



УДК 629.3

Бердников Илья Егорович,

аспирант, Забайкальский государственный университет,
тел. 8(914)502-10-73, e-mail: berdnikov_ie@mail.ru

Озорнин Сергей Петрович,

д. т. н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины»,
Забайкальский государственный университет,
тел. 8(914)481-41-13, e-mail: s.ozornin2013.s@ya.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОТКАЗОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАКТОРОВ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

I. E. Berdnikov, S. P. Ozornin

MATHEMATICAL MODELS FOR DETERMINING THE TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINES FAILURE RATE DEPENDING ON THE FACTORS OF OPERATING CONDITIONS

Аннотация. В статье выполнен анализ сложившейся ситуации в сфере эксплуатации транспортно-технологических машин (ТТМ), оборудованных встроенными средствами контроля изменений технического состояния. Приведены результаты пассивного статистического эксперимента с использованием средств диагностико-информационной подсистемы технического сервиса, ориентированной на мониторинг условий эксплуатации и изменений технического состояния ТТМ. Целью работы являлось выявление закономерностей возникновения отказов при эксплуатации ТТМ в различных условиях. Показано, что количество отказов ТТМ зависит от различных факторов эксплуатации, негативно влияющих на их техническое состояние. Для обработки полученных результатов наблюдений в работе использован метод регрессионного анализа. С учетом результатов предварительного анализа установлено, что наибольшее влияние на количество отказов ТТМ оказывают время эксплуатации, реализованная наработка, количество ТО и значения технического индекса жесткости условий эксплуатации. Рекомендовано это учитывать при прогнозировании в планируемые периоды эксплуатации ТТМ отказов, которое выполняется с помощью функциональных зависимостей между количеством отказов и различными влияющими факторами эксплуатации, определяемых методом регрессионного анализа. Представлены математические модели определения количества отказов ТТМ, оборудованных встроенными средствами контроля изменений технического состояния. Математические модели, полученные с помощью регрессионного анализа при обработке статистических данных, позволяют прогнозировать для ТТМ, оборудованных встроенными средствами контроля изменений технического состояния, наиболее вероятное время появления отказа, в зависимости от времени эксплуатации, реализованной наработки и количества выполненных технических обслуживаний за контрольный период. Для всех факторов, включая незначимые по F-критерию, рассчитаны значения критерия Стьюдента (t -значения) для проверки гипотезы о значимости частных коэффициентов корреляции. t -значения рассчитывались для уравнений регрессии в стандартизованном масштабе с уровнем значимости p , равным 0,05 и определенным числом степеней свободы. Приведены результаты статистической обработки экспериментальных данных с помощью регрессионного анализа по экскаваторам четырех групп. Величины коэффициентов корреляции по всем представленным регрессионным моделям находятся в пределах 0,9...0,99, что по шкале Чеддока, качественно характеризует силу связи как весьма высокую.

Ключевые слова: технический индекс жесткости условий эксплуатации, время эксплуатации, наработка, количество отказов, количество технических обслуживаний, регрессионный анализ.

Abstract. The article presents the operating conditions analysis of transport-technological machines (TTM) equipped with the built-in monitoring facilities. The article shows the passive statistical experiment results of the diagnostic informational-driven technical service subsystem with the focus on the operating conditions monitoring and TTM operating conditions. The aim of the present work was to reveal the TTM operation failure regularity under varied conditions. It was testified that TTM operation failure rate depends on different operating factors negatively affecting their technical state. The regression analysis method was used for the obtained results processing. The results of the pretest analysis stated that the time in service, operating time, maintenance rate and the technical index of operating conditions hardness have the greatest influence on TTM failure rate. It is recommended to take this into account when forecasting the TTM failures that is performed with the functional dependencies between the failure rate and different operating factors defined with the regression analysis method. The article also shows the mathematical models for determining the failure rate of the TTM equipped with the built-in monitoring facilities. The mathematical models obtained with the regression analysis method help to forecast the probable time of the TTM operating failure depending on the time in service, operating time and the maintenance rate for the testing period. For all the factors including the insignificant as to the F-criterion the Student t -test values were calculated for testing the hypothesis of partial correlation coefficient value. t -test values were calculated for the regression equation in standard scale at the significance level $p = 0,05$ and the definite number of degrees of freedom. The authors give the results of experimental data statistical processing of four groups of the TTM (the excavators) obtained with the help of the regression analysis. The values of correlation coefficients as to all the represented regression models are within the 0,9...0,99 limits, that according to the Chaddock scale qualitatively characterize bonding force as completely significant.

Keywords: technical index of hardness of operating conditions, time in service, operating time, failure rate, maintenance rate, regression analysis.

