

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/33TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/33TVN215>)

УДК 621.797:629.114.41

Мартышкин Анатолий Петрович

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»
Рузаевский институт машиностроения
Россия, Саранск¹
Доцент кафедры общетехнических дисциплин
Кандидат технических наук
E-mail: A-martyshkin@yandex.ru

Маскайкина Светлана Егоровна

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»
Рузаевский институт машиностроения
Россия, Саранск
Доцент кафедры металлообрабатывающих станков и комплексов
E-mail: rimstanok@mail.ru

Полуешина Наталья Ивановна

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»
Рузаевский институт машиностроения
Россия, Саранск
Доцент кафедры металлообрабатывающих станков и комплексов
E-mail: rimstanok@mail.ru

Веснушкина Нина Николаевна

ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»
Рузаевский институт машиностроения
Россия, Саранск
Доцент кафедры технологии машиностроения
E-mail: nina.vesnushkina@mail.ru

Анализ обоснования предельных параметров элементов машин и получение практической формулы определения предельных отклонений параметров с заданной безотказностью

¹ 431440, Республика Мордовия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93

Аннотация. Обеспечение надёжности машин и их элементов в эксплуатации связано с совершенствованием системы технического обслуживания и ремонта. При этом всегда имеется резерв снижения затрат на обслуживание и ремонт при обоснованном установлении предельных отклонений и значений параметров элементов машин. Анализ научных работ в данной области показал, что для обоснования предельных состояний используются самые различные критерии, которые далеко не всегда дают определённую, но имеют значительное разнообразие. Мы полагаем, что для выбора соответствующего критерия следует учитывать эффективность эксплуатации машины, узла, агрегата, а также требования потребителя. Часто наблюдается вероятностный характер связи между предельным отклонением параметра элемента машины и его отказом, так как данное отклонение может быть случайной величиной.

В статье рассмотрена схема формирования распределений отказов и предельных значений параметров элементов. Проанализированы различные методики обоснования предельных отклонений и значений параметров, выявлены их недостатки, в том числе при распространении на различные технические объекты. В результате проведённых исследований выявлена целесообразность разработки критериев и подходов, позволяющих корректировать предельные отклонения и значения параметров с учётом их вариации. Выявление взаимосвязи между предельным отклонением параметра элемента машины и его безотказностью даёт возможность оперативного внедрения полученных результатов в практику ремонтного производства. Полученная в результате вывода практическая формула позволяет определять и назначать предельные отклонения параметров элементов машин с требуемой или задаваемой вероятностью безотказности.

Ключевые слова: надёжность; ремонт; машина; элемент; предельный; отклонение; износ; сопряжение; критерий; параметр; отказ; распределение; оптимизация; вариация; риск; вероятность; безотказность; зависимость.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Мартышкин А.П., Маскайкина С.Е., Полушина Н.И., Веснушкина Н.Н. Анализ обоснования предельных параметров элементов машин и получение практической формулы определения предельных отклонений параметров с заданной безотказностью // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/33TVN215

Введение

Одной из наиболее важных открытых тем в современной науке и технике является проблема обеспечения требуемой надежности машин и оборудования, их узлов и деталей. Этому в значительной мере способствует совершенствование системы технического обслуживания и ремонта, применение которой обеспечивает предупредительную замену или восстановление тех деталей и сопряжений элементов, остаточный ресурс которых меньше межремонтной или межконтрольной наработки машины или её составной части.

Во всех случаях, когда элемент обладает прогнозируемым параметром и существуют технические средства по его контролю, имеется определенный резерв снижения затрат на обслуживание и ремонт. Реализуется этот резерв путем установления предельных и допускаемых значений параметров, таких как износ деталей, зазор в сопряжениях, производительность, точность и др.

Требования к машине и её элементам с точки зрения обеспечения комплексных технических характеристик, точности функционирования, эффективности работы, безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду и другие даются, как правило, в технических условиях. При достижении предельного состояния дальнейшая эксплуатация машины или агрегата должна быть прекращена в связи с возникновением потребности в ремонте или техническом обслуживании, так как ресурс отдельных элементов (деталей, сопряжений и пр.) считается исчерпанным.

