

УДК 629.113

КОТЕСОВА А.А., ассистент
Ростовский государственный строительный университет

УВЕЛИЧЕНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ДЕТАЛИ

Предлагается расчет гамма-процентного усталостного ресурса детали одноковшового экскаватора с различными вариантами изготовления детали. Выполнена оптимизация усталостного гамма-процентного ресурса детали одноковшового экскаватора и рассчитан экономический эффект. Выявлено, что вероятность безотказной работы стрелы с увеличенным гамма-процентным ресурсом составит 0,93, что соответствует ресурсу $T_{ri} = 19500$ ч. При этом гамма-процентный ресурс для серийной стрелы оказался меньше в 35,9 раза.

Ключевые слова: надежность, ресурс, оптимизация, генеральная совокупность, выборка, экономический эффект.

Постановка проблемы

В современных условиях не перестает быть актуальной проблема повышения эффективности функционирования строительных машин. Простой строительной техники, в частности одноковшового экскаватора (ОЭ), приводят к нарушению сроков работ и к значительным экономическим потерям. Как известно, базовой деталью одноковшового экскаватора является стрела. Повышение безотказности стрелы ОЭ приведет к снижению количества отказов машины, сокращению затрат на ремонт и простоев техники.

Таким образом, гамма-процентный усталостный ресурс деталей, в частности стрелы одноковшового экскаватора, должен соответствовать ресурсу до списания машины. Для предупреждения отказов необходимо увеличить гамма-процентный усталостный ресурс стрелы до оптимального значения. Это позволит снизить затраты на ремонт и ущерб от простоя экскаватора и связанного с ним механизированного комплекса машин, что определяет актуальность представленной работы.

Цель статьи

Увеличение и оптимизация вероятности безотказной работы детали, в частности стрелы одноковшового экскаватора, с помощью перехода от выборочных исходных данных к численным значениям параметров генеральной совокупности конечного объема.

Основной раздел

Вопросами исследования и повышения надежности машин, в том числе и одноковшовых экскаваторов, занимались многие ученые, которые внесли значительный вклад в развитие теории и практики надежности машин. Анализ выполненных исследований показал, что имеется возможность совершенствования методов обеспечения заданного усталостного гамма-процентного ресурса деталей одноковшового экскаватора.

Таким образом, возникает необходимость разработки нового метода обеспечения заданного усталостного гамма-процентного ресурса деталей одноковшового экскаватора с использованием перехода выборка – совокупность.

Накопленные данные о надежности различных машин, узлов и деталей свидетельствуют о том, что во многих случаях отказы возникают преждевременно, хотя расчеты ресурса выполняются достаточно объективно.

Вместе с тем известно, что в расчетах ресурса используются исходные данные, полученные по выборкам объема $n=10 \div 100$, хотя в эксплуатации могут находиться тысячи и даже миллионы машин, узлов и деталей, образующих генеральные совокупности конечного объема.