Введение

Произошедшее в последнее время частичное обновление парка транспортно-технологических

машин (ТТМ) за счет поступления в эксплуатацию новых отечественных и зарубежных образцов, насыщенных встроенными электронными устрой-



ствами контроля технического состояния, создало проблемную ситуацию в сфере технического сервиса этих машин. С одной стороны, новые машины имеют улучшенные эксплуатационные характеристики, в том числе достаточно высокую эксплуатационную надежность. Однако при этом следует учитывать, что интенсивность эксплуатации этих машин существенно возросла. С другой стороны, существующая система технического сервиса ориентирована на несколько иные условия применения машин по их назначению, а также на устранение последствий отказов возрастных машин, по сути уже устаревших морально и физически конструкций, т. е., в большинстве случаев, сервис ориентирован скорее на выполнение ремонтно-восстановительных операций, нежели на выполнение технического обслуживания (ТО). Эксплуатационная надежность новых ТТМ, поддерживаемая в основном фирменным обслуживанием, в сложных условиях эксплуатации оказывается недостаточно высокой, отказы элементов, узлов, агрегатов и систем ТТМ все равно проявляются, статистика их пока не определена. В связи с этим спланировано и выполнено исследование, направленное, прежде всего, на выявление статистики отказов ТТМ, попутно решался целый ряд вопросов, связанных с совершенствованием ТО. Необходимость прогнозирования отказов транспортно-технологических машин, оборудованных встроенными средствами контроля технического состояния, с целью определения наиболее вероятного времени их появления в зависимости от времени эксплуатации, реализованной наработки и количества выполненных технических обслуживаний за контрольный период, потребовала формирования соответствующих математических моделей [9–13].

Выбор метода исследования

С целью получения экспериментальных данных на базе сервисного предприятия «ТСК-Сервис Чита» филиала ООО «Техстройконтракт» проведен пассивный статистический эксперимент с использованием средств диагностико-

информационной подсистемы технического сервиса, ориентированной на мониторинг условий эксплуатации и изменений технического состояния ТТМ. Перед началом наблюдений были выбраны шестнадцать ТТМ, оборудованных встроенными средствами контроля изменений технического состояния и обслуживаемых указанным сервисным предприятием.

Эксперимент проводился в течение 2013–2015 гг. С помощью средств диагностического мониторинга контролировалось изменение технического состояния ТТМ четырех эксплуатирующихся организаций Забайкальского края: 1) ООО «Дарасунский рудник»; 2) ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» (ПАО «ППГХО»); 3) ООО «Звезда»; 4) ООО «Автохозяйство технологического транспорта» (ООО «АТТ») (табл. 1).

Собранные за время проведения эксперимента данные заносились в соответствующие таблицы с целью последующей обработки.

Предварительный анализ полученных в результате эксперимента данных позволил выяснить, что значительное влияние на количество отказов ТТМ оказывают: жесткость условий эксплуатации, реализованная наработка, время в эксплуатации, количество выполненных технических обслуживаний. Функциональные зависимости между количеством отказов и различными влияющими эксплуатационными факторами определены с помощью регрессионного анализа статистических данных [1, 2, 9–14].

Для нахождения наиболее оптимального уравнения регрессии использован метод исключения. Сначала в рассмотрение включается наибольшее возможное число факторов, а затем последовательно исключаются факторы, дающие наименьший эффект, с пересчетом на каждом шаге значений всех коэффициентов регрессии и их значимости [1]. Значимость коэффициентов регрессии помогает обнаружить вычисление *t*-статистики [2, 4].

Т а б л и ц а 1

Группы ТТМ, поставленные под наблюдение в эксплуатации с помощью диагностического мониторинга

| Наименование организации | Экскаваторы, ед. | | | | Итого |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| | ZX140W-3 2011 г. в. | ZX270LC-3 2007 г. в. | ZX450LC-3 2008 г. в. | ZX650LC-3 2011 г. в. | |
| ООО «Дарасунский рудник» | - | - | 2 | 2 | 4 |
| ПАО «ППГХО» | - | 1 | 2 | 1 | 4 |
| ООО «Звезда» | 1 | 2 | - | 1 | 4 |
| ООО «АТТ» | 3 | 1 | - | - | 4 |
| | | | | Всего | 16 |

Упорядоченная статистика отказов экскаватора ZX450LC-3

| № п/п | Наработка (мото-ч) | Время эксплуатации, дни | Количество ТО | Индекс жесткости условий эксплуатации | Количество отказов |
|-------|--------------------|-------------------------|---------------|---------------------------------------|--------------------|
| 1 | 12867 | 0 | 1 | 2,25 | 1 |
| 2 | 13090 | 28 | 2 | 2,25 | 3 |
| 3 | 13200 | 116 | 2 | 1,875 | 5 |
| 4 | 13207 | 123 | 2 | 1,875 | 6 |
| 5 | 13215 | 163 | 3 | 1,875 | 7 |
| 6 | 13508 | 229 | 4 | 1,875 | 8 |
| 7 | 13819 | 295 | 6 | 2,25 | 9 |
| 8 | 14044 | 332 | 7 | 2,25 | 10 |
| 9 | 14451 | 386 | 7 | 2,25 | 12 |
| 10 | 14724 | 412 | 8 | 1,875 | 14 |
| 11 | 14918 | 448 | 9 | 1,875 | 15 |
| 12 | 15701 | 523 | 11 | 1,875 | 17 |
| 13 | 15991 | 578 | 12 | 1,875 | 18 |
| 14 | 16245 | 615 | 13 | 2,25 | 19 |
| 15 | 16345 | 630 | 13 | 2,25 | 21 |
| 16 | 16551 | 661 | 14 | 2,25 | 22 |
| 17 | 16794 | 686 | 15 | 2,25 | 23 |
| 18 | 17230 | 737 | 16 | 2,25 | 24 |
| 19 | 17968 | 838 | 19 | 1,875 | 25 |
| 20 | 18532 | 907 | 21 | 1,875 | 26 |
| 21 | 18777 | 941 | 22 | 1,875 | 27 |
| 22 | 19025 | 974 | 23 | 2,25 | 28 |
| 23 | 19131 | 985 | 23 | 2,25 | 30 |

