

Литература

1. Болотный А.В. Заглаживание бетонных поверхностей. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1979. 128 с.
2. Белокобыльский С.В., Кашуба В.Б., Ситов И.С. Повышение прочностных характеристик бетонного изделия обработкой его поверхности высокочастотным рабочим органом бетоноотделочной машины // Вестн. машиностроения. 2008. № 1. С. 83-85.
3. Белокобыльский С.В., Мамаев Л.А., Кашуба В.Б., Ситов И.С. Вибрационная технологическая машина с управляемым динамическим состоянием для поверхностной обработки упруговязкопластичных сред // Современные наукоёмкие технологии. 2009. № 1. С. 5.
4. Герасимов С. Н. Определение рациональных параметров и режимов работы вибрационного дискового рабочего органа для обработки бетонных поверхностей: дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 2003. 210 с.
5. Кашуба В.Б. Разработка методологических основ создания бетоноотделочных машин с дисковыми высокочастотными рабочими органами: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2008. 205 с.
6. Мамаев Л.А. Методология совершенствования теории взаимодействия рабочих органов бетоноотделочных машин с поверхностью обрабатываемых сред: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГАСУ, 2007. 360 с.
7. Мамаев Л.А., Федоров В.С., Герасимов С.Н. Инновационные технологии обработки поверхностей бетонных изделий // Строительные и дорожные машины. 2010. № 3. С. 8-12.
8. Ситов И.С. Динамика взаимодействия брусового рабочего органа бетоноотделочной машины с обрабатываемой средой: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2008. 197 с.
9. Федоров В.С. Совершенствование процесса и агрегата финишной обработки не затвердевших бетонных поверхностей: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2011. 167 с.

References

1. Bolotny A.V. Float finish. L.: Stroyizdat. Leningr. otd-niye, 1979. 128 p.
2. Belokobylsky S.V., Kashuba V.B., Sitov I.S. Improvement in strength characteristics of a concrete product by means of processing its surface with a high-frequency operating device of a concrete-finishing machine // Vestn. mashinostroeniya. 2008. № 1. P. 83-85.
3. Belokobylsky S.V., Mamaev L.A., Kashuba V.B., Sitov I.S. Vibratory production machine with a controlled dynamic state for elastoviscoplastic medium surfacing // Sovremennye naukoemkieologii. 2009. № 1. P. 5.
4. Gerasimov S.N. Determination of the rational parameters and operating modes of a vibration disk-type operating device to process concrete surfaces: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Khabarovsk, 2003. 210 p.
5. Kashuba V.B. Elaboration of the methodological foundation to design concrete-finishing machines equipped with vibration disk-type operating device: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Bratsk, 2008. 205 p.
6. Mamaev L.A. Methodology to improve the theory of interaction of the operating devices of concrete-finishing machines and the working mediums surface: Dissertation for the degree of Doctor of Technical Science.SPb.: SPb GASU, 2007. 360 p.
7. Mamaev L.A., Fedorov V.S., Gerasimov S.N. Innovative technology for processing concrete products surfaces // Stroitelnye i dorozhnye mashiny. 2010. № 3. P. 8-12.
8. Sitov I.S. The interaction dynamics of a beam-type operating device of a concrete-finishing machine and the working medium: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Bratsk, 2008. 197 p.
9. Fedorov V.S. Improvement of the process and the device for finishing the unhardened concrete surfaces: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science. Bratsk, 2011. 167 p.

УДК 691.327

Оценка надежности работы роторных экскаваторов

В.Н. Анферов^{1,а}, С.И. Васильев^{2,б}, С.М. Кузнецов^{1,с}¹Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Д. Ковальчук 191, Новосибирск, Россия²Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 78, Красноярск, Россия^аavn43@mail.ru, ^бS-vasilev1@yandex.ru, ^сksm56@yandex.ru

Статья получена 17.10.2013, принята 15.01.2014

В статье предложен алгоритм обработки выборок, построения регрессионных уравнений, доверительных интервалов и оценки надежности работы роторных экскаваторов. С помощью этого алгоритма можно рассчитать основные показатели выборок натурных испытаний работы роторных экскаваторов, построить регрессионные уравнения и оценить надежность работы роторных экскаваторов и других строительных машин на любом объекте. Это позволит достоверно прогнозировать срок производства строительно-монтажных работ еще на стадии проектирования строительства. В статье определены показатели технической и организационно-технологической надежности работы машин. Для оценки надежности технологического процесса предложено понятие надежности как вероятности достижения машинами и механизмами конечной цели при выполнении проекта производства работ. Основными факторами надежности работы строительных машин являются коэффициенты использования их по времени и готовности к работе. Для оценки надежности работы строительных машин создана база данных по результатам натурных испытаний роторных экскаваторов при производстве земляных работ в Красноярском крае. Для доказательства обоснованности значений базы данных по результатам натурных испытаний проводились два этапа проверки: логический и математический. После формирования выборки в соответствии с ГОСТ 8.207-76 с помощью критерия согласия Пирсона проверялась принадлежность закону нормального распределения. При этом были построены регрессионные уравнения для коэффициентов использования машин по времени в зависимости от коэффициентов готовности машин. Использование предлагаемого подхода к оценке надежности работы роторных экскаваторов может быть распространено на любой тип техники и позволит получить численные значения оценки надежности, что весьма актуально при выборе машин и механизмов для строительства.