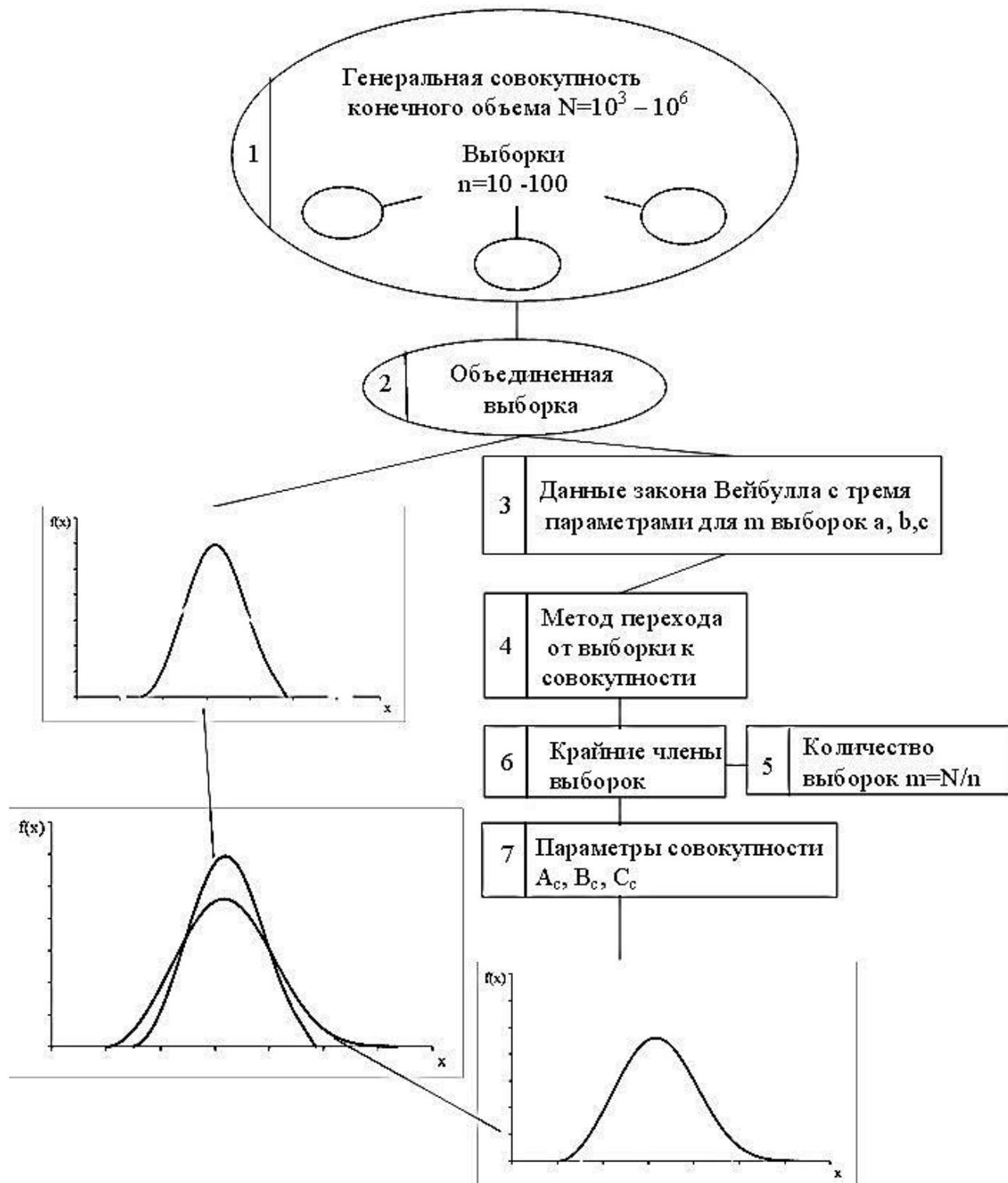


Рис.1. Алгоритм уточненного определения параметров прочности, нагруженности и ресурса с помощью перехода от выборочных исходных данных к параметрам совокупности

Представлена модель увеличения и оптимизации усталостного ресурса деталей стрелы одноковшового экскаватора с использованием перехода от выборочных данных к данным совокупности прочности и действующих напряжений. Предлагаемая модель должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Иметь возможность с помощью моделирования получать совокупность ресурса детали, значений твердости, предела выносливости, предела прочности и нагруженности ($n=10 - 100$).
2. Учитывать как экспериментальные данные по прочности и нагруженности, так и технико-экономические параметры машины.
3. Позволять рассчитывать и оптимизировать гамма-процентный ресурс детали как для выборки, так и для совокупности.