В табл. 2 в качестве примера приведена упорядоченная статистика отказов экскаватора ZX450LC-3 для регрессионного анализа функциональной зависимости количества отказов ТТМ от различных факторов.

Регрессионный анализ

С учетом результатов предварительного анализа установлено, что наибольшее влияние на количество отказов оказывают время эксплуатации, реализованная наработка, количество ТО и значения технического индекса жесткости условий эксплуатации. Это должно учитываться при прогнозировании в планируемые периоды эксплуатации ТТМ отказов, которое может выполняться с помощью функциональных зависимостей между количеством отказов и различными влияющими факторами при эксплуатации ТТМ, определяемых методом регрессионного анализа [1, 2, 4, 9–13]. Представленные ниже зависимости получены регрессионным анализом экспериментальных статистических данных, приведенных в табл. 2.

Результаты обработки и регрессионного анализа статистических данных, полученных по экскаваторам ZX450LC

Для регрессионного анализа функциональных зависимостей отобраны четыре экскаватора: ZX450LC-1, ZX450LC-2, ZX450LC-3, ZX450LC-4.

Обработке подверглись предварительно собранные статистические данные, с учетом отобранных ранее четырех эксплуатационных факторов. В результате математической обработки получены следующие результаты для формирования уравнений регрессии:

1) экскаватор ZX450LC-1: множественный коэффициент регрессии $R = 0,984971$; критерий Фишера $F = 390,2639$;

2) экскаватор ZX450LC-2: множественный коэффициент регрессии $R = 0,990403$; критерий Фишера $F = 1437,8821$;

3) экскаватор ZX450LC-3: множественный коэффициент регрессии $R = 0,993727$; критерий Фишера $F = 1658,3266$;

4) экскаватор ZX450LC-4: множественный коэффициент регрессии $R = 0,987908$; критерий Фишера $F = 893,2901$.

С использованием метода исключения выявлен один фактор, оказывающий наиболее существенное влияние на количество отказов, – время в эксплуатации.

В результате для определения количества отказов n экскаваторов ZX450LC получены следующие математические модели:

ZX450LC-1

$$n = 0,0218100993 * D_{\text{экс}} + 2,68224528;$$

**ZX450LC-2**

$$n=0,046550311 * D_{\text{экс}} + 4,007750251;$$

ZX450LC-3

$$n=0,028037575 * D_{\text{экс}} + 1,93773321;$$

ZX450LC-4

$$n=0,022740879 * D_{\text{экс}} + 2,100535922,$$

где $D_{\text{экс}}$ – время эксплуатации; n – количество отказов.

По установленным математическим моделям можно определять ориентировочное время появления отказа.

Построенные зависимости количества отказов n от времени эксплуатации $D_{\text{экс}}$ экскаваторов ZX450LC-1, ZX450LC-2, ZX450LC-3, ZX450LC-4 представлены на рис. 1.

Результаты обработки и регрессионного анализа статистических данных, полученных по экскаваторам ZX140W

В результате регрессионного анализа для определения количества отказов экскаваторов

ZX140W получены следующие математические модели:

ZX140W-1

$$n=0,00213581 * S - 8,93647355;$$

ZX140W-2

$$n=1,04807084 * N_{\text{ТО}} - 1,64705882;$$

ZX140W-3

$$n=0,84450402 * N_{\text{ТО}} + 0,32171581;$$

ZX140W-4

$$n=0,92006875 * N_{\text{ТО}} + 0,61925225,$$

где S – наработка экскаватора, мото-ч.; $N_{\text{ТО}}$ – количество ТО.

Зависимость количества отказов от наработки экскаватора ZX140W-1 представлена на рис. 2.

Зависимости количества отказов экскаваторов ZX140W-2, ZX140W-3, ZX140W-4 от количества проведенных ТО приведены на рис. 3.