Ключевые слова: организационно-технологическая надежность, организационно-технологический риск, строительные машины.

Reliability assessment of rotor excavator operation

B.N. Anferov^{1, a}, S.I. Vasilev^{2, b}, S.N. Kuznetsov^{1, c}

¹Siberian State Transport University, 191 D. Kovalchuk St., Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal University, 78 Svobodny ave., Krasnoyarsk, Russia

^aavn43@mail.ru, ^bS-vasilev1@yandex.ru, ^cksm56@yandex.ru

Received 17.10.2013, accepted 15.01.2014

In article the algorithm of processing of selections, creation of the regression equations, confidential intervals and an assessment of reliability of operation of rotor excavators is offered. By means of this algorithm it is possible to calculate the main indicators of selections of natural tests of operation of rotor excavators, to construct the regression equations and to estimate reliability of operation of rotor excavators and other construction machines on any object. It will allow to predict authentically term of production of installation and construction works at a construction design stage. In article indicators of technical and organizational and technological reliability of operation of machines are defined. For an assessment of reliability of technological process the concept of reliability, as probabilities of achievement by machines and mechanisms of an ultimate goal is offered at implementation of the project of works. Major factors of reliability of operation of construction machines are their efficiency on time and availability for service. For an assessment of reliability of operation of construction machines the database by results of natural tests of rotor excavators by production of earthwork in Krasnoyarsk Krai is created. For the proof of validity of values of a database by results of natural tests two stages inspections have been made: logical and mathematical. After selecting the formation according to GOST 8.207-76 by means of criterion of a consent of Pearson it was checked accessory to the law of normal distribution. The regression equations for efficiency of machines on time depending on availability quotients of machines have been constructed. Use of offered approach to an assessment of reliability of operation of rotor excavators can be extended to any type of equipment and will allow to receive numerical values of an assessment of reliability that is very actual at a choice of cars and mechanisms for construction.

Keywords: organizational and technological reliability, organizational and technological risk, construction machines.

Введение. Существующая система комплексной оценки надежности работы парков, комплексов и комплексов строительных машин не предусматривает оценку организационно-технологической надежности их работы. Под надежностью понимается вероятность достижения проектных (рекомендуемых) параметров механизированного строительного производства. Оценка ОТН дает возможность оценивать сформированные календарные планы строительства объектов не только с точки зрения качества организационно-технологических характеристик, но и с точки зрения надежности их достижения [1, 2].

Постановка задачи. С помощью созданной авторами базы данных по результатам натурных испытаний работы роторных экскаваторов требуется определить комплексные показатели надежности: коэффициент готовности, коэффициент технического использования и организационно-технологическую надежность работы роторных экскаваторов [3 – 5].

Алгоритм решения. Для оценки надежности работы роторных экскаваторов авторами создана база данных по результатам натурных последних в ЗАО «СИБНИИСтройдормаш». Создание базы данных является первым этапом разработки системы оценки комплексных показателей надежности работы машин. Для доказательства обоснованности значений базы данных по результатам натурных испытаний проводились два этапа проверки (очистки), логический и математический [6]. Вторым этапом разработки системы является обработка выборки натурных испытаний. На третьем этапе предусмотрено построение регрессионных уравнений коэффициента использования рабочего времени. На четвертом этапе происходит построение доверительных интервалов построенных ранее регрессионных уравнений. На завершающем пятом этапе разрабатываются рекомендации по рациональному использова-

нию полученных результатов и повышению ОТН работы машин.

Обработка выборки. Наиболее часто встречающимся в статистике видом средних величин является средняя арифметическая, представляющая собой частное от деления суммы значений всех вариантов на общее число единиц (n). Среднее линейное отклонение представляет собой среднюю арифметическую из абсолютных значений отклонений отдельных вариантов от средней. Коэффициент вариации используют для сравнения рассеивания двух и более признаков, имеющих различные единицы измерения. Коэффициент вариации представляет собой относительную меру рассеивания, выраженную в процентах. Среднее квадратическое отклонение для не сгруппированных данных представляет собой корень квадратный из арифметической суммы квадратов разности отклонений от средней. Стандартное отклонение используют при расчете стандартной ошибки среднего арифметического, при построении доверительных интервалов, при статистической проверке гипотез, при измерении линейной взаимосвязи между случайными величинами.

