

**Обратите внимание!**

**Статья отозвана (ретрагирована)**

**Статья**

**Теплякова С.В., Котесова А.А.** Обеспечение практической безотказности деталей строительных машин // Интернет-журнал «Мир науки» 2014 №2, <http://mir-nauki.com/PDF/07TMN214.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**отозвана (ретрагирована) редакцией журнала в соответствии с правилами отзыва (ретракции) Интернет-журнала «Мир науки»**

<http://mir-nauki.com/retraction.html>

**В ходе дополнительной проверки выяснилось, что значительную часть статьи составляют некорректные заимствования из следующих источников:**

**Касьянов В.Е., Теплякова С.В.** Методы обеспечения абсолютной безотказности деталей машин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» 2013 №3, <http://naukovedenie.ru/PDF/39trgsu313.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**Редакция приносит извинения читателям за доставленные неудобства**

УДК 62

05.05.04 Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

**Теплякова Светлана Викторовна**

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Аспирант

E-Mail: svetlana.kotova.89@mail.ru

**Котесова Анастасия Александровна**

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»

Россия, Ростов-на-Дону

Ассистент кафедры

E-Mail: Stasi777.86@mail.ru

## Обеспечение практической безотказности деталей строительных машин

**Аннотация:** В данной работе приводится обоснование разности ресурсов фактического и заданного, предлагаются варианты оптимизации вероятности безотказной работы, разработана структурная схема обеспечения абсолютной безотказности. Сделан вывод о возможности практически безотказной работы. Таким образом, применение изложенного метода обеспечивает ноль отказов за заданный ресурс детали 20 тыс. ч. и незначительное увеличение цены детали примерно на 2-4%.

**Ключевые слова:** Вероятность безотказной работы; совокупность; выборка; ресурс; надежность; ответственные детали машин.

Проблема создания машины без отказов занимала умы многих исследователей на протяжении многих лет. Создаваемые и эксплуатируемые машины (узлы и детали) в разных отраслях промышленности в первой половине XX в. первоначально в небольших объемах выпуска довольно часто отказывали и требовали соответственно тех или иных затрат на ремонт. Кроме того, машины того периода характеризовались довольно большим объемом технического обслуживания.

Рассмотрим предварительные замечания. Особенностью науки и практики обеспечения надежности машин и их составных частей является использование одного из направлений математики – теории вероятностей и математической статистики. Основание этому – значительные объемы статистической информации из-за сравнительно больших генеральных совокупностей машин – это от 100 и до миллионов единиц и выборки из них – 10-100 и более.

Если генеральная совокупность больше  $10^2$ , то обработку статистических данных обычно выполняют по выборкам в объеме от 5 до 100-200. При аппроксимации полигона распределения выборочных случайных величин объемом более 50 (требование критерия Мизеса  $\omega_2$ ) следует использовать вероятностные законы с ограничениями в области левой или правой ветвей кривой распределения, например, закон Вейбулла с тремя параметрами или закон Фишера-Типпета.

Анализ компьютерных экспериментов по формированию выборок из генеральных совокупностей  $N_c=10^3-10^5$  показал, что среднее квадратическое отклонение выборок всегда меньше, чем у генеральной совокупности и, соответственно, сдвиги распределений прочности и ресурса завышены.

Это позволило объяснить ранние отказы машин, принадлежащих генеральной совокупности.

На рис. 1 представлены функции распределения ресурсов генеральных совокупностей конечного объема (далее совокупностей) деталей машины. На ней обозначен заданный ресурс машины, интервал рассеивания моделированных сдвигов ресурсов совокупностей конечного объема. Для установления требования к минимальному ресурсу  $i$ -ой детали необходимо сдвинуть интервал рассеивания на 15% от минимального ресурса и получить в результате этого ресурс  $i$ -ой детали с запасом 15% (15% принято по аналогии со статическим расчетом на прочность с коэффициентом запаса  $K_3=1,15$ ).