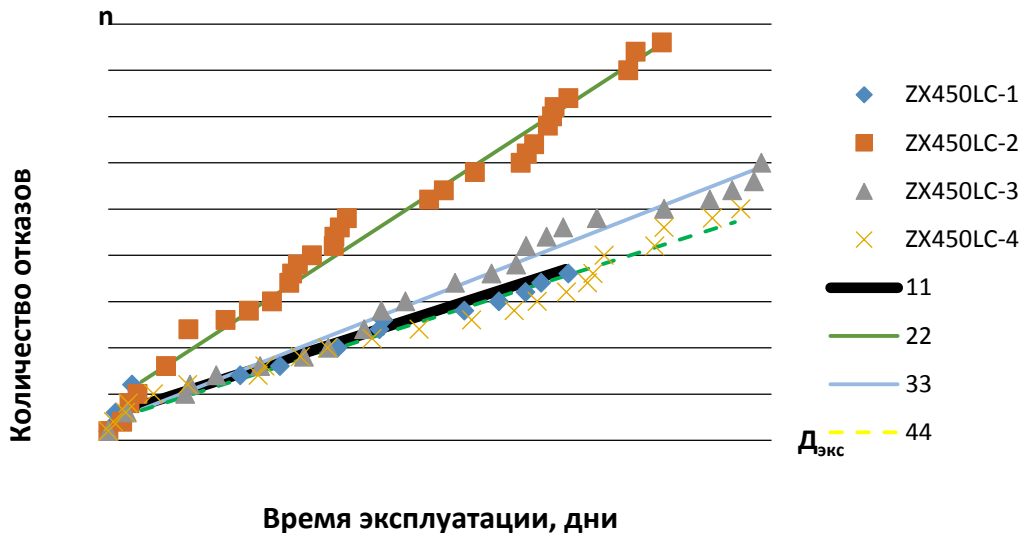


Рис. 1. Зависимости количества отказов экскаваторов ZX450LC-1, ZX450LC-2, ZX450LC-3, ZX450LC-4 от времени эксплуатации

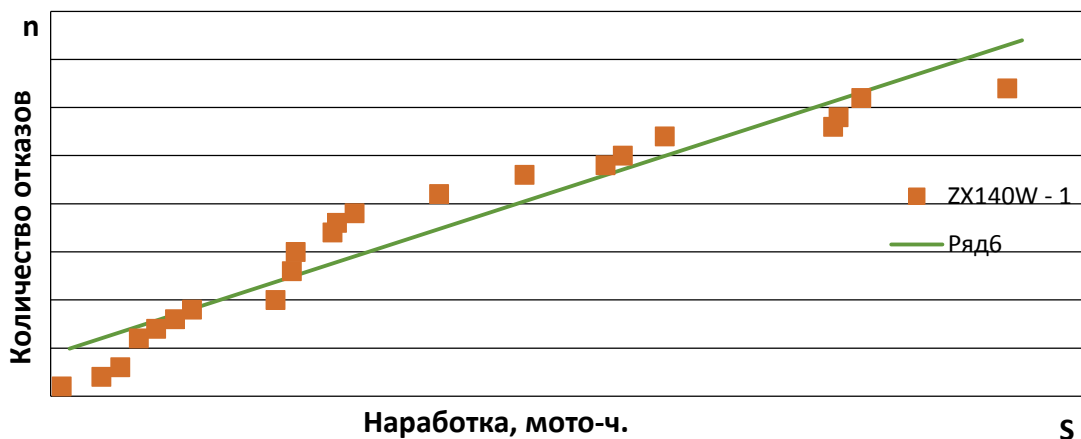


Рис. 2. Зависимость количества отказов от наработки экскаватора ZX140W-1

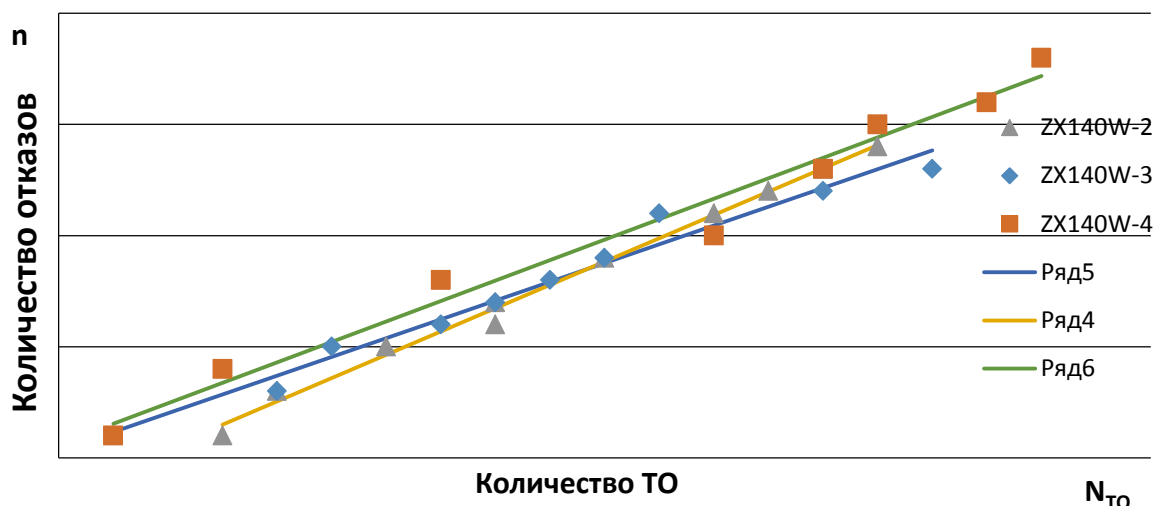


Рис. 3. Зависимость количества отказов экскаваторов ZX140W-2, ZX140W-3, ZX140W-4 от количества проведенных ТО