Закон распределения выборки. Вид (т. е. закон) теоретического распределения подбирается исходя из вида гистограммы. Вначале весь интервал изменения данных $[x_{min}, x_{max}]$ нужно разбить на участки одинаковой длины. Сколько участков взять? Есть несколько подходов к определению числа участков разбиения l . Один из них – это использование формулы Стрэджемса:

$$l = Round [1 + 3,322 \cdot \lg(n)], \quad (1)$$

где $Round$ – округление чисел с плавающей запятой до целого числа

Для оценки случайности или существенности расхождений между частотами эмпирического и теоретического распределений в статистике используют ряд показателей, именуемых критериями согласия. Одним из основных и наиболее распространенным показателем является критерий χ^2 (хи-квадрат), предложенный английским статистиком К. Пирсоном

По таблицам другого типа определяется предельное верхнее значение «хи-квадрата» (критическое значение) при данном числе степеней свободы и заданном уровне значимости. Затем наблюдаемое значение «хи-квадрата» сравнивают с табличным (критическим). Если фактическое «хи-квадрат» меньше табличного ($\chi_{\text{ф}}^2 < \chi_{\text{табл}}^2$), то при заданном уровне значимости расхождения между эмпирическими и теоретическими частотами считают случайными, а гипотезу о принятом законе распределения приемлемой.

Нормальное распределение на графике представляет собой симметричную куполообразную кривую, имеющую максимум в точке, соответствующей средней арифметической ряда. Эта же точка является модой и медианой ряда. Точки перегиба у нормальной кривой находятся на расстоянии от средней арифметической.

Обработка выборки натуральных испытаний роторных экскаваторов. Табл. 1 – показатели выборок коэффициента использования по времени и коэффициента готовности.

В базе данных хранится информация об использовании роторных экскаваторов по времени по месяцам. В результате обработки статистической информации (при ежемесячных данных по работе роторных экскаваторов) с помощью программы «Sample» получена следующая информация (табл. 1). На рис. 1 приведен пример плотности распределения вероятностей коэффициентов готовности роторных экскаваторов при ежемесячном анализе их работы.

Построение регрессионных уравнений. Шаговый регрессионный метод начинается с построения простой корреляционной матрицы и включения в регрессионное уравнение переменной, наиболее коррелируемой с откликом. Для включения в уравнение выбирается переменная с наибольшим квадратом частного коэффициента корреляции и так далее.

Для проверки введенных на раннем шаге переменных на предмет их взаимосвязи с другими переменными на каждом шаге вычисляется частный F -критерий для каждой переменной уравнения и сравнивается с заранее избранной процентной точкой соответствующего F -распределения. Это позволяет оценить вклад переменной в предположении, что она введена в модель последней, независимо от момента ее фактического введения. Переменная, дающая незначительный вклад, исключается из модели. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут рассмотрены все переменные.

Общий F -критерий служит для определения статистической значимости модели, рассматриваемой на каждом этапе. Рассчитывается следующим образом:

$$F = \frac{\text{Средний квадрат, обусловленный регрессией}}{\text{Средний квадрат, обусловленный остатком}} \quad (2)$$

Для сравнения влияния и установления относительной важности каждого из факторов используется нормирование коэффициентов регрессии: где b_i – коэффициент уравнения регрессии после нормирования;

a_i – коэффициент уравнения регрессий до нормирования;

S_{x_i} – средняя квадратичная ошибка переменной X_i ;

S_{y_i} – средняя квадратичная ошибка отклика Y_i .