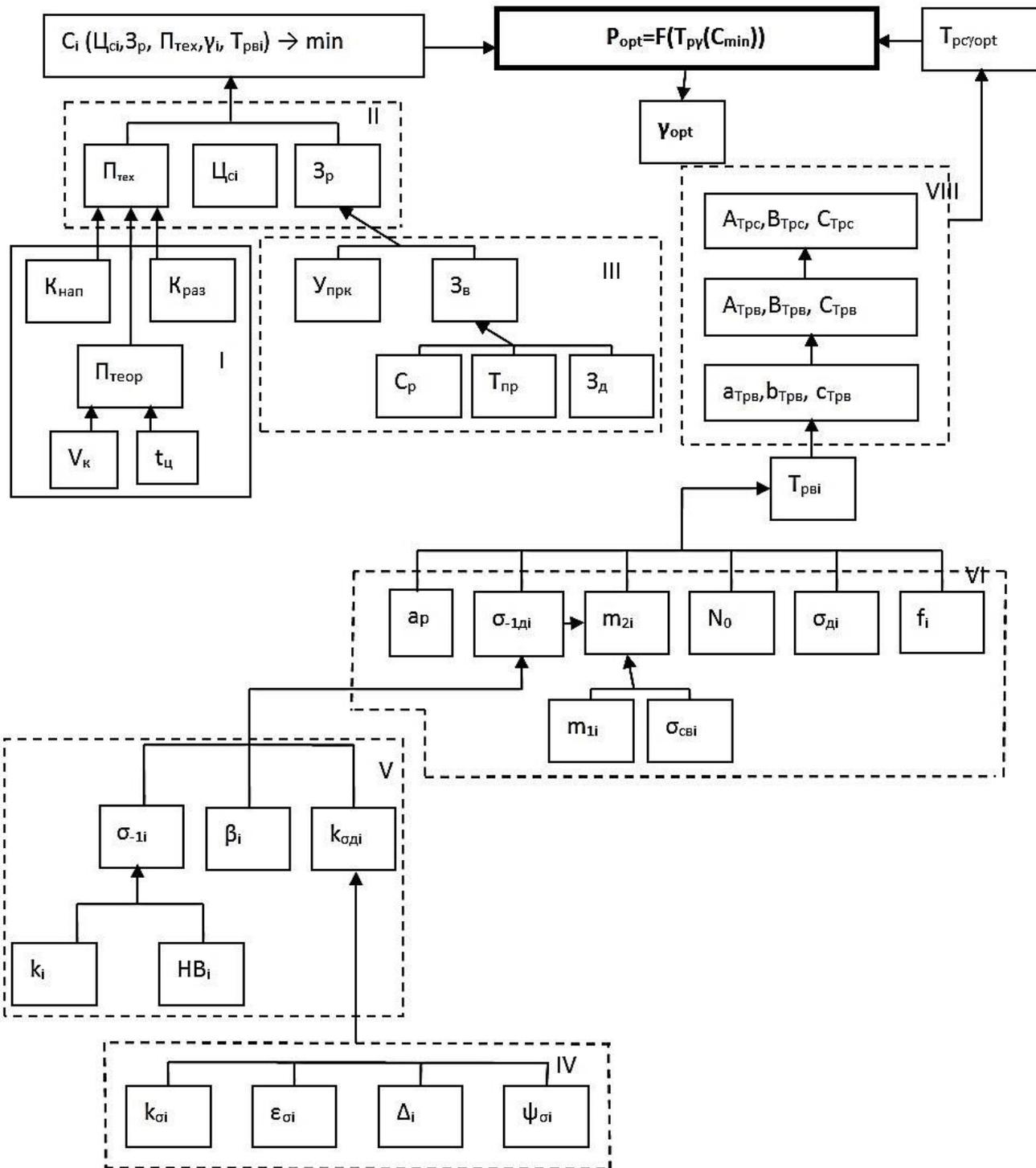


Рис. 2. Блок-схема модели обеспечения усталостного гамма-процентного ресурса стрелы одноковшового экскаватора

Данная модель представляет собой систему, состоящую из 7 блоков: I – параметры, влияющие на техническую производительность машины; II – параметры, влияющие на удельные

затраты; III – параметры, влияющие на затраты на ремонт; IV – параметры, влияющие на коэффициент предела выносливости; V – параметры, связанные с прочностью и нагруженностью детали; VI – параметры, необходимые для моделирования ресурса детали по выборочным данным; VII – параметры, необходимые для определения гамма-процентного ресурса детали.

