена ранжированного ряда рассчитывается модульный коэффициент, равный отношению значения члена ряда к математическому ожиданию ряда.

В результате получаем таблицу 2.

5) С целью уточнения значений квантилей распределения (q), особенно на уровнях, меньших, чем 0,2, представляющих практический интерес, выполняется аппроксимация ряда модульных коэффициентов таблицы 2 одним из теоретических законов распределения. В качестве примера рассмотрим аппроксимацию трехпараметрическим гамма-распределением [9], которое получило применение, в частности, в гидрологических расчетах [10] и в расчетах ресурса конструкций при случайных потоках нагрузок [11].

С применением модульных коэффициентов k_i из таблицы 2 рассчитываются коэффициент C_v вариации ряда и отношение C_{sv} коэффициента асимметрии ряда к коэффициенту вариации ряда:

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1 \right)^2}, \quad C_{sv} = \frac{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1 \right)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3}, \quad (2)$$

при этом если в (2) получено значение $C_v < 0,1$, то перед расчетом C_{sv} , а также для дальнейшего применения, принимают $C_v = 0,1$ (поскольку для рядов с очень малой вариацией определение квантилей распределения затруднительно). После расчетов значение C_v округляется до кратности 0,1 (0,1; 0,2; 0,3 ...), а значение C_{sv} – до кратности 0,5 (0; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 1,5$; ...) для возможности применения существующих табличных значений функций распределения ввиду того, что их аналитический расчет является очень сложным.

По табличным значениям функций трехпараметрического гамма-распределения [9] для заданной вероятности необеспечения q_i определяется ордината m_i в виде модульного коэффициента (указанные таблицы содержат значения функции распределения для различных значений C_v и наиболее распространенных отношений C_s/C_v).

В рассматриваемом примере для полученных по формулам (2) значений $C_v = 0,5$ и $C_{sv} = 0$ имеем ряд значений ординат функции в виде модульных коэффициентов $m_i(p_i)$, включая дополнительные значения на краях функции (таблица 3). Для получения количественных значений y_i интенсивности отказов, которые будут превышены с вероятностью q_i , следует умножить

Таблица 1 – Исходный временной ряд интенсивности отказов объекта

Год наблюдения	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Интенсивность отказов, x_i , 1/год	34	37	24	17	12	9	13	43	36

Таблица 2 – Ранжированный временной ряд с оценками обеспеченности и модульными коэффициентами

№ п/п, i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Интенсивность отказов, x_i , 1/год	83	76	37	34	24	14	13	12	9
Мод. к-т, k_i	2,4735	2,2649	1,1026	1,0132	0,7152	0,4172	0,3874	0,3576	0,2682
Необеспеченность, q_i	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

Таблица 3 – Пример аппроксимированного временного ряда с оценками необеспечения и модульными коэффициентами ($C_v = 0,8$ и $C_{sv} = 1,4$)

№ п/п, i	-	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	-	-
q_i	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
Мод. к-т, m_i	2,01	1,8	1,66	1,47	1,31	1,16	1,01	0,855	0,69	0,511	0,305	0,182	0,055
Интенсивность отказов, y_i , 1/год	50,25	45	41,5	36,75	32,75	29	25,25	21,38	17,25	12,78	7,625	4,55	1,375

модульные коэффициенты m_i на значение $\bar{x}$ математического ожидания ранжированного ряда из таблицы 2 (результаты показаны в таблице 3).

Оценка достоверности аппроксимации выполнялась по коэффициенту линейной корреляции эмпирической $x_i(q_i)$ и подобранной по данному методу $y_i(q_i)$ (для $i = 1 \dots 9$) функций. Получено значение коэффициента линейной корреляции 0,974, оно является близким к 1, что подтверждает близость выбранной функции к исходному ряду с высокой достоверностью.

График эмпирического ряда (точки) и аппроксимирующей функции трехпараметрического гамма-распределения (сплошная линия) показан на рис. 4.

4. Выбор и обоснование нормативного значения показателя

Полученные выше результаты оценки обеспеченности (см. таблицу 3) могут быть применены для определения порогового значения x_η по заданному уровню риска Q_η , установленного по соглашению между поставщиком и потребителем услуги, или же, наоборот, для оценки риска Q_η на основе заданного x_η .