Анализ обоснования критериев предельных состояний

Обоснованию предельных состояний элементов машин посвящены научные работы, основанные как на инженерном анализе отказов и конструктивных соображениях, так и на технико-экономических разработках [1-12].

Общепринято считать, что предельное состояние характеризует выход изделия из области работоспособности. Это относится как к машине в целом, так и к её элементам. Однако определение предельного состояния элементов машин и установление нормативов является сложной задачей, требующей специального методологического подхода. Основная трудность при этом заключается в том, что при конструировании назначаются предельные значения выходных параметров для машины или сборочной единицы в целом (мощность, производительность, точность и т.п.). При этом для обеспечения требуемых нормативно-технических показателей и оценки надежности машины необходимо устанавливать предельные значения всех тех параметров деталей и сопряжений, от которых зависит работоспособность изделия, что, несомненно, является сложной задачей.

Установление предельных состояний выходных параметров машин безусловно является основным требованием, так как именно их величина определяет область работоспособности. Контроль выходных параметров машины при её эксплуатации обычно не представляет принципиальных трудностей. Но поскольку изменение выходных параметров изделия является следствием изменения параметров отдельных элементов, при восстановлении работоспособности машины надо решать вопрос, допустима ли величина отклонений параметров этих элементов и какие из них требуют ремонта или замены.

Можно отметить, что занижение значений предельных износов деталей (сопряжений) ведет к уменьшению их допускаемых износов. При этом ресурс используется не полностью, что обуславливает увеличение издержек на предупредительную замену (восстановление). Завышение значений предельных износов ведет к увеличению допускаемых. При этом

возрастает количество отказов в межремонтном периоде, что обуславливает увеличение издержек на устранение их последствий в эксплуатации. Мы считаем, что подобные явления имеют место в связи с недостаточной обоснованностью или неточностью предельных значений износов, а, следовательно, требуют анализа и уточнения.

При обосновании предельного состояния используют различные критерии. Однако имеющиеся критерии зачастую неопределённые и отличаются по величине даже для одинаковых деталей машин.

В литературе выявлена следующая обобщенная классификация предельного состояния:

- 1) по виду изделия: а) детали, б) сопряжения, в) узла, агрегата, системы, г) машины;
- 2) по характеру развития повреждений: а) постепенные, б) внезапные разрушения;
- 3) по характеру критерия предельного состояния: а) косвенные, б) непосредственные;
- 4) по степени завершенности оценки: а) предварительные, б) окончательные;
- 5) по виду критерия: а) технические, б) экономические;
- 6) по области использования критерия: а) в эксплуатации, б) при испытаниях, в) при ремонте;
- 7) по виду разрушения, приводящего к предельному состоянию: а) при изнашивании, б) при усталости, в) при коррозии и т.п.;
- 8) по степени условности критериев предельного состояния: а) безусловные, б) условные;
- 9) по степени общности критериев: а) общие, б) локальные.

Как видно, критерии предельного состояния различаются большой разнообразностью. Даже в пределах приведенной классификации возможно существенное их варьирование в зависимости от области использования машины, конкретных условий эксплуатации, испытаний.

Мы полагаем, что для выбора критерия предельного состояния следует выявлять влияние величины отклонения параметра детали на эффективность эксплуатации узла, агрегата, машины, на сопряжённые и смежные элементы, определяющие выходные параметры машины или её узла, на возможность и рентабельность последующего ремонта. Эти исследования трудоёмки, но могут давать значительный эффект.

Технические критерии приемлемы как к некоторым машинам и отдельным агрегатам, так и к базовым элементам, если их отказ легко фиксируется, а устранение требует практически полной разборки машин или их отдельных узлов.

Надёжность и долговечность машины можно рассматривать и как экономическую категорию. Следовательно, с учетом некоторых исключений, для оценки предельного состояния машин и их элементов, а также оптимальных сроков их службы, наиболее рационально применение экономических подходов. В этом случае при обосновании предельного состояния машины и её элементов исходят из известного положения, что ресурс исчерпывается, когда удельные издержки на единицу продукции (наработки, выполненных работ) становятся минимальными или экономическая эффективность максимальной.