В модели представлен блок, позволяющий определить гамма-процентный ресурс детали не по выборочным параметрам, а по параметрам совокупности, а также представлен блок оптимизации удельных суммарных затрат, который в итоге позволяет определить оптимальное значение ВБР детали.

Ранее было принято равенство сдвигов крайних членов выборок C и совокупности конечного объема C_c с ошибкой 3-5%. Достаточного обоснования величины этой сравнительно большой ошибки не приводится, поэтому возникла необходимость тщательного исследования определения величины данной ошибки. Для этого исследования рассмотрены 10 разных параметров (твердость, предел прочности, ресурс) стальных образцов и деталей. Для каждого параметра деталей (твердость, предел прочности, ресурс) выполнено моделирование (компьютерный эксперимент), когда по известным трем параметрам распределения Вейбулла для совокупности (объем совокупности $N_c=104$) случайным образом извлекали выборки объемом $n=50$ в количестве $m=200$. Из каждой выборки выбирали минимальные члены выборок и аппроксимировали законом Вейбулла с тремя параметрами.

При сравнении минимальных значений совокупности X_c и выборок $X_{кч}$, а также сдвигов совокупности конечного объема C_c и совокупности крайних членов выборок C минимальные ошибки находятся в интервале 0,1-0,9% (среднее значение ошибки $\delta_{ср}=0,387\%$).

Анализ соотношения сдвигов для крайних членов выборок и совокупности конечного объема параметров надежности машин и деталей показал, что при $C_c=C$ средняя относительная ошибка $\delta_{ср}=0,387\%$, что обеспечивает достаточно корректное определение C_c через C .

С учетом принципа соответствия скорректирован алгоритм расчета параметров A_c , B_c , C_c распределения Вейбулла для совокупности (рисунок 3)

В алгоритме вариационные ряды выборочных исходных данных аппроксимировались законом Вейбулла с тремя параметрами. Затем определялись аналитическим путем параметры z ВЗ для крайних членов выборок.

По принципу соответствия выборки и совокупности конечного объема (репрезентативности выборки) ожидается близкая форма кривой распределения совокупности к форме выборки и поэтому близкие значения параметров формы b и B_c и мод аппроксимирующих кривых выборок и совокупности.

Моделирование, выполненное с помощью ЭВМ (компьютерный эксперимент) путем получения выборок из совокупности, показало, что значения параметров формы b и B_c отличаются на 0,012- 0,440 % , т.е. незначительно.

Найден параметр масштаба распределения для совокупности.

В результате получены параметры совокупности.

Выполнен расчет параметров для симметричной выборки ($A_c=31,824$; $B_c=3,720$; $C_c=116,000$) и для асимметричной ($A_c=2,6$, $B_c=1,87$, $C_c=50,3$). Построен график плотностей распределения выборочных данных и совокупности, из которого видно, что расхождения мод весьма малы.

Исходя из всего изложенного, можно сделать вывод, что новый аналитический метод подходит как для симметричной выборки, так и для асимметричной.



Рис. 3. Алгоритм расчета распределения Вейбулла по выборочным исходным данным для параметров совокупности

В данном алгоритме в формуле Веллера-Серенсена-Кагаева представляется произведение коэффициентов по факторам, влияющим на предел выносливости образца (рисунок 4). Этот коэффициент показывает расхождение между экстремальными значениями факторов по выборке и совокупности.

Далее проводится проверка адекватности аналитического метода перехода выборка – совокупность. Выполненный эксперимент показал, что ошибки между исходной выборкой и выборками, полученными из совокупности, посчитанной по исходной выборке, являются несущественными (0,014 – 1,034 %).