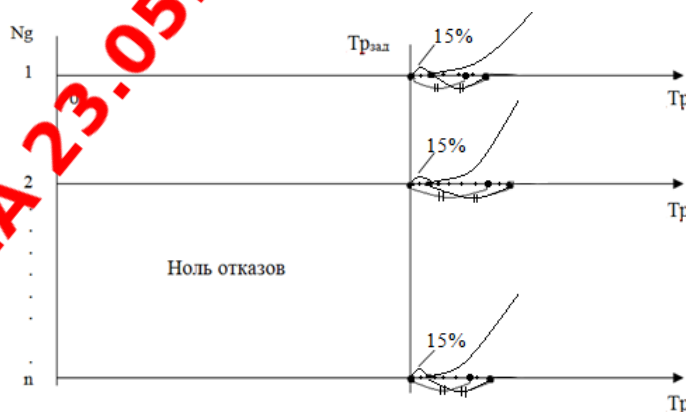


Рис. 1. Функции распределения ресурсов совокупностей деталей машины

Вместе с тем для ответственных деталей, узлов и машины в целом может оказаться недостаточным требование на ВБР 0,99 – 0,95. В этом случае возникает задача определения необходимого увеличения цены ответственных деталей узлов машины при условии отсутствия отказов за заданный ресурс, т.е. получения ВБР  $P(T_{p3})=1$ .

Ранее выполненные расчеты [1], связанные с оптимальными параметрами или оптимальным гамма-процентным ресурсом детали показали, что для многих деталей вероятность безотказной работы составляет  $P=0,99-0,95$ . Более высокие значения вероятности безотказной работы  $P=0,94-0,95$  соответствовали базовым деталям. Это означает, что допускается один отказ на 10 тыс. или 100 тыс. деталей. Вместе с тем для обеспечения безопасности базовых деталей важно получить их параметры, которые бы имели вероятность отказа  $Q=0$ . При этом немаловажно оценить величину увеличения цены такой детали. В случае 5 – 20% увеличения цены целесообразно повысить прочность или снизить нагруженность, обеспечив тем самым 0 отказов за заданный ресурс  $T_p$  детали.

В данной работе предлагается метод расчета усталостного ресурса стрелы одноковшового экскаватора для совокупности конечного объема по выборочным данным, с помощью аналитического метода определения параметров закона Вейбулла. Расчет выполнен по алгоритму, который представлен на рис.2 [2].

Согласно принципу соответствия, мода совокупности моды выборки. Выполненное моделирование с помощью ЭВМ (компьютерный эксперимент) путем получения выборок из совокупности показало, что значение параметров формы  $b$  и  $B_c$  отличаются на 0,012- 0,440 % , т.е. не существенно.

Этот компьютерный эксперимент предусматривал получение 200 выборок по 56 значений относительная ошибка  $\delta$  при сравнении мод совокупности и выборки составила от 0,027 до 2% , что является допустимым значением, которое включает в себя до 95% эксперимента.