Часто считается, что достижение параметром элемента предельной величины полностью соответствует объективной потере его работоспособности. В действительности же

данное соответствие условно, а связь между отказом и предельным значением параметра имеет вероятностный характер, что отражено в литературе [1 - 3] и проиллюстрировано на рис. 1.

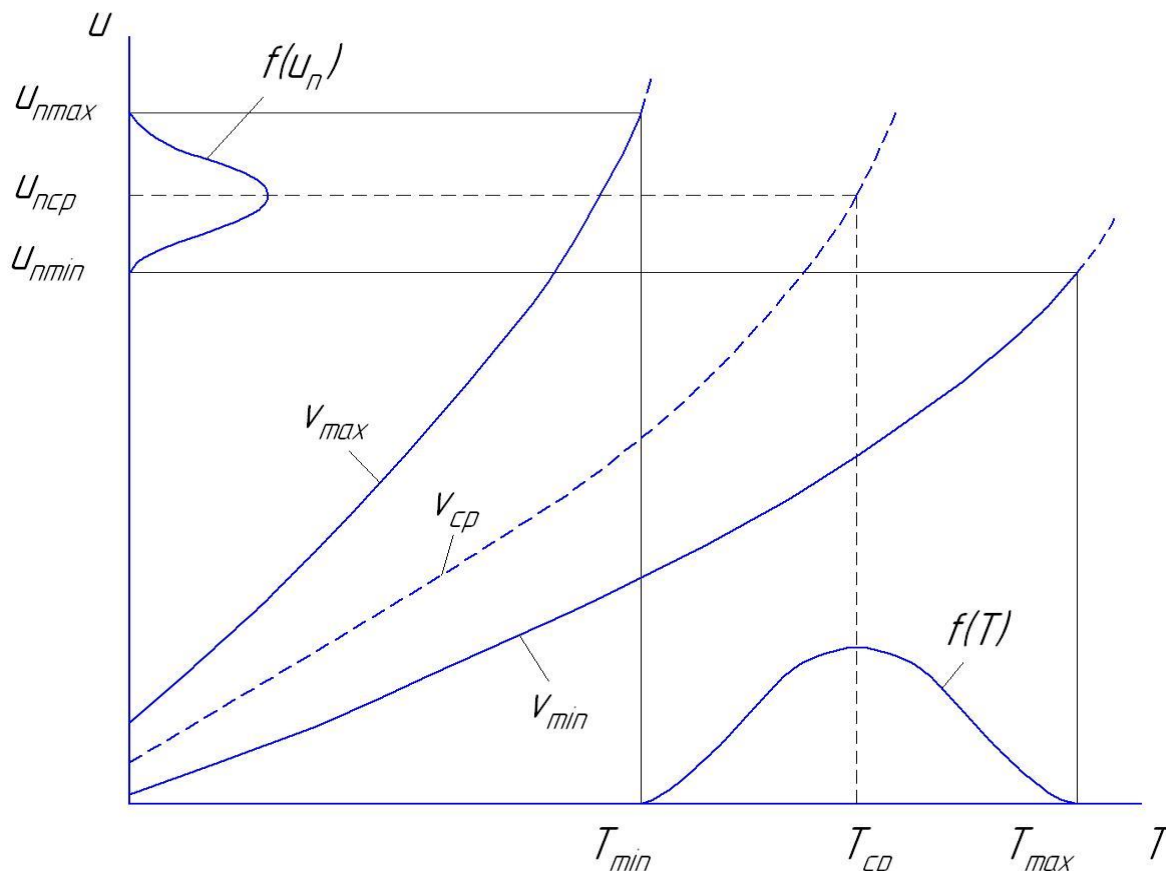


Рис. 1. Схема формирования распределений отказов и предельных отклонений параметров элементов (разработана авторами)

Анализ методов определения предельных состояний

В работе [1] даются методики расчета износа деталей, сопряжений, механизмов и машин. Для расчета предельного износа звеньев механизма предлагается формула:

$$U_{xmax} = \frac{(\Delta + e)\gamma_x}{\sum \gamma_k \cdot i_k} = \frac{\Delta + e}{\sum \left(\frac{\gamma_k}{\gamma_x} \right) \cdot i_k}, \quad (1)$$

где U_{xmax} - предельный износ механизма;

Δ - отклонение ведомого звена от заданного положения;

e - величина возможной компенсации износа механизма;

γ_k - скорость изнашивания каждого элемента;

γ_x - скорость изнашивания одного из элементов X механизма;

i_k - передаточное отношение между данным сопряжением и ведомым звеном.