Построены графики плотностей распределения исходной выборки и выборок, полученных из совокупности, найденной по исходной выборке (рисунки 5, 6, 7).

Произведено сравнение параметров сдвига и минимальных значений выборок исходной и полученных в результате моделирования (таблицы 1, 2, 3).



Рис. 4. Алгоритм определения упрощенного расхождения между минимальными ресурсами по выборке и совокупности

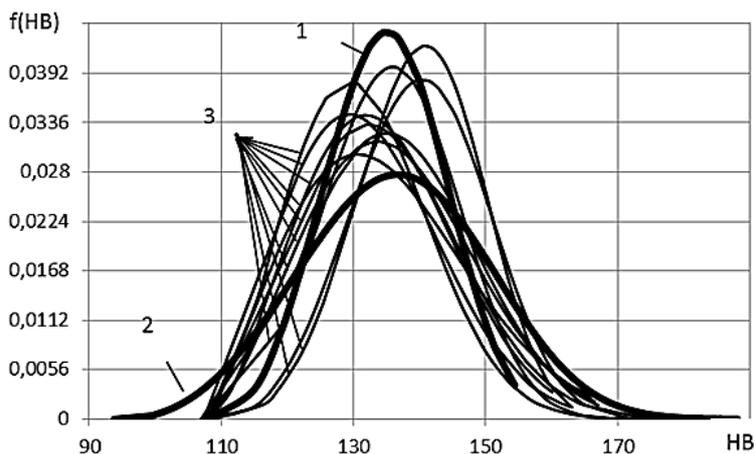


Рис. 5. Плотности распределения твердости HB стали:

1 – выборочные исходные данные; 2 – данные совокупности;
3 – данные, полученные путем извлечения выборок из совокупности (2)

Таблица 1

Ошибки по твердости HB стали между минимальными значениями исходной выборки и выборками, полученными в результате моделирования, а также между сдвигами этих выборок

№	$\delta X, \%$	$\delta C, \%$
1	0,974	0,093
2	0,443	0,314
3	0,117	0,463
4	0,642	0,611
5	0,302	0,571
6	0,284	0,676
7	0,925	0,314
8	0,302	0,065
9	0,393	0,580
10	0,018	0,991

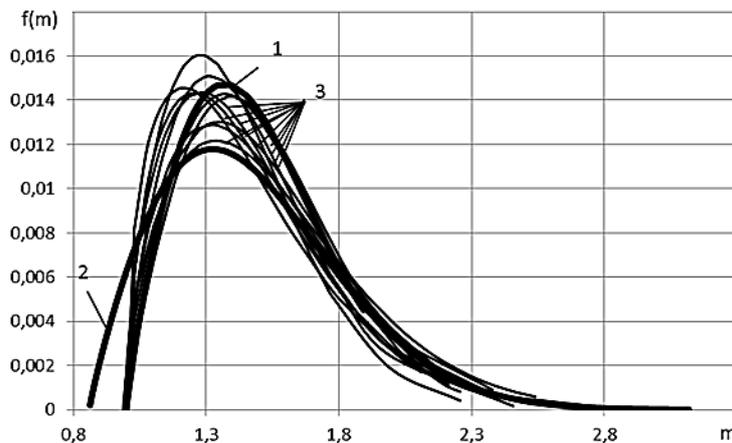


Рис. 6. Плотности распределения остаточного напряжения от сварки (m):

1 – выборочные исходные данные; 2 – данные совокупности;
3 – данные, полученные путем извлечения выборок из совокупности (2)

Ошибки по остаточному напряжению от сварки (m) между минимальными значениями исходной выборки и выборками, полученными в результате моделирования, а также между сдвигами этих выборок

№	$\delta X1, \%$	$\delta C, \%$
1	0,589	1,014
2	0,269	0,802
3	0,533	0,842
4	0,598	1,014
5	0,365	1,014
6	0,647	0,427
7	0,173	0,083
8	0,647	0,399
9	0,984	0,498
10	0,405	0,815