Результаты обработки и регрессионного анализа статистических данных, полученных по экскаваторам ZX270LC

Для определения количества отказов экскаваторов ZX270LC в результате регрессионного анализа получены следующие математические модели:

ZX270LC-1

$$n = 0,03758963 * D_{\text{экс}} + 1,58858483;$$

ZX270LC-2

$$n = 0,00370139 * S - 60,97862585;$$

ZX270LC-3

$$n = 0,00404566 * S - 56,90712641;$$

ZX270LC-4

$$n = 0,00286561 * S - 30,05020986,$$

где S – наработка экскаватора, мото-ч.; $D_{\text{экс}}$ – время эксплуатации.

Зависимость количества отказов от наработки экскаватора ZX270LC-1 представлена на рис. 4.

Зависимость количества отказов от наработки экскаваторов ZX270LC-2, ZX270LC-3, ZX270LC-4 представлена на рис. 5.

Результаты обработки и регрессионного анализа статистических данных, полученных по экскаваторам ZX650LC

Для определения количества отказов экскаваторов ZX650LC в результате регрессионного анализа получены следующие математические модели:

ZX650LC-1

$$n = 0,02197197 * D_{\text{экс}} - 0,00595264;$$

ZX650LC-2

$$n = 0,01427794 * D_{\text{экс}} + 0,97330831;$$

ZX650LC-3

$$n = 0,01559418 * D_{\text{экс}} + 1,24912608;$$

ZX650LC-4

$$n = 0,01762692 * D_{\text{экс}} + 1,85148131,$$

где $D_{\text{экс}}$ – время эксплуатации.

Зависимости количества отказов экскаваторов ZX650LC-1, ZX650LC-2, ZX650LC-3, ZX650LC-4 от времени их эксплуатации приведены на рис. 6.

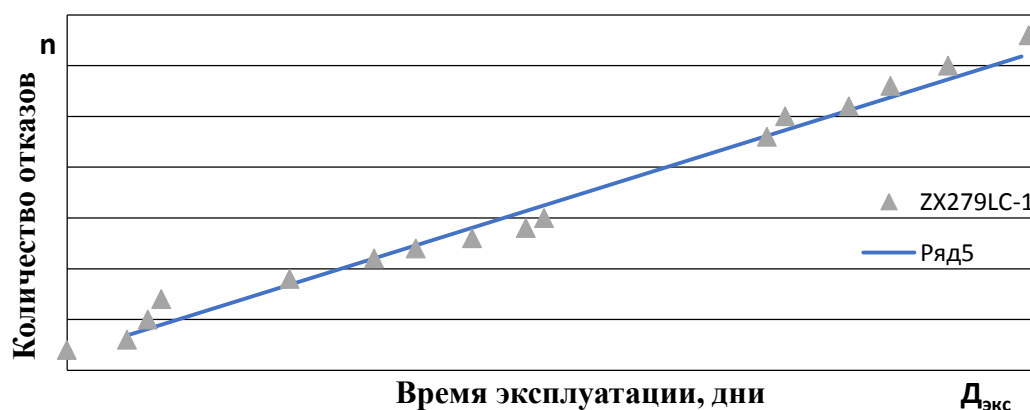


Рис. 4. Зависимость количества отказов экскаватора ZX270LC-1 от времени эксплуатации

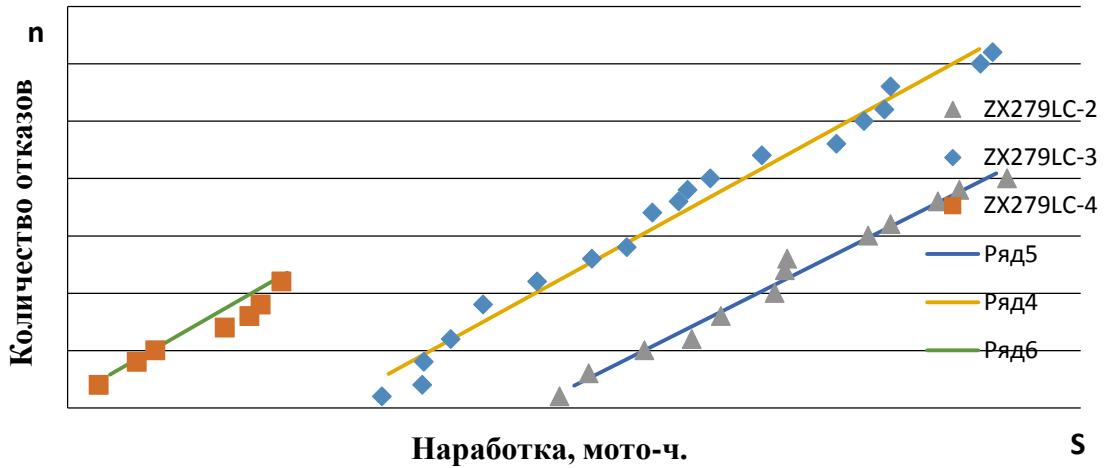


Рис. 5. Зависимость количества отказов экскаваторов ZX270LC-2, ZX270LC-3, ZX270LC-4 от наработки