При этом скорости изнашивания γ_x и γ_k определяются по зависимостям:

$$\gamma_x = \frac{U_{xmax}}{T}, \gamma_k = \frac{U_k}{T}, \quad (2)$$

где T - некоторый период работы механизма, после которого все звенья достигли определенных значений износов.

Однако по приведенным зависимостям можно подсчитать предельные износы звеньев механизма в том случае, если известны скорости изнашивания всех звеньев или их соотношение. Кроме того, не учитываются показатели вариации скоростей изнашивания элементов, ресурса и величины предельного износа, а формула (1) получена при условии линейной зависимости износа от времени. Определение предельных износов элементов не обосновывается также с точки зрения экономической эффективности.

Следует отметить, что в последнее время моделированию процессов трения и изнашивания сопряжений деталей машин уделялось большое внимание. Имеются теоретические зависимости для определения расчетным путём количественных значений износов.

В литературе [3, 4] приводится методика экономического обоснования предельного значения параметра, изменение которого влечет непрерывный рост удельных издержек. При этом считается, что функция изменения параметра в зависимости от наработки имеет вид:

$$u(t) = v \cdot t^\alpha \quad (3)$$

а функция удельных непрерывных издержек в зависимости от значений параметра выражается:

$$\psi(u) = a \cdot u^\beta, \quad (4)$$

где v , a , α и β - эмпирические коэффициенты, определяемые по результатам анализа статистических данных.

Исходя из того, что оптимальное предельное значение параметра u^* должно соответствовать минимуму суммарных издержек (потерь от работы с параметром, имеющим отклонение от номинала и затрат на замену изношенной детали) за срок службы машины, предлагается расчётная формула:

$$u^* = \left[\frac{c}{a} v^{0.5} \left(1 + \frac{1}{\alpha \cdot \beta} \right) \right]^{\frac{\alpha}{\alpha \cdot \beta + 1}}, \quad (5)$$

где C - стоимость восстановления параметра до номинального значения.

Однако применение данной зависимости для оптимизации предельных значений параметров элементов неэффективно при наличии совокупности деталей и сопряжений, износ которых приводит к ухудшению работы машины или составной части случайным образом. Это связано с тем, что подход позволяет оптимизировать предельное значение параметра конкретного элемента. Но если на ухудшение работы составной части оказывает влияние изменение параметров нескольких элементов, то задача значительно усложняется.

Разработке обобщенного научного подхода обоснования единых технико-экономических критериев предельного состояния машин, узлов и сопряжений, определяющих необходимость и целесообразность применения соответствующих ремонтно-восстановительных воздействий, посвящены работы [5, 6]. При определении предельных размеров деталей и сопряжений учитывается динамика их изнашивания по результатам наблюдений и экспериментальных данных.

Отличительной особенностью разработанной методики является выявление и учёт в общем виде взаимосвязи предельных размеров сопряжений с конструктивными и эксплуатационными параметрами машин. Представленная расчётная формула для определения предельных зазоров и натягов сопряжений деталей дизелей имеет вид:

$$P_{II} = \pm 0,3 \left(\frac{N_{e3} K_N K_N' K_q K_\delta K_T K_K K_H}{n \sum_{i=1}^{z^*} F_i} \right)^{-0,3}, \quad (6)$$

где знак (+) – для сопряжений с подвижными и переходными посадками;

знак (-) – для неподвижных посадок;

N_{e3} – эксплуатационная мощность дизеля, кВт;

n – частота циклов нагружения;

F – площадь поверхности контакта, м²;

z^* – число одноименных сопряжений;

K_N – коэффициент условий нагружения узла, агрегата, сопряжения в долях N_{e3} ;

K_N' – коэффициент условий нагружения сопряжения рассматриваемого агрегата, узла в долях его эффективной нагрузки;

K_q – коэффициент распределения нагрузки между одноимёнными сопряжениями;

K_δ – коэффициент характера нагрузки;

K_T – коэффициент, учитывающий температурные условия;

K_K – коэффициент, учитывающий какая деталь в сопряжении подвижна относительно вектора нагрузки;

K_H – коэффициент зазора (натяга).