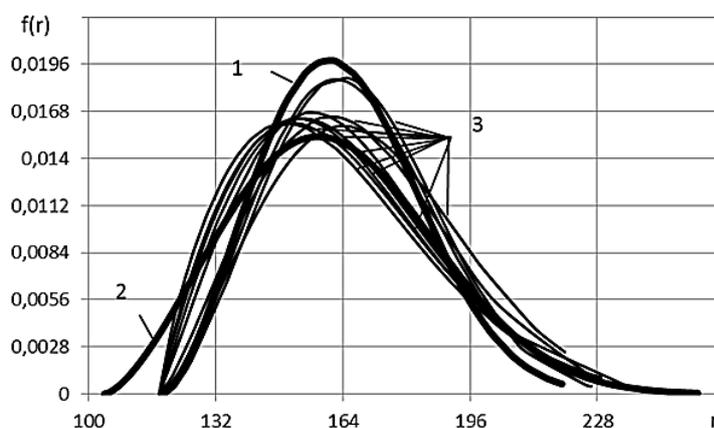


Рис.7. Плотности распределения концентрации напряжений (r):

1 – выборочные исходные данные; 2 – данные совокупности; 3 – данные, полученные путем извлечения выборок из совокупности (2)

Ошибки по концентрации напряжений (r) между минимальными значениями исходной выборки и выборками, полученными в результате моделирования, а также между сдвигами этих выборок

№	$\delta X1, \%$	$\delta C, \%$
1	0,209	0,261
2	0,451	0,916
3	0,453	0,748
4	0,733	0,714
5	0,576	1,034
6	0,124	1,025
7	0,533	0,387
8	0,451	0,076
9	0,748	1,034
10	0,453	0,176

Таким образом, выполненный эксперимент показал, что ошибки между исходной выборкой и выборками, полученными из совокупности, посчитанной по исходной выборке, являются незначительными (0,014 – 1,034%).

Оптимизация ВБР для усталостного гамма-процентного ресурса стрелы как базовой детали одноковшового экскаватора является важной технико-экономической задачей.

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

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

- увеличение толщины стенки стрелы (с 8 до 14 мм).
- изменение марки стали (со Ст3 на 09Г2С).

В связи с этим рассмотрены варианты изготовления детали (таблица 4).

Таблица 4

Возможные варианты изготовления стрелы одноковшового экскаватора

Вариант	Марка стали	Толщина стенки, мм	Увеличение сечения
1	Ст.3	10	+
2	Ст.3	12	+
3	Ст.3	14	+
4	09Г2С	8	-

Для разных вариантов изготовления стрелы одноковшового экскаватора рассчитана величина удельных затрат, выраженных в отношении суммарных затрат на изготовление стрелы и затрат, связанных с эксплуатацией машин, к объему разработанного одноковшовым экскаватором грунта.