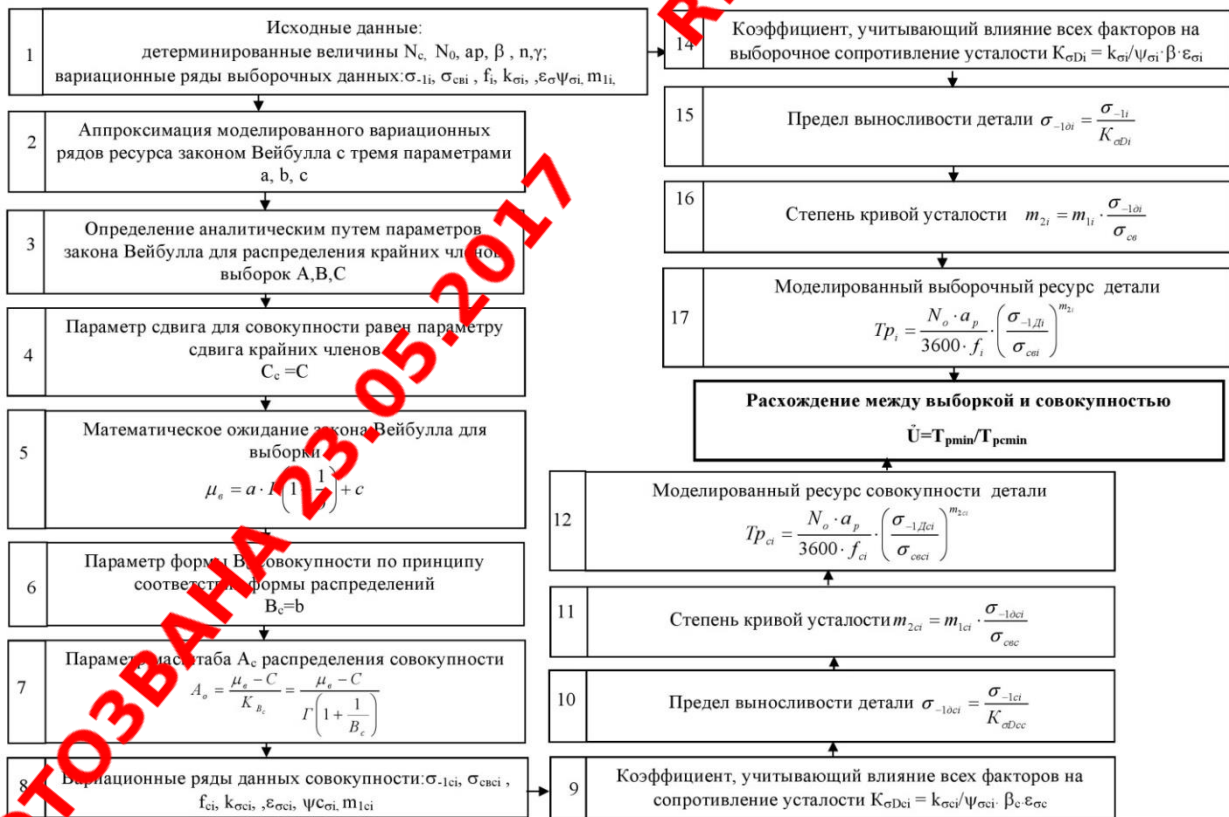


Рис. 2. Алгоритм определения уточненного расхождения между минимальными ресурсами по выборке и совокупности

В целях тщательного определения величины данной относительной ошибки выполнено моделирование (компьютерный эксперимент) для параметров детали (твёрдость, предел

прочности, ресурсе) из совокупности  $N_c=10^4$  путем извлечения выборок объемом  $n=50$  в количестве  $m=200$ . Относительные ошибки при сравнении сдвигов совокупности и крайних членов выборок составили 0,1 – 0,9% (среднее значение ошибки составляет  $\delta_{cp}=0,378\%$ ), что во много раз меньше 3 – 5% и обеспечивает достаточно корректное определение  $C_c$  через  $C$ .

Оптимизация вероятности безотказной работы (ВБР) для заданного усталостного ресурса стрелы как базовой детали одноковшового экскаватора, является важной и обязательной технико-экономической задачей.

Оптимальное значение ВБР может быть получено в результате рассмотрения различных вариантов изготовления стрелы экскаватора [3].

В качестве возможных вариантов, связанных с изменением прочностных характеристик и действующего напряжения в опасном сечении стрелы, предлагается:

1. Увеличение толщины стенки стрелы (с 8 до 14 мм).
2. Изменение марки стали (со Ст3 на 09Г2С).

Моделирование ресурса  $T_p$  проводилось в соответствии с алгоритмом (рис.2). Получены значения минимального ресурса  $T_{pmin}$ , вероятности безотказной работы (ВБР)  $P_i$ , цена детали  $C_{ci}$ , суммарные затраты  $Z_{pi}$ .

Для более точного определения оптимального значения ВБР  $P_{opt}$  аппроксимированы полученные зависимости.

Таким образом при вероятности безотказной работы  $P=0,999$  за 20 тыс. часов, оптимальным вариантом является конструкция из стали 09Г2С с толщиной стенки 8 мм (рис. 3.).