Использование подхода [6] с методикой, апробированной на элементах всех марок тракторных и комбайновых дизелей, могло бы позволить обосновывать предельные размеры сопряжений деталей и других машин, агрегатов и узлов. Однако распространение методики затруднено в связи с тем, что в настоящее время недостаточно данных для расчёта предельных величин зазоров сопряжений других объектов. Кроме того, предлагаемая формула не учитывает вариацию предельных износов сопряжений.

В работах [8 - 11] представлены как математические модели динамики, так и сформулированы целевые функции оптимизации параметров точности технологического оборудования (ТО) по настроечным пределам. Речь идёт об исправных Θ_1 и Θ_1' и неисправных Θ_2 и Θ_2' состояниях ТО (по технологической точности) и их распознавании, что обуславливает проведение оптимизации контрольных (настроечных) пределов.

Вероятные исправное и неисправное состояния технологической системы (ТС) описываются пересекающимися условными распределениями. На рис. 2 схематически показаны условные распределения $\varphi_1(U_o/\Theta_1)$ и $\varphi_1'(U/\Theta_1)$, характеризующие правильную настройку ТС (работоспособное состояние), а так же распределения $\varphi_2(U_o/\Theta_2)$ и $\varphi_2'(U/\Theta_2)$, характеризующие неправильную настройку ТС (отказ по параметру точности).

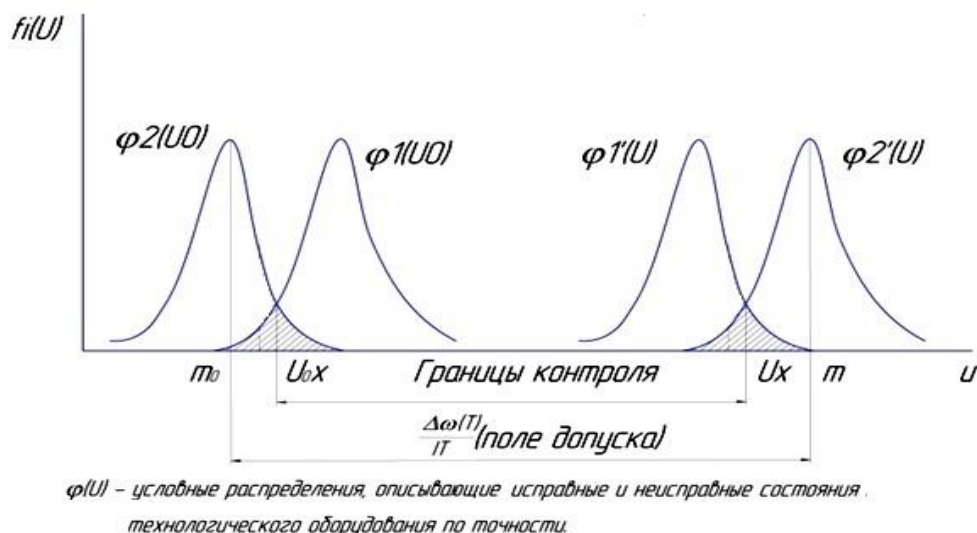


Рис. 2. Схема оптимизации контрольных (настроечных) пределов (источник 11, с. 44)

Задача состоит в том, чтобы выбор границ пределов U_{ox} и U_x был оптимальным. Неоднозначность принятия решений возникает при значении показателя точности, попадающего в области неопределённости $\min U_{ox} \dots \max U_{ox}$ и $\min U_x \dots \max U_x$, которые и определяют предельные контрольные (настроечные) границы.