Рассмотрим случай, когда для заданного уровня риска необеспечения нормативного значения (например, $Q_\eta = 0,1$) требуется определить нормативное значение x_η показателя надежности (в нашем примере это – интенсивность отказов объекта).

Оценим квантиль функции обеспеченности, который соответствует заданному риску ($q_i = Q_\eta = 0,1$). Согласно данным таблицы 3 имеем:

$$y(Q_\eta) = y(q_i = 0,1) = 70,8 \approx 71.$$

Следовательно, в качестве нормативного значения показателя можно принять значение интенсивности отказов, равное 71 1/год, которое будет не обеспечено с риском 0,1.

В случае если по соглашению между поставщиком и потребителем услуги установлено нормативное значение показателя надежности, аналогичным путем, на основе полученных результатов оценки обеспеченности (см. таблицу 3) можно определить риск несоответствия показателя установленным требованиям.

В любом случае соглашение между поставщиком услуги и ее потребителем должно предусматривать установление как нормативного значения всех рассматриваемых показателей надежности, так и уровней риска, с которыми

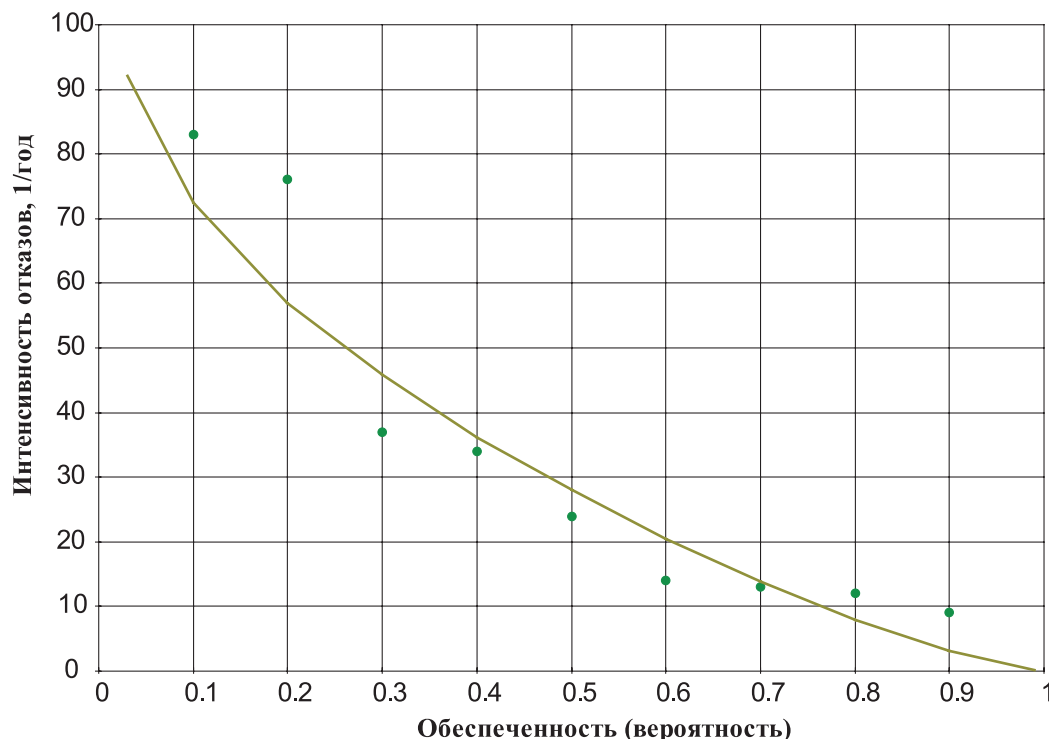


Рисунок 4 – График эмпирического ряда (точки) и аппроксимирующей функции (сплошная линия).

данные нормативные значения могут быть не обеспечены, а также порядок распределения ответственности между поставщиком и потребителем услуги.