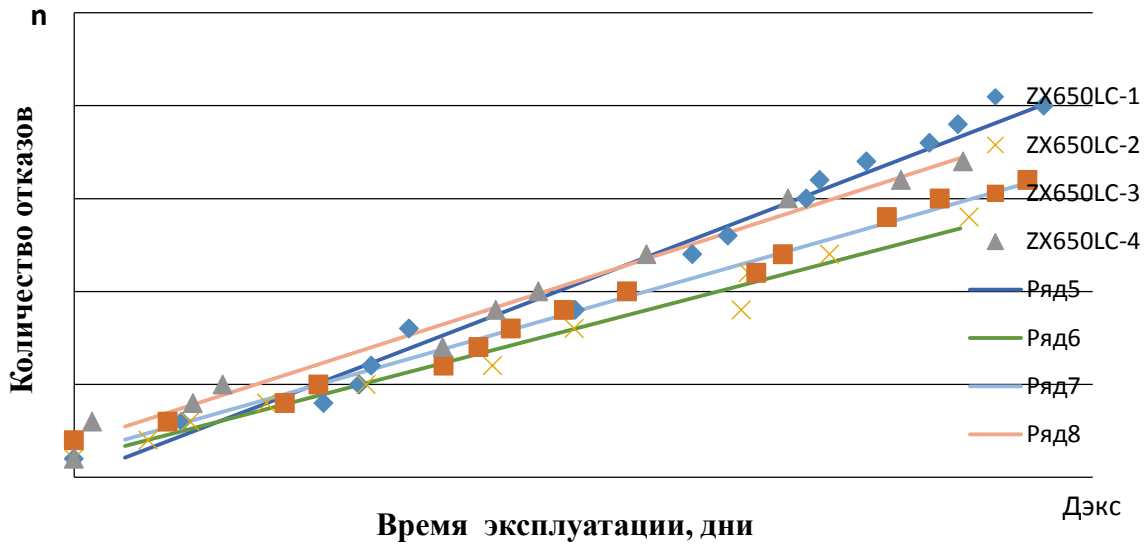


Рис. 6. Зависимость количества отказов экскаваторов ZX650LC-1, ZX650LC-2, ZX650LC-3, ZX650LC-4 от времени их эксплуатации

Для всех факторов, включая незначимые по F -критерию, рассчитаны значения критерия Стьюдента (t -значения) для проверки гипотезы о значимости частных коэффициентов корреляции. t -значения рассчитывались для уравнений регрессии в стандартизованном масштабе с уровнем зна-

чимости p , равным 0,05, и определённым числом степеней свободы. Результаты статистической обработки экспериментальных данных с помощью регрессионного анализа по экскаваторам четырех групп приведены в табл. 3–6.

Таблица 3

Результаты статистической обработки экспериментальных данных по экскаватору ZX140W-3, год изготовления 2011

| Экскаватор ZX140W 2011 г. в. | Факторы | Коэффициент корреляции R | Коэффициент детерминации R^2 | Скорректированный R^2 | Стандартная ошибка | Фигурный критерий Фишера F |
|------------------------------|-----------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|
| | | Наработка | 0,960265 | 0,922110 | 0,918216 | |
| | Кол-во ТО | | 0,996464 | 0,992940 | 0,992058 | 0,392852 |
| | | 0,987131 | 0,974427 | 0,971231 | 0,660550 | 304,8387 |
| | | 0,988737 | 0,977601 | 0,973868 | 0,969673 | 261,8761 |

Таблица 4

Результаты статистической обработки экспериментальных данных по экскаватору ZX270LC-3, год изготовления 2007

| Экскаватор ZX270LC 2007 г. в. | Факторы | Коэффициент корреляции R | Коэффициент детерминации R^2 | Скорректиро- ванный R^2 | Стандартная ошибка | Критерий Фишера F | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Время эксплуа- тации | | | | | | 0,986904 | 0,973979 | 0,972353 | 1,585428 | 598,9033 |
| | Наработка | | | | | | 0,992884 | 0,985820 | 0,984531 | 0,781922 | 764,7697 |
| | | | | | | | 0,990648 | 0,981383 | 0,980288 | 1,324161 | 896,1706 |
| | 0,973346 | 0,947402 | 0,936883 | 0,615384 | 90,0623 | | | | | | |

Таблица 5

Результаты статистической обработки экспериментальных данных по экскаватору ZX450LC-3, год изготовления 2008

| Экскаватор ZX450LC 2008 г. в. | Факторы | Коэффициент корреляции R | Коэффициент детерминации R^2 | Скорректиро- ванный R^2 | Стандартная ошибка | Критерий Фишера F | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | Время эксплуа- тации | | | | | | 0,984971 | 0,970168 | 0,967682 | 1,028735 | 390,2639 |
| | | | | | | | 0,990403 | 0,980898 | 0,980216 | 1,697644 | 1437,8820 |
| | | | | | | | 0,993727 | 0,987494 | 0,986899 | 1,004901 | 1658,3266 |
| 0,987908 | | 0,975963 | 0,974871 | 1,215296 | 893,2901 | | | | | | |