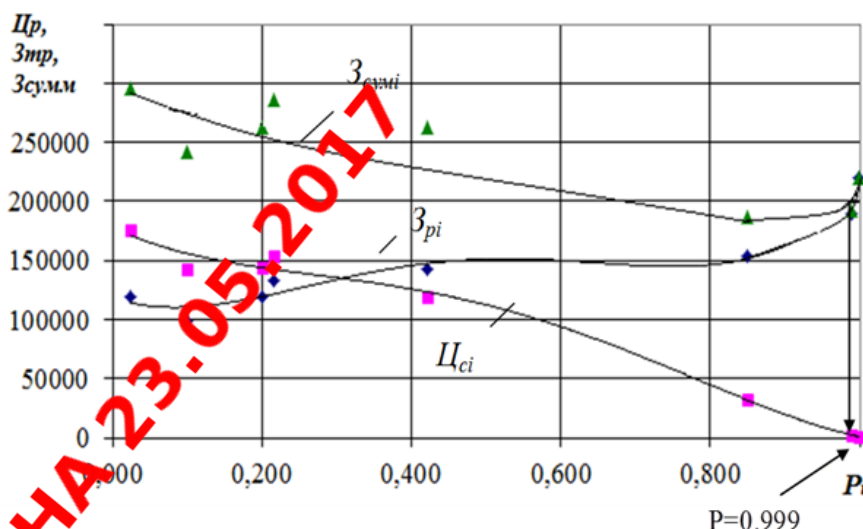
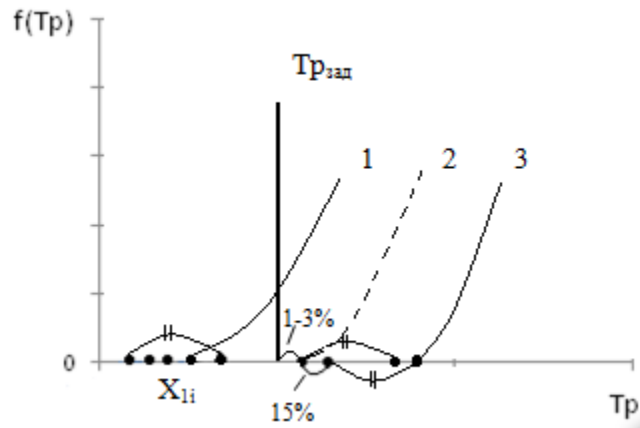


Рис. 3. Оптимизация ВБР за ресурс стрелы 20 тыс. часов (зависимости цены стрелы  $C_{ci}$ , затрат, связанных с устранением отказов  $Z_{pi}$ , и суммарных затрат  $Z_{сумм}$ )

При оптимизации вероятности безотказной работы деталей следует использовать параметры трехпараметрического закона Вейбулла, определенных по совокупности, а не по выборке [4].

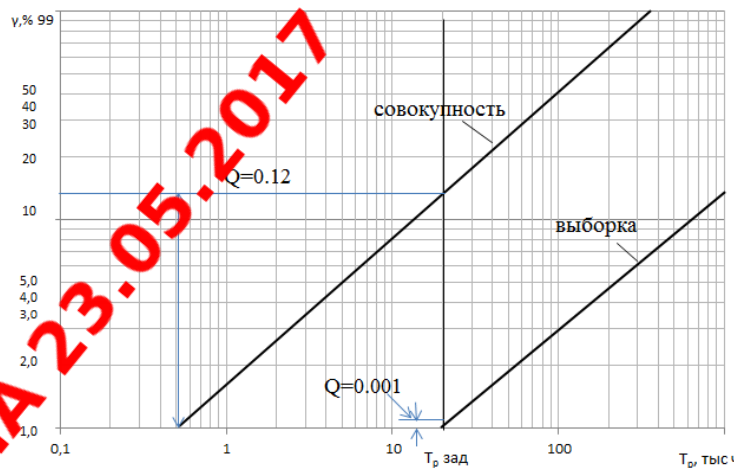


**Рис. 4.** Гарантированный безотказный ресурс детали для совокупности: 1, 2, 3 – распределение ресурса данной детали; после увеличения ресурса; гарантированный ресурс смещен еще на 15%

Для гарантии при сдвиге полученного расположения отказов и особенно минимального значения, необходимо обеспечить  $T_{p\min}$  больше  $T_{p\text{зад}}$  хотя бы на 1-3%.

На рис.4 показано точками рассеивание минимальных значений ресурса деталей и новое положение этих точек после увеличения ресурса. Для гарантии отсутствия отказов за заданный ресурс  $T_{p\text{зад}}$  начало распределения ресурса смещено еще на 15%.

Для расчета этого ресурса используется известная формула Велера-Когаева [4]. В эту формулу подставляются выборочные значения предела выносливости и действующего напряжения. Далее находится оптимальное значение вероятности безотказной работы  $P(T_p)=0,999$  и соответственно вероятность отказа  $F(T_p)=1-0,999=0,001$ , представленная на вероятностной бумаге на рис. 5.



**Рис. 5.** Вероятностные распределения ресурса по выборке и совокупности

Переход от выборочных значений к совокупности ресурса показывает его снижение в 38 раз (рис. 5) и возникновение преждевременных отказов стрелы.

Для обеспечения ВБР стрелы примерно равного 0,999 для совокупности стрел необходимо увеличить предел выносливости стали путем замены на более прочную сталь и (или) уменьшить действующее напряжение путем увеличения толщины стенки или размеров сечения.