$$b_i = a_i \cdot S_{x_i} / S_{y_i} \quad (3)$$

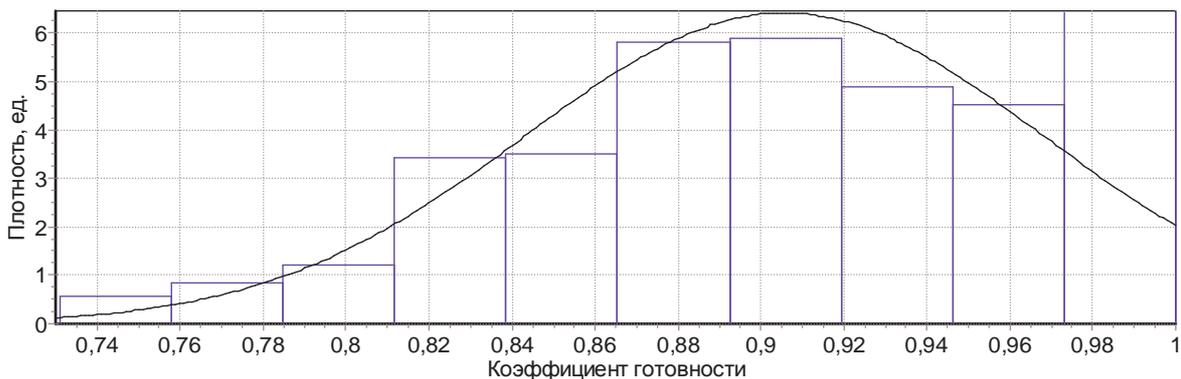


Рис. 1. Плотность распределения вероятностей коэффициента готовности роторных экскаваторов

Характеристика выборки коэффициента использования рабочего времени и показателей надежности роторных экскаваторов при ежемесячном анализе их работы

Наименование показателя	Коэффициент использования по времени	Коэффициент готовности	Коэффициент технического использования	Коэффициент эффективности	Время наработки на отказ, ч
ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ					
Количество опытов, шт.	403	403	403	403	403
Количество связей, шт.	3	3	3	3	3
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Фактор	K_v	K_g	K_{ti}	K_e	T_n
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ					
Минимальное значение фактора	0,704	0,731	0,821	0,727	499
Максимальное значение фактора	1,000	1,000	1,000	1,000	744
Выборочное среднее значение фактора	0,853	0,906	0,942	0,881	659,6
Среднее линейное отклонение фактора	0,0514	0,0514	0,0262	0,0528	39,93
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,0627	0,0621	0,0327	0,0641	48,58
Стандартное отклонение фактора	0,0628	0,0622	0,0328	0,0642	48,64
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,00313	0,00310	0,00163	0,00320	2,423
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,3667	0,3421	0,1733	0,3632	0,3673
Эмпирическая дисперсия выборки	0,0039	0,0039	0,0011	0,0041	2365,99
Вариации отклонения от среднего значения	0,00264	0,00264	0,00069	0,00279	1594,71
Риск отклонения от среднего значения	0,0514	0,0514	0,0262	0,0528	39,93
Коэффициент вариации	0,0735	0,0686	0,0347	0,0728	0,0737
Вычисленное значение критерия Пирсона	5,46	8,06	33,33	4,95	2,00
Табличное значение критерия Пирсона	8,13	8,13	8,13	8,13	8,13
Количество интервалов	10	10	10	10	10

Нормирование коэффициентов регрессии возможно лишь при случайных переменных X_i .

Далее для полученной модели строится вектор ошибок и проверяется соответствие его закону нормального распределения, что является необходимым условием для использования критериев t и F при получении доверительных интервалов.

Проверка принадлежности вектора ошибок закону нормального распределения осуществляется с помощью критерия согласия Пирсона – χ^2 , для чего строится эмпирическое распределение вектора ошибок, определяется значение χ^2 , и, в соответствии с выбранным уровнем надежности критерия – α (чаще всего выбирается $\alpha = 0,05$ [95 %] или $\alpha = 0,01$ [99 %]), по таблицам определяется теоретическое значение χ^2_{α} .

Если $\chi^2 = \chi^2_{\alpha}$ то нет основания отвергать гипотезу о нормальности распределения вектора ошибок.

Для проверки неадекватности модели используют средний квадрат ошибки S^2 как оценку величины σ^2 , предполагая, что модель правильна. Если эти величины отличаются на порядок и более, делается вывод о неадекватности модели.

Проверка значимости уравнения регрессии (для нулевой гипотезы $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = 0$) производится с помощью отношения средних квадратов $SS(R/\beta_0)/(p - 1)$, которое рассматривается как распределенная случайная величина $F(p - 1, \nu)$, где $SS(R/\beta_0)$ – сумма квадратов с учетом поправки на оценку коэффициента модели β_0 ; p – число степеней свободы регрессии; $\nu = n - p$ – число степеней свободы вектора ошибок; n – количество вариантов, для которых строится модель.

Для «статистически значимого» уравнения регрессии дисперсионное отношение должно превосходить теоретическое значение $F(p - 1, \nu, 1 - \alpha)$ с заданным уровнем значимости α .