В работе [11] в качестве критерия принят суммарный средний риск, а условие оптимальности заключается в обеспечении его минимального значения. Целевые функции оптимизации представлены в следующем виде:

- для определения U_{ox} при начальной настройке:

$$\begin{aligned} \bar{R}(U_{ox}) = \min_{0 \leq U_{ox} \leq U_{o1}} \left\{ P(\Theta_1) \left[C_{11} \int_{U_{ox}}^1 \varphi_1(U|\Theta_1) dU + C_{12} \int_{-\infty}^{U_{ox}} \varphi_1(U|\Theta_1) dU \right] + \right. \\ \left. + P(\Theta_2) \left[C_{21} \int_{U_{ox}}^1 \varphi_2(U|\Theta_2) dU + C_{22} \int_{-\infty}^{U_{ox}} \varphi_2(U|\Theta_2) dU \right] \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

- для определения U_x' , обуславливающего переналадку ТО:

$$\begin{aligned} \bar{R}(U_x') = \min_{U_1 \leq U_x' \leq 1} \left\{ P(\Theta_1') \left[C_{11}' \int_{U_{ox}}^1 \varphi_1'(U|\Theta_1') dU + C_{12}' \int_{-\infty}^{U_{ox}} \varphi_1'(U|\Theta_1') dU \right] + \right. \\ \left. + P(\Theta_2') \left[C_{21}' \int_{U_{ox}}^1 \varphi_2'(U|\Theta_2') dU + C_{22}' \int_{-\infty}^{U_{ox}} \varphi_2'(U|\Theta_2') dU \right] \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

где $P(\Theta_1)$, $P(\Theta_2)$ – априорные вероятности исправного и неисправного состояний ТО;

C_{11} и C_{12} – потери, связанные с правильными решениями;

C_{21} и C_{22} – потери, связанные с ошибочными решениями первого и второго рода.

Задача оптимизации решается при наличии полной статистической информации (т. е. когда известны условные распределения, априорные вероятности состояний ТО и потери, связанные с правильными и ошибочными решениями), что имеет место для устоявшихся

процессов. Однако, области неопределённости наличествуют далеко не всегда и очевидно, что при их отсутствии целевые функции не будут работать.

В результате анализа существующих методов обоснования предельных параметров получен вывод, что применение различных методик даёт различающиеся результаты, и это различие может быть довольно существенным.

В связи с изложенным выше, а также, учитывая, что значение предельного отклонения параметра может являться случайной величиной, целесообразна разработка критериев и подхода для уточнения предельных размеров деталей, сопряжений и других параметров элементов, в том числе с учётом их вариаций.

Вывод практической формулы для определения предельных отклонений параметров с заданной вероятностью безотказности

Между величиной предельного отклонения параметра элемента машины U_n и его отказом в большинстве случаев имеют место вероятностные зависимости, что определяет их случайный характер. Поэтому предельное отклонение параметра имеет некоторый показатель вариации и во многих случаях достаточно точно может описываться одним из законов распределения [1, 3, 7, 10].

При известном законе распределения предельного отклонения параметра элемента $f(U_n)$ (рис. 3) и требуемой или заданной доверительной вероятности β , можно определить доверительные границы его возможного рассеивания. Задаваемая нижняя доверительная граница $U_n(\beta)$ будет определять требуемую вероятность безотказной работы элемента при достижении его предельного состояния [12].