Далее для обеспечения гарантии отсутствия отказов (ноль отказов) за ресурс  $T_p=20$  тыс. ч. Требуется увеличить минимальный ресурс стрелы сначала на 3% (для незначительных,

непредвиденных обстоятельств), а затем рассмотреть варианты увеличения этого минимального ресурса на 15% (по аналогии со статистическим расчетом металлоконструкций), а после увеличить на 30% или более. В этом случае на вероятностной бумаге (рис. 6) распределение ресурсов с их минимальными значениями расположатся за пределами  $T_p=20$  тыс. ч. И их минимальные ресурсы будут соответственно равны 20085 ч. (3%), 22425 ч. (15%), 25350 ч. (30%).

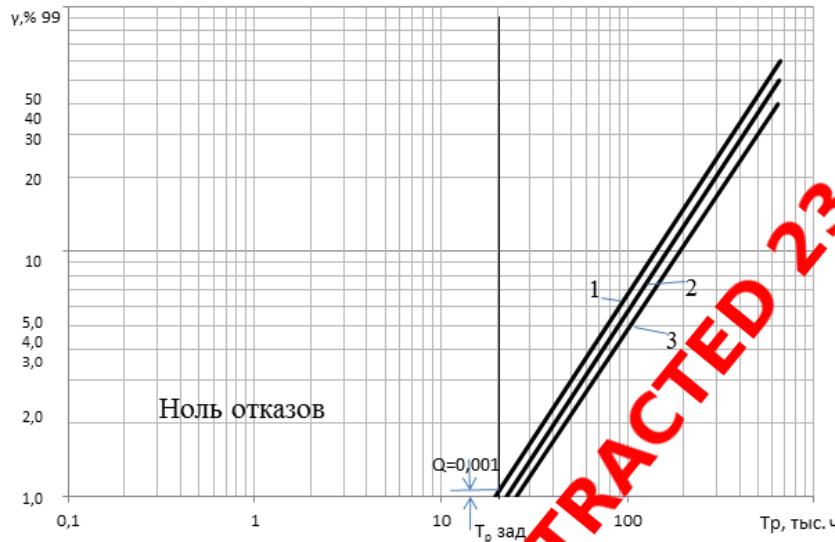


Рис. 6. Распределения ресурса детали до (1) и после (2, 3) смещения минимального ресурса на 15 и 30%

Так как на вероятностной бумаге минимальное значение ресурса соответствует  $F(T_p) = 0,001$ , возможно, что параметр сдвига окажется меньше при нулевом значении вероятности отказа (рис. 7). Определена величина расхождения между ними, которая составляет  $\delta=0,5\%$ .

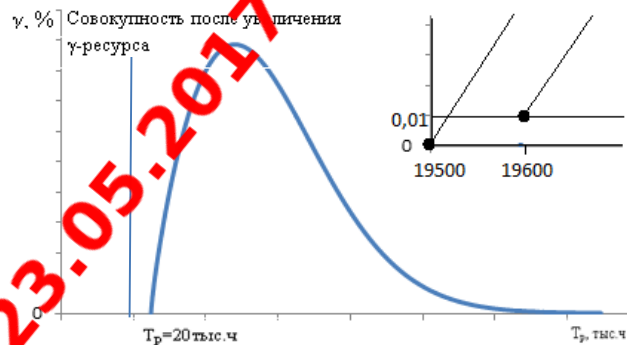
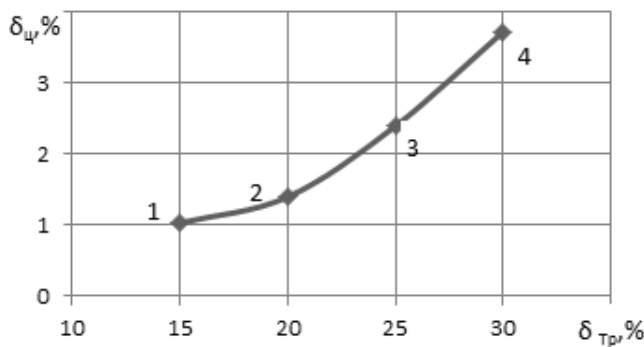


Рис. 7. Расхождение между сдвигом и  $\gamma$ -процентным значением ресурса.