Число наблюдений равно числу расчетов в соответствующей задаче. Уровень риска β для доверительного интервала обозначает вероятность α совершения ошибки первого рода и используется для расчета доверительных интервалов уровня $1 - \alpha$ коэффициентов регрессии. Доля объясненной вариации в % – это квадрат коэффициента множественной корреляции, R^2 . Средний отклик означает среднее арифметическое всех наблюдаемых значений отклика (переменной Y). Стандартная ошибка в процентах от среднего отклика – это мера величины стандартного отклонения остатков относительно среднего отклика – рассчитывается как отношение стандартного отклонения остатков к среднему отклику.

Регрессионные уравнения коэффициентов использования по времени. С помощью выборки по натурным испытаниям роторных экскаваторов шаговым методом построены регрессионные уравнения коэффициента использования по времени первой K_B^I (табл. 2) и второй K_B^{II} (табл. 3) степени.

Таблица 2

Многофакторная модель

Значимость переменной, %	Модель
	$K_B^I = -0,0076$
100	$+0,94896 K_T$

Таблица 3

Многофакторная модель

Значимость переменной, %	Модель
	$K_B^{II} = +0,0122$
95,77	$+0,8865 K_T$
4,23	$+0,0447 K_T^2$

В табл. 4 приведены основные характеристики моделей коэффициента использования по времени.

Таблица 4

Характеристика моделей

Показатель	K_B^I	K_B^{II}
Доля объясненной вариации, %	95,94	95,95
Коэффициент множественной корреляции	0,9795	0,9796
Средний отклик	0,8012	0,8012
Стандартная ошибка, в % от среднего отклика	3,55	3,55
Стандартная ошибка	0,0285	0,0284
Общий F-критерий регрессии	11416,5	5714,1
Табличное значение общего F-критерия	3,84	3,84

В табл. 5 приведены модели и их характеристики для коэффициентов готовности, коэффициентов технического использования, коэффициентов эффектив-

ности и времени наработки на отказ в зависимости от коэффициентов использования по времени роторного экскаватора.

Таблица 5

Комплексные показатели надежности работы роторных экскаваторов

Показатель	$K_T = 0,152 + 0,8823 K_B$	$K_{ТН} = 0,797 + 0,1717 K_B$	$K_3 = -0,442 + 1,0331 K_B$	$T_{н} = 131,7 + 619,2 K_B$
Доля объясненной вариации, %	79,45	11,98	0,99	64,61
Коэффициент множественной корреляции	0,8914	0,3462	0,9999	0,8038
Средний отклик	0,905	0,943	0,878	659,8
Стандартная ошибка, в % от среднего отклика	3,11	3,09	0,05	4,37
Стандартная ошибка	0,0282	0,0291	0,0009	28,84
Общий F-критерий регрессии	1538,8	54,1	17760670,9	730,4
Табличное значение общего F-критерия	3,84	3,84	3,84	3,84

Построение доверительных интервалов. Доверительным называют интервал, который покрывает неизвестный параметр с заданной надежностью.

Дисперсия и стандартное отклонение относятся к предсказываемому среднему значению Y при данном X_0 .

так как фактические значения Y варьируют около «истинного» среднего значения с дисперсией σ^2 :

$$\sigma^2 \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \right\} \quad (4)$$

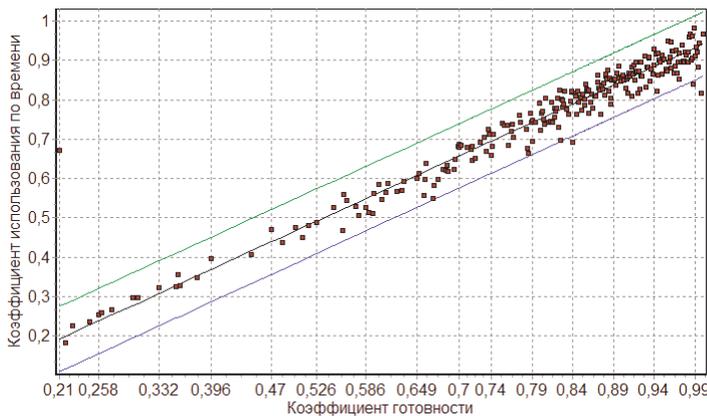
и с соответствующим значением оценки при подстановке s^2 вместо σ^2 . Доверительные пределы можно найти:

$$\hat{Y} \pm t(v, 0,975) \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}} \cdot s, \quad (5)$$

где v – число степеней свободы, на котором основана оценка s^2 (равное здесь $n - 2$).

Мы можем построить доверительный интервал для модели \hat{Y} :

$$K_B^I = -0,0076 + 0,94896 K_r$$



$$\hat{Y} \pm t(v, 0,975) \sqrt{\frac{1}{q} + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}} \cdot s. \quad (6)$$

Эти пределы, конечно, шире, чем для среднего значения Y при данном X_0 , так как ожидается, что 95 % будущих наблюдений при X_0 (для $q = 1$) или будущих средних из q наблюдений (для $q > 1$) лежат внутри них.