Таблица 6

Результаты статистической обработки экспериментальных данных по экскаватору ZX650LC-3, год изготовления 2011

| Экскаватор ZX650LC 2011 г. в. | Факторы | Коэффициент корреляции R | Коэффициент детерминации R^2 | Скорректиро- ванный R^2 | Стандартная ошибка | Критерий Фишера F | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| | Время эксплуа- тации | | | | | | 0,991971 | 0,984006 | 0,982776 | 0,832195 | 799,8418 |
| | | | | | | | 0,990576 | 0,981241 | 0,979157 | 0,622019 | 470,7945 |
| | | | | | | | 0,994430 | 0,988891 | 0,987966 | 0,493278 | 1068,2779 |
| 0,993270 | | 0,986585 | 0,985095 | 0,673126 | 661,9339 | | | | | | |

Заключение

Величины коэффициентов корреляции по всем представленным регрессионным моделям находятся в пределах 0,9...0,99, что, по шкале Чеддока [4], качественно характеризует силу связи как весьма высокую.

Полученные математические модели и построенные зависимости количества отказов n от времени эксплуатации $D_{экс}$ экскаваторов ZX450LC-1, ZX450LC-2, ZX450LC-3, ZX450LC-4 (рис. 1) позволяют сделать вывод о том, что для машин данной размерной группы отказы проявляются с увеличением времени эксплуатации, что связано с естественными процессами износа элементов и старения материалов.

Математические модели, полученные в результате регрессионного анализа для определения количества отказов экскаваторов ZX140W-2, ZX140W-3, ZX140W-4, и построенные соответствующие графические зависимости (рис. 3) позволили сделать вывод о том, что для машин данной размерной группы при проведении технических обслуживаний выявлялась значительная часть предотказных состояний, которые были при наблюдении зафиксированы как отказы. В связи с этим на графических зависимостях количество отказов растет вместе с увеличением числа выполняемых ТО.

Для экскаваторов ZX270LC-2, ZX270LC-3, ZX270LC-4 в результате регрессионного анализа получены математические модели определения



количества отказов, графическое отображение которых (рис. 5) позволяет подтвердить традиционную логику подобных наблюдений – с увеличением наработки машин количество отказов естественно возрастает. Необходимо отметить, что значительный рост числа отказов указанных машин наблюдается при наработке от 10 до 22 тыс. отработанных мото-часов.

Зависимости количества отказов экскаваторов ZX650LC-1, ZX650LC-2, ZX650LC-3, ZX650LC-4 от времени их эксплуатации (рис. 6), построенные по соответствующим регрессионным моделям, имеют общий характер. Нарастание числа отказов в связи с увеличением времени эксплуатации говорит о прямой зависимости от интенсивности использования этих машин.

Зависимости количества отказов экскаваторов от наработки (рис. 2) и времени эксплуатации (рис. 4) подтверждают общую тенденцию нарастания числа отказов, связанную с учетом указанных факторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Афанасьева Н.Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента. М. : КНОРУС, 2013. 330 с.
- Власов М.П., Шимко П.Д. Общая теория статистики: Инструментарий менеджера международной фирмы. СПб. : Изд-во СПбГИЭУ, 2003. 450 с.
- Головин С.Ф. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов. М. : Мастерство, 2002. 464 с.
- Ильшев А.М., Шубат О.М. Общая теория статистики. М. : КНОРУС, 2013. 432 с.
- Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей. М. : Транспорт, 1972. 398 с.
- Лукинский В.С., Зайцев Е.И. Прогнозирование показателей надежности агрегатов трансмиссии // Надежность и долговечность машин и сооружений. Вып. 5. Киев : Наукова думка, 1984. 325 с.
- Озорнин, С.П. Бердников И.Е. Оценка жесткости условий эксплуатации строительных машин // Новая наука: Теоретический и практический взгляд : Междунар. науч.-практ. конф. Ч.2. Стерлитамак : РИЦ АМИ, 2015. С. 181–186.
- Озорнин С.П. Бердников И.Е. Обеспечение процессов функционирования технического сервиса мобильных транспортно-технологических машин с использованием диагностико-информационной системы // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация : матер. I Всерос. заочной науч.-практ. конф. Чита : ЗабГУ, 2016. С. 154–164.
- Озорнин С.П. Рационализация технологических процессов ТО и ремонта на основе мониторинга изменений технического состояния АТС в эксплуатации // Проблемы диагностики и эксплуатации автомобильного транспорта : Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск : ИрГТУ, 2011. С. 123–127.
- Озорнин С.П., Бердников И.Е. Совершенствование диагностирования технического состояния машин, эксплуатируемых в условиях Забайкальского края // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера. Конструкция, эксплуатация, экономика : материалы 90-й Междунар. науч.-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров. Иркутск : ИрГТУ, 2015. С. 37–48.
- Озорнин С.П. Организация и технология фирменного сервиса транспортных и технологических машин. Ч. 1. Чита : Изд-во ЗабГУ, 2013. 210 с.
- Озорнин С.П. Организация и технология фирменного сервиса транспортных и технологических машин. Ч. 2. Чита : Изд-во ЗабГУ, 2013. 131 с.
- Озорнин С.П. Технический сервис мобильных машин: стратегия ситуационно-комбинированного обслуживания. Чита : Изд-во ЧитГУ, 2004. 250 с.
- Федотов А.И. Основы научных исследований. Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2012. 86 с.