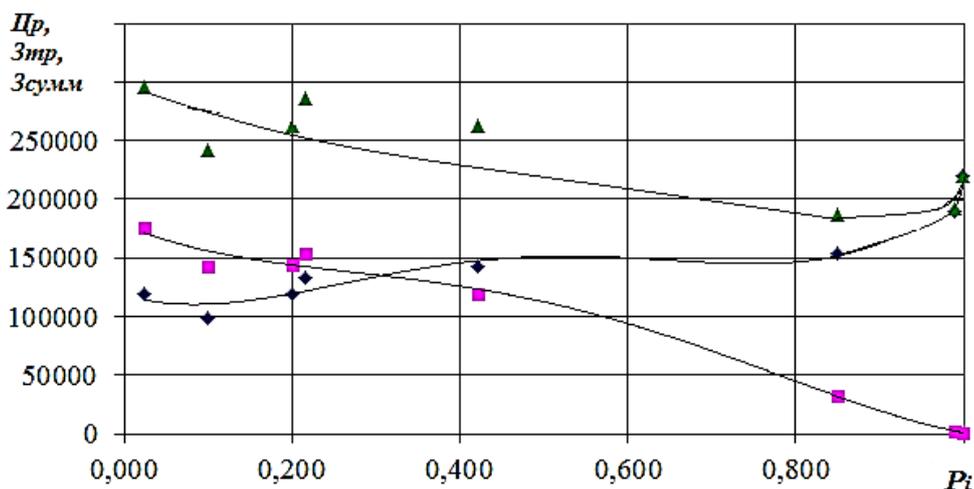


Рис. 8. Оптимизация ВБР за ресурс стрелы 20 тыс. часов (зависимости цены стрелы C_r , затрат, связанных с устранением отказов Z_{r_i} , и суммарных затрат $Z_{сум_i}$)

Выводы

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.

Таким образом, на основании проведенных расчетов прогнозируем, что вероятность безотказной работы стрелы с увеличенным гамма-процентным ресурсом составит 0,93, что соответствует ресурсу $T_{r_i}=19500$ ч. При этом гамма-процентный ресурс для серийной стрелы $T_{r_i}=542$ ч оказался меньше в 35,9 раза.

Следовательно, годовой экономический эффект для стрелы с увеличенным гамма-процентным ресурсом равен 411379 руб. на годовой объем выпуска экскаваторов в количестве 500 единиц.

Список литературы

1. Биргер И.А. Вероятность разрушения, запасы прочности и диагностика. – М.: Судостроение, 1970.
2. ГОСТ 25-502-83. Надежность в технике. Прогнозирование надежности изделий при проектировании.
3. ГОСТ 11.006-74. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.
4. Зайцева М.М., Котесова А.А., Котесов А.А. Анализ вариантов изготовления стрелы одноковшового экскаватора. Деп. ВИНТИ. 07.04.2011 №164-В2011.
5. Касьянов В.Е., Котесова А.А., Котова С.В., Калабухов А.А., Ляшенко А.С., Климович А.Л. Анализ соотношения сдвигов для крайних членов выборок и генеральной совокупности конечного объема параметров надежности машин и деталей //ИВД 2012. №1.
6. Касьянов В.Е., Котесова А.А., Теплякова С.В. Упрощенное определение ресурса совокупности по выборочным данным для стрелы одноковшового экскаватора //ИВД 2013. № 2.
7. Котесова А.А. Уточненное определение ресурса совокупности по выборочным данным для стрелы одноковшового экскаватора //ИВД. 2013. № 2.

Котесова А.А. Збільшення та оптимізація ймовірності безвідмовної роботи деталі.

Анотація. Пропонується розрахунок гамма-процентного втомного ресурсу деталі одноківшового экскаватора з різними варіантами виготовлення деталі. Виконано оптимізацію втомного гамма-процентного ресурсу деталі одноківшового экскаватора і розраховано економічний ефект. Виявлено, що ймовірність безвідмовної роботи стріли зі збільшеним гамма-процентним ресурсом складе 0,93, що відповідає ресурсу $T_{Pi} = 19500$ ч. При цьому гамма-процентний ресурс для серійної стріли виявився менше в 35,9 рази.

Ключові слова: надійність, ресурс, оптимізація, генеральна сукупність, вибірка, економічний ефект.

Kotesova A.A. Increase and optimize the probability of failure-free operation details.

Abstract. Proposed settlement gamma percentage fatigue life part shovel with different variants of manufacturing parts. Optimization of fatigue gamma-percent life details shovel and intended economic effect. Revealing that the probability of failure of the boom with increased gamma-percent life will be 0.93, which corresponds to a resource $TPI = 19500$ h. In this case the gamma-percent share for serial boom was less than 35.9 times.

Keywords: reliability, resource optimization, general population sample, the economic effect.

Стаття надійшла до редакції 27.02.2015 р.