Доверительный интервал коэффициента использования по времени. На рис. 2 проиллюстрированы доверительные интервалы для уравнений регрессии первой и второй степеней.

Проведенный анализ показал, что увеличение степени модели коэффициента использования по времени не приводит к увеличению точности модели и доверительного интервала (рис. 2).

Для всех моделей, приведенных в табл. 5, построены доверительные интервалы с уровнем риска 5 %.

На рис. 3 приведен пример доверительного интервала зависимости коэффициента готовности от коэффициента использования по времени.

$$K_B^{II} = +0,0122 + 0,8865 K_r + 0,0447 K_r^2$$

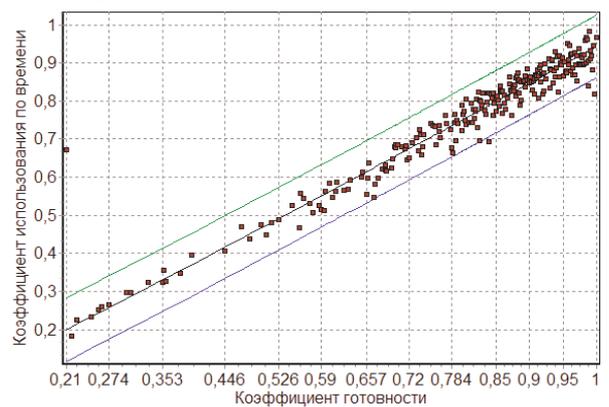


Рис. 2. Доверительный интервал для коэффициентов использования по времени первой и второй степеней

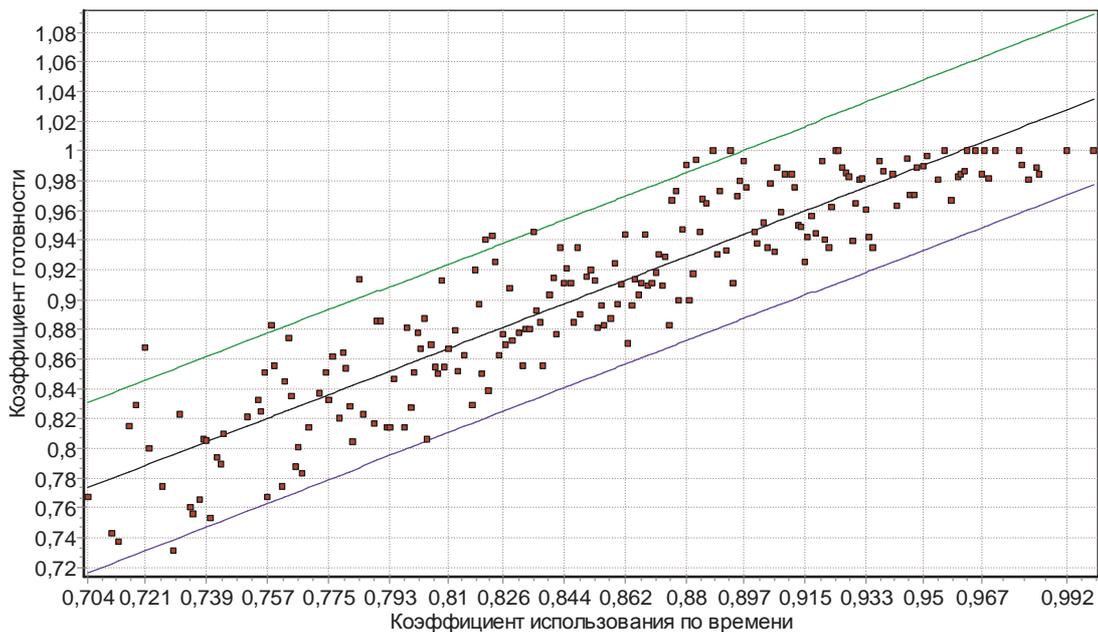


Рис. 3. Зависимость коэффициента готовности от коэффициента использования по времени

Математические модели и их доверительные интервалы

Модель	Доверительный интервал с уровнем риска 5 %
$K_{\Gamma} = 0,152 + 0,8823 K_{\text{В}}$	$K_{\Gamma} \pm 0,0567 \sqrt{1,005 + 0,9187 \cdot (K_{\text{В}} - 0,853)}$
$K_{\text{ТИ}} = 0,797 + 0,1717 K_{\text{В}}$	$K_{\text{ТИ}} \pm 0,0596 \sqrt{1,005 + 0,9187 \cdot (K_{\text{В}} - 0,853)}$
$K_{\text{Э}} = -0,442 + 1,0331 K_{\text{В}}$	$K_{\text{Э}} \pm 0,0066 \sqrt{1,005 + 0,9187 \cdot (K_{\text{В}} - 0,853)}$
$T_{\text{Н}} = 131,7 + 619,2 K_{\text{В}}$	$T_{\text{Н}} \pm 55,25 \sqrt{1,005 + 0,9187 \cdot (K_{\text{В}} - 0,853)}$