УДК 656.13.05

Корчагин Виктор Алексеевич,
заслуженный деятель науки РФ, д. т. н., профессор, Липецкий государственный технический университет,
тел./факс. 8(4742)328-207, e-mail: kafedrauat@mail.ru

Клявин Владимир Эрнстович,
к. т. н., доцент, Липецкий государственный технический университет,
тел. 8(910)742-98-12, e-mail: vllk@list.ru

Суворов Владимир Александрович,
к. т. н., доцент, Липецкий государственный технический университет,
тел. 8(4742)572-743, e-mail: suvorovva1949@mail.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ НА ОСНОВЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

V. A. Korchagin, V. E. Klyavin, V. A. Suvorov

CLASSIFICATION OF URBAN STREETS AND ROADS BASED ON ROAD SAFETY CHARACTERISTICS

Аннотация. Снижение смертности, травматизма и аварийности на автомобильных дорогах России является приоритетной задачей, что обуславливает необходимость усиления системы управления безопасностью дорожного движения. Липецким государственным техническим университетом предложено использование экспертной системы «Безопасность дорожного движения». Для её функционирования требуется создание методов объективной оценки и выработки управляющих воздействий, имеющих наибольшую эффективность. Разработанные научные подходы к определению однородных групп участков автомобильных дорог дают возможность использовать для выделенных групп типовые мероприятия. В качестве переменных приняты три группы показателей, таких как уровень аварийности, характеристика поведения участников движения, основанная на нарушениях правил дорожного движения, предшествующих возникновению дорожно-транспортного происшествия, и уровень сложности, определяемый числом пересечений всех видов и местами притяжения. В результате кластерного анализа, проведённого на примере улично-дорожной сети Липецка, выделены три группы улиц. Функции классификации, полученные с помощью дискриминантного анализа, позволяют отнести новую улицу или улицу с изменившимися характеристиками к одной из выделенных групп. Разбиение объектов на однородные группы даёт возможность определить очерёдность проведения мероприятий по повышению БДД, а также разрабатывать и применять типовые решения по каждой группе объектов. Полученные классификационные функции позволяют осуществлять мониторинг изменения характеристик объектов и оперативно определять, к какой группе отнести вновь определившиеся объекты.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, улично-дорожная сеть, кластерный анализ, детерминантный анализ, экспертная система.

Abstract. Reducing mortality, injuries and accidents on the roads of Russia is a priority, which makes it necessary to strengthen the road safety management system. Lipetsk State Technical University proposed the use of the expert system «Road Safety». For its functioning, it is required to create methods of objective evaluation and development of control actions that have the greatest efficiency. The developed scientific approaches to the definition of homogeneous groups of road sections make it possible to use standard measures for the selected groups. As variables, three groups of indicators have been adopted, such as the level of accidents, the behavior of the participants in the traffic, based on violations of traffic rules that preceded the occurrence of the road accident, and the level of complexity determined by the number of intersections of all types and places of attraction. As a result of the cluster analysis, conducted on the example of the Lipetsk street-road network, three groups of streets are identified. Classification functions obtained with the help of discriminant analysis allow us to assign a new street or street with the changed characteristics to one of the selected groups. The breakdown of objects into homogeneous groups makes it possible to determine the sequence of actions to improve road safety, and to develop and apply standard solutions for each group of facilities. The obtained classificational functions allow, to monitor the change in the characteristics of objects and promptly determine to which group the newly identified objects should be assigned.

Keywords: road safety, street-road network, cluster analysis, deterministic analysis, expert system.

Введение

Формирование перечня мероприятий владельцев автомобильных дорог по повышению безопасности дорожного движения (БДД) с целью выбора объектов для реализации мероприятий с наибольшей эффективностью возможно только при проведении анализа и постоянного мониторинга. Такими объектами могут быть участки автомобильных дорог различной протяженности, муниципальные образования, районы муниципальных образований, улицы, пересечения транспортных потоков и т. п. Наибольшая концентрация аварийности характерна для муниципальных образований с развитой улично-дорожной сетью и ин-

тенсивным движением. В настоящей статье приводятся теоретико-практические подходы к разбиению объектов на однородные группы на примере улично-дорожной сети г. Липецка.

Постановка задачи

Важнейшей задачей Федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 годах» [1] является повышение эффективности управления в области обеспечения безопасности дорожного движения на федеральном, региональном и местном уровнях, которое, по мнению В. Н. Буркова, В. Д. Кондратьева и А. В. Щепкина [2], находится в процессе формирования и характеризуется разобщенностью и недоста-