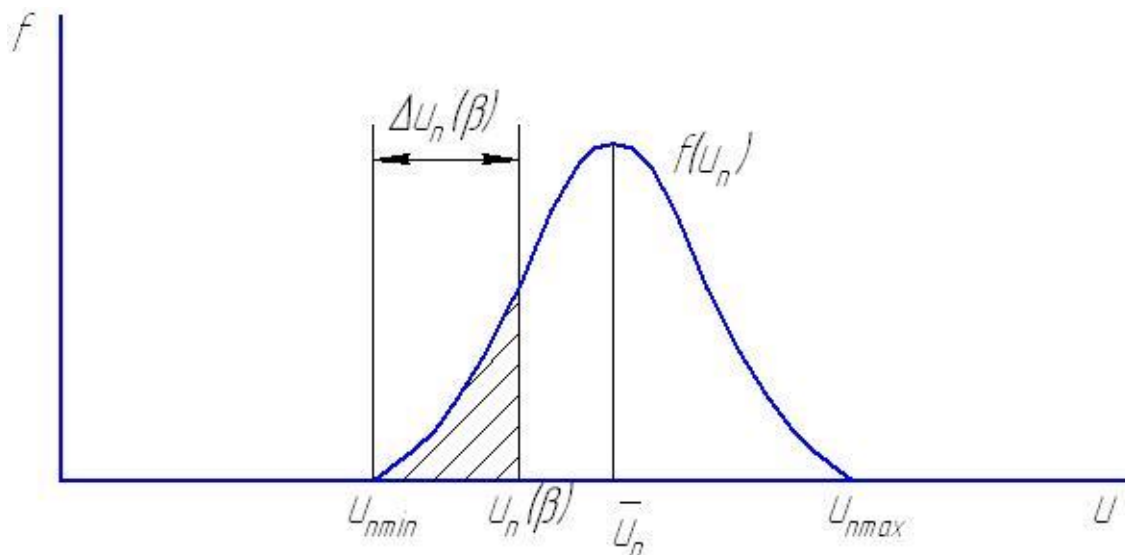


Рис. 3. Распределение предельного отклонения параметра элемента (разработано авторами)

Нижняя доверительная граница рассеивания предельного отклонения параметра $U_n(\beta)$ при односторонней доверительной вероятности β для закона нормального распределения $f(U_n)$ вычисляется по формуле:

$$U_n(\beta) = \overline{U_n} - H_k(\beta)\sigma_n, \quad (9)$$

где $\overline{U_n}$ - среднее значение предельного отклонения параметра элемента;

σ_n - среднеквадратическое отклонение;

H_k - квантиль закона нормального распределения.

Формулу (9) можно представить в виде:

$$U_n(\beta) = \overline{U}_n [1 - H_k(\beta) \cdot v_n], \quad (10)$$

где $v_n = \frac{\sigma_n}{U_n}$ – относительный показатель (коэффициент) вариации.

Предельное отклонение параметра элемента с требуемой (или задаваемой) вероятностью безотказности β в соответствии со схемой (рис. 3) можно также выразить следующим образом:

$$U_n(\beta) = U_{n \min} + \Delta U_n(\beta), \quad (11)$$

где $U_{n \min}$ - минимальное значение предельного отклонения параметра, соответствующее максимальному значению доверительной вероятности β_{\max} ;

$\Delta U_n(\beta)$ - приращение предельного отклонения параметра.

Сравнивая правые части выражений (11) и (10), получим:

$$U_{n \min} + \Delta U_n(\beta) = \overline{U}_n [1 - H_k(\beta) \cdot v_n] \quad (12)$$

или:

$$U_{n \min} = U_n(\beta_{\max}) = \overline{U}_n [1 - H_k(\beta_{\max}) \cdot v_n] \quad (13)$$

Далее, используя выражения (10), (11), (12) и проведя некоторые преобразования, получаем:

$$\Delta U_n(\beta) = \overline{U}_n [1 - H_k(\beta) \cdot v_n] - \overline{U}_n [1 - H_k(\beta_{\max}) \cdot v_n] = \overline{U}_n [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)] v_n; \quad (14)$$

$$\overline{U}_n = \frac{U_n(\beta)}{1 - H_k(\beta) v_n} \quad (15)$$

Из выражений (14) и (15):

$$\Delta U_n(\beta) = \frac{U_n(\beta) v_n}{1 - H_k(\beta) v_n} [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)] = \frac{[U_{n \min} + \Delta U(\beta)] v_n}{1 - H_k(\beta) v_n} [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]. \quad (16)$$

Запишем (16) в виде:

$$\Delta U_n(\beta) = [U_{n \min} + \Delta U(\beta)] \frac{v_n}{1 - H_k(\beta) v_n} [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)] \quad (17)$$

Перенесём $[U_{n \min} + \Delta U(\beta)]$ в левую часть формулы (17), получим:

$$\frac{\Delta U_n(\beta)}{U_{n \min} + \Delta U_n(\beta)} = \frac{v_n}{1 - H_k(\beta) v_n} [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]. \quad (18)$$

Преобразуем левую часть выражения (18):

$$\frac{\Delta U_n(\beta)}{U_{n\min} + \Delta U_n(\beta)} = \frac{\Delta U_n(\beta)}{\Delta U_n(\beta) \left[\frac{U_{n\min}}{\Delta U_n(\beta)} + 1 \right]} = \frac{1}{\left[\frac{U_{n\min}}{\Delta U_n(\beta)} + 1 \right]}. \quad (19)$$