Организационно-технологическая надежность. Расчет организационно-технологической надежности роторного экскаватора (рис. 4) производится по формуле [7]:

$$\text{ОТН} = 100 - \frac{100}{\sigma_{\text{Э}}^{\text{П}} \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{\text{П}_{\Gamma}} e^{-\frac{(\text{П}_{\text{Э}} - \text{П}_{\text{Э}})^2}{2\sigma_{\text{Э}}^{\text{П}2}}} d\text{П}_{\text{Э}} \quad (7)$$

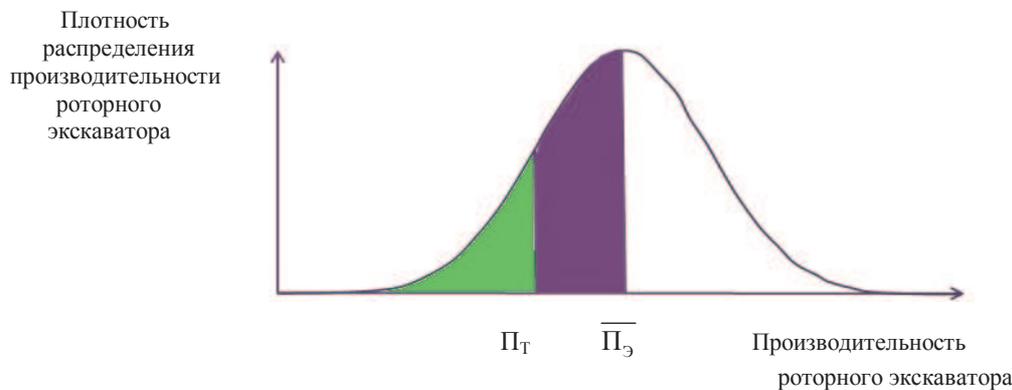


Рис. 4. Плотность распределения производительности роторного экскаватора

Выводы

1. Рекомендуется при оценке комплексных показателей надежности строительных машин учитывать организационно-технологическую надежность их работы, что способствует повышению надежности строительства, составлению более реальных календарных графиков производства строительного-монтажных работ.

2. С помощью уравнений регрессии предложен метод оценки значимости факторов работы строительных машин на примере роторных экскаваторов, который позволяет прогнозировать основные показатели работы конкретного экскаватора. Этот метод является универсальным, и его можно использовать для оценки значимости любых факторов работы строительных машин.

3. Предложенный инструментальный для обоснования коэффициентов использования машин по времени, а, следовательно, и для обоснования эксплуатационной производительности работы роторных экскаваторов (эксплуатационная производительность равна технической, умноженной на коэффициент использования по времени), при принятии управленческих решений для применения машин, комплектов и систем с учетом организационно-технологической надежности их работы

где П_{Γ} – требуемая производительность роторного экскаватора; $\text{П}_{\text{Э}}$ – эксплуатационная производительность роторного экскаватора; $\overline{\text{П}_{\text{Э}}}$ – средняя производительность роторного экскаватора; $\sigma_{\text{Э}}^{\text{П}}$ – среднее квадратическое отклонение производительности роторного экскаватора.

позволяет принимать управленческие решения с разумной, реальной надежностью.

Литература

1. Анферов В.Н., Кузнецов С.М., Васильев С.И. Имитационная модель оценки организационно-технологической надежности работы стреловых кранов // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 1. С. 70-78.
2. Демиденко О.В., Анферов В.Н., Кузнецов С.М., Серов М.Ю., Васильев С.И. Экономико-математическая модель работы стреловых кранов // Омский научный вестник. 2013. № 3 (119). С. 74-80.
3. Кузнецов С.М., Лизунов Е.В., Щербаков А.В. Вероятностная модель работы многоступенчатых гидротранспортных систем // Изв. вузов. Строительство. 2006. № 9. С. 33-41.
4. Кузнецов С.М., Легостаева О.А. Организационно-технологическая надежность экскаваторных комплектов // Там же. 2005. № 10. С. 62-69.
5. Пермяков В.Б., Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности работы строительных машин // Механизация строительства. 2008. № 11. С. 24-29.
6. Кузнецов С.М., Кузнецов К.С. Обработка результатов натурных испытаний при техническом и тарифном нормировании // Экономика ж. д. 2010. № 7. С. 88-99.
7. Исаков А.Л., Кузнецова К.С., Кузнецов С.М. Формирование ресурсосберегающего комплекса машин для строительства зданий и сооружений // Механизация строительства. 2013. № 9. С. 14-17.