Метод, рассмотренный в данной статье, позволяет с применением объективных критериев установить связь между значением нормативного показателя надежности и риском его необеспечения на основе реальных возможностей эксплуатируемых объектов, которые оцениваются по существующим статистическим данным за прошедшие периоды.

Заключение

В данной статье рассмотрен метод нормирования показателя надежности на основе статистических данных при допущении, что в целом за некоторый период наблюдения этот показатель можно оценить как приемлемый для потребителя услуги.

Для выбора и обоснования нормативного значения показателя надежности рассмотрены взаимоотношения поставщика и потребителя услуги, проведен анализ статистики по методу оценки эмпирической обеспеченности ряда исходных данных, а также аппроксимация упорядоченного исходного ряда трехпараметрическим гамма-распределением. Рассмотрен пример установления нормативного значения показателя интенсивности отказов объекта по критерию заданного риска его необеспечения на основе квантилей полученной функции обеспеченности.

Проведенное рассмотрение показало, что предложенный подход позволяет установить взаимосвязь между устанавливаемым нормативом и риском его необеспечения через функцию обеспеченности, которая может быть получена на основе существующих статистических данных о надежности объекта за прошедшие периоды. Эта взаимосвязь позволяет гарантировать обеспечение соответствия фактических и нормативных значений показателя с заданным уровнем риска при функционировании объекта в штатном режиме.

Библиографический список

1. Долганов А.И. О назначении уровня надежности [Текст] / А.И. Долганов, А.В. Сахаров // Надежность. – 2018. – Том 18, № 3. – С. 18–21.
2. Кувашов Ю.А. Метод оценки технической готовности железнодорожного пути к обеспечению перевозочного процесса [Текст] / Ю.А. Кувашов, Е.О. Новожилов // Надежность. – 2017. – Том 17, № 2. – С. 17–23.
3. Семенов С.С. Обзор методов принятия решений при разработке сложных технических систем [Текст] /

С.С. Семенов, А.В. Полтавский, В.В. Маклаков и др. // Надежность. – 2014. – № 3. – С. 72–96.

4. Гапанович В.А. Система адаптивного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта (проект УРРАН) [Текст] / В.А. Гапанович, И.Б. Шубинский, Е.Н. Розенберг и др. // Надежность. – 2015. – № 2. – С. 4–22.

5. Руденко Ю.Н. О подходах к нормированию показателей надежности электроснабжения потребителей [Текст] / Ю.Н. Руденко // Известия Академии наук СССР. Энергетика и транспорт. – 1975. – № 1. – С. 14–23.

6. Литвиненко Р.С. Практическое применение непрерывных законов распределения в теории надежности технических систем [Текст] / Р.С. Литвиненко, П.П. Павлов, Р.Г. Идиятуллин // Надежность. – 2016. – Том 16, № 4. – С. 17–23.

7. Девид Г. Порядковые статистики [Текст] / Г. Девид. – М.: Наука, 1979. – 336 с.

8. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям [Текст] / Р. Н. Вадзинский. – СПб: Наука, 2001. – 295 с., ил. 116.

90. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [Текст] / А.В. Сикан. – СПб.: РГГМУ, 2007. – 279 стр.

10. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучести конструкций при случайных нагрузках [Текст] / А.С. Гусев. – М.: Машиностроение, 1989. – 248 с.: ил.

Сведения об авторах

Игорь Б. Шубинский – доктор технических наук, профессор, заместитель руководителя НТК АО «НИИ-АС», Москва, Российская Федерация, тел. +7 (495) 786-68-57, e-mail: igor-shubinsky@yandex.ru

Евгений О. Новожилов – кандидат технических наук, начальник отдела АО «НИИАС», Москва, Российская Федерация, тел. +7 (495) 967-77-02, e-mail: eo.novozhilov@vniias.ru

Вклад авторов в статью

Шубинский И.Б. Выполнил обзор и анализ существующего состояния рассматриваемой проблемы, определил теоретические составляющие работы, применяемые математические методы.

Новожилов Е.О. Выполнил анализ существующих подходов к нормированию показателей надежности. Предложил алгоритм нормирования показателя надежности, выполнил расчет примера.