Из этого следует, что минимальное значение распределений ресурсов (рис. 6), которое начинается с 1% а не с нуля, как это требуется для параметра сдвига, дает несущественную ошибку.

Изменение несущей способности и действующего напряжения вызывает примерно такое же увеличение цены стрелы. При значении  $m_2$  в формуле Велера-Когаева равном 8, увеличение цены детали составит около 1,76% - 3,73% (рис. 8).



*Рис. 8. Увеличение цены детали в % в зависимости от увеличения минимального ресурса  $T_p$  на 15-30%*

Таким образом, применение изложенного метода обеспечивает ноль отказов за заданный ресурс детали 20 тыс. ч. и незначительное увеличение цены детали примерно на 2-4%.

RETRACTED 23.05.2017

ОТОЗВАНА 23.05.2017



## ЛИТЕРАТУРА

1. Касьянов В.Е., Теплякова С.В. Методы обеспечения абсолютной безотказности деталей [Электронный ресурс] //Интернет-журнал «Науковедение», 2013, № 3. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/39trgsu313.pdf> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
2. Касьянов В.Е., Котесова А.А., Теплякова С.В. Упрощенное определение расхождений между минимальными ресурсами выборок и совокупности для ответственных деталей машин //Интернет-журнал«Инженерный вестник Дона»,2013, № 2.Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1694> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
3. Котесова А.А. Уточненное определение ресурса совокупности по выборочным данным для стрелы одноковшового экскаватора // Интернет-журнал «Инженерный вестник Дона», 2013, № 2. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1695> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
4. Когаев В.П., Петрова И.М. Расчет функции распределения ресурса деталей машин методом статистических испытаний // Вестник машиностроения. – 1981. – № 1 – С.9 – 11.
5. Genschel U., Meeker W. /A Comparison of Maximum Likelihood and Median Rank Regression for Weibull Estimation. – Department of Statistika Iowa State University Ames. IA 50011 -2010 year.

**Рецензент:** Евсеев Дмитрий Зиновьевич, доцент кафедры технической эксплуатации (сервиса) автомобилей и оборудования Ростовского государственного строительного университета, кандидат технических наук.

**Svetlana Teplyakova**

Rostov State University of Civil Engineering  
Russia, Rostov-on-Don  
E-Mail: svetlana.kotova.89@mail.ru

**Anastasya Kotsova**

Rostov State University of Civil Engineering  
Russia, Rostov-on-Don  
E-Mail: Stasi777.86@mail.ru

## Providing practical reliability of parts of construction machinery

**Abstract.** In this work provides the basis for the difference between resources of actual and specified, variants of optimization and probability of faultless work. Structural diagram ensure total reliability. The conclusion about the possibilities are virtually trouble-free operation. Thus, the application described method provides a zero failures during the specified resource details 20 thousand hours and a slight increase in rates details about 2-4%.

**Keywords:** Probability, the collection, sampling, resource, reliability, responsible machine parts.

## REFERENCES

1. Kas'janov V.E., Tepljakova S.V. Metody obespechenija absoljutnoj bezotkaznosti detalej [Jelektronnyj resurs] //Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2013, № 3. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/39trgsu313.pdf> (dostup svobodnyj) – Zagl. s jekrana. – Jaz.rus.
2. Kas'janov V.E., Kotesova A.A., Tepljakova S.V. Uproshhennoe opredelenie rashozhdenij mezhdju minimal'nymi resursami vyborok i sovokupnostej dlja otvetstvennyh detalej mashin //Internet-zhurnal«Inzhenernyj vestnik Dona», 2013, № 2. Rezhim dostupa: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1695> (dostup svobodnyj) – Zagl. s jekrana. – Jaz.rus.
3. Kotesova A.A. Utochnennoe opredelenie resursa sovokupnosti po vyborochnym dannym dlja strely odnokovshovogo jekskavatora // Internet-zhurnal «Inzhenernyj vestnik Dona», 2013, № 2. Rezhim dostupa: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1695> (dostup svobodnyj) – Zagl. s jekrana. – Jaz.rus.
4. Kogaev V.P., Petrova I.M. Raschet funkcii raspredelenija resursa detalej mashin metodom statisticheskikh ispytaniij // Vestnik mashinostroenija. – 1981. – № 1 – S.9 – 11.
5. Genschel U., Meeker W. /A Comparison of Maximum Likelihood and Median Rank Regression for Weibull Estimation. – Department of Statistika Iowa State University Ames. IA 50011 -2010 year.