References

1. Anferov V.N., Kuznetsov S.M., Vasilyev S.I. Imitating model of assessment of organizational and technological reliability of work of boom cranes // *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*. 2013. № 1. P.70-78.
2. Demidenko O.V., Anferov V.N., Kuznetsov S.M., Serov M.Yu., Vasilyev S.I. Economic and mathematical model of work of boom cranes // *Omskij nauchnyj vestnik*. 2013. № 3 (119). P.74-80.
3. Kuznetsov S.M., Lizunov E.V., Scherbakov A.V. Probabilistic model of work of multistage hydrotransport systems // *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*. 2006. № 9. P.33-41.
4. Kuznetsov S.M., Legostayeva O.A. Organizational and technological reliability of excavator sets // *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*. 2005. № 10. P.62-69.
5. Permyakov V.B., Kuznetsov S.M. Assessment of organizational and technological reliability of work of construction machines // *Mehanizacija stroitel'stva*. 2008. № 11. P.24-29.
6. Kuznetsov S.M., Kuznetsova K.S. Processing of natural test results according to technical and tariff rationing // *Jekonomika zh.d*. 2010. № 7. P.88-99.
7. Isakov A.L., Kuznetsova K.S., Kuznetsov S.M. Formation of a resource-saving machine complex for civil engineering // *Mehanizacija stroitel'stva*. 2013. № 9. P.14-17.

УДК 621.646.1

Экспериментальная оценка безопасного ресурса работы затворного узла трубопроводной арматуры по критерию герметичности

В.К. Погодин^{1, a}, П.М. Огар^{2, b}, Ю.Л. Вайнапель^{1, c}

¹ОАО «ИркутскНИИХиммаш», ул. Академика Курчатова 3, Иркутск, Россия

²Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^avkpogodin@yandex.ru, ^bogar@brstu.ru, ^cvajnapel@himmash.irk.ru

Статья поступила 09.12.2013, принята 20.02.2014

Показана необходимость оценки ресурса затворного узла по критерию герметичности. Приведены описания экспериментальной установки и методики исследований. Оценка ресурса уплотнительных соединений «конус – конус» проводилась при различных уровнях варьирования следующих факторов: давления герметизируемой среды (азота) p ; температуры среды t ; отношения нормального контактного давления q_n к пределу текучести материала седла σ_s ; угла конуса α и критерия Комбалова-Крагельского Δ . Получены зависимости величины ресурса Z от указанных факторов при разных значениях допускаемых утечек. Результаты проведенных исследований ставят под сомнение правомерность действующих национальных стандартов для определения класса опасности запорной трубопроводной арматуры по одному или трем первым циклам нагружения. Предложены рекомендации по усовершенствованию указанных стандартов.

Ключевые слова: трубопроводная арматура, затвор, клапан, ресурс, герметичность, уплотнительные соединения, шероховатость поверхности.

Experimental evaluation of safe-life work resource for closing assembly of valves by impermeability criterion

V.K. Pogodin^{1, a}, P.M. Ogar^{2, b}, Yu.L. Vainapel^{1, c}

¹Public Corporation «Irkutsk Scientific Research Institute of Chemical Engineering, 3 Academician Kurchatov St., Irkutsk, Russia

²Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^avkpogodin@yandex.ru, ^bogar@brstu.ru, ^cmailto:vajnapel@himmash.irk.ru

Received 09.12.2013, accepted 20.02.2014

The necessity of evaluation of closing assembly resource by impermeability criterion has been shown. The descriptions of experimental apparatus and research techniques have been given. Evaluation of «cone – cone» sealing joints resource has been made in various levels of the factors, such as diversifying the pressure of the sealing medium (Nitrogen) – p , the medium temperature – t , the relation of the correct contact pressure q_n to the yield limit of the saddle, angle of cone α and of Kambalov-Kragelsky criterion Δ . Dependencies of resource value Z on the factors mentioned above in different values of available escapes. The results of the given research leave serious doubts in appropriateness of functional national standards for danger class definition of the stop valves by one or three first load cycles. Some recommendations on improvement of mentioned standards have been proposed.

Keywords: valves, valve trim, flap, resource, impermeability, sealing joints, surface contour.

Введение. В соответствии с техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» разработчики (изготовители)

оборудования должны обосновывать его безопасность и определять ресурс его работы. Известно большое количество работ и нормативных материалов, в