Тогда с учётом (19) формула (18) приводится к виду:

$$\frac{U_{n\min}}{\Delta U_n(\beta)} + 1 = \frac{1 - H_k(\beta)v_n}{v_n [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]}. \quad (20)$$

В результате последующих преобразований получаем:

$$\begin{aligned} \frac{U_{n\min}}{\Delta U_n(\beta)} &= \frac{1 - H_k(\beta)v_n}{v_n [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]} - 1 = \frac{1 - H_k(\beta)v_n - v_n [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]}{v_n [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]} = \\ &= \frac{1 - H_k(\beta)v_n - H_k(\beta_{\max})v_n + H_k(\beta)v_n}{v_n [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]} \end{aligned} \quad (21)$$

Проведя сокращения и некоторые действия в полученном выражении и перенося $U_{n\min}$ в правую часть, имеем:

$$\Delta U_n(\beta) = U_{n\min} \frac{v_n [H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)]}{1 - v_n H_k(\beta_{\max})} = U_{n\min} \frac{H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)}{\frac{1}{v_n} - H_k(\beta_{\max})}. \quad (22)$$

В окончательном результате:

$$\Delta U_n(\beta) = U_{n\min} \frac{H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)}{\frac{1}{v_n} - H_k(\beta_{\max})}. \quad (23)$$

Тогда выражение (11) приводится к виду практической формулы:

$$U_n(\beta) = U_{n\min} F(v_n, \beta, \beta_{\max}). \quad (24)$$

В формуле (24) выражение

$$F(v_n, \beta, \beta_{\max}) = 1 + \frac{H_k(\beta_{\max}) - H_k(\beta)}{\frac{1}{v_n} - H_k(\beta_{\max})} \quad (25)$$

представляет собой функцию, зависящую от показателя вариации предельного отклонения параметра элемента, принятой доверительной вероятности и задаваемой или требуемой вероятности безотказности, а также требований безопасности.

Значение $U_{n\min} = U_n(\beta_{\max})$ определяется из выражения

$$U_{n\min} = \frac{\overline{U}_n}{F(\beta = 0,5; v_n)}. \quad (26)$$

Для иллюстрации значения $F(v_n, \beta, \beta_{\max})$ представлены в виде фрагмента таблицы (таблица 1) и в виде графиков зависимостей (рис. 4, 5, 6) для доверительных вероятностей $\beta_{\max}=0,99$, $\beta_{\max}=0,95$, $\beta_{\max}=0,90$. Применение выражений (25) и (24) позволяет рассчитывать

эти значения при любых величинах ν_n , β и β_{max} , а использование данных табл. 1 упрощает эти расчёты.

Таблица 1

Значения функции F в зависимости от показателя вариации предельного отклонения параметра и вероятности безотказности β с принятой доверительной вероятностью β_{max} (составлена авторами)

β	Показатель вариации ν_n					
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
$\beta_{max}=0.99$						
0,50	1,132	1,303	1,536	1,870	2,389	3,400
0,60	1,117	1,270	1,478	1,775	2,238	3,059
0,70	1,102	1,235	1,415	1,674	2,076	2,789
0,80	1,084	1,193	1,342	1,555	1,886	2,474
0,85	1,073	1,168	1,297	1,482	1,771	2,281
0,90	1,059	1,136	1,241	1,390	1,624	2,037
0,95	1,039	1,089	1,157	1,255	1,407	1,676
$\beta_{max}=0.95$						
0,50	1,090	1,197	1,328	1,490	1,699	1,975
0,60	1,076	1,167	1,277	1,415	1,591	1,825
0,70	1,061	1,134	1,223	1,334	1,476	1,664
0,80	1,044	1,096	1,160	1,239	1,341	1,476
0,85	1,033	1,073	1,121	1,182	1,259	1,361
0,90	1,020	1,043	1,072	1,108	1,154	1,215
$\beta_{max}=0.90$						
0,50	1,068	1,147	1,238	1,345	1,472	1,625
0,60	1,055	1,118	1,191	1,277	1,379	1,502
0,70	1,040	1,087	1,141	1,204	1,279	1,370
0,80	1,024	1,050	1,082	1,118	1,162	1,215
0,85	1,013	1,028	1,046	1,066	1,091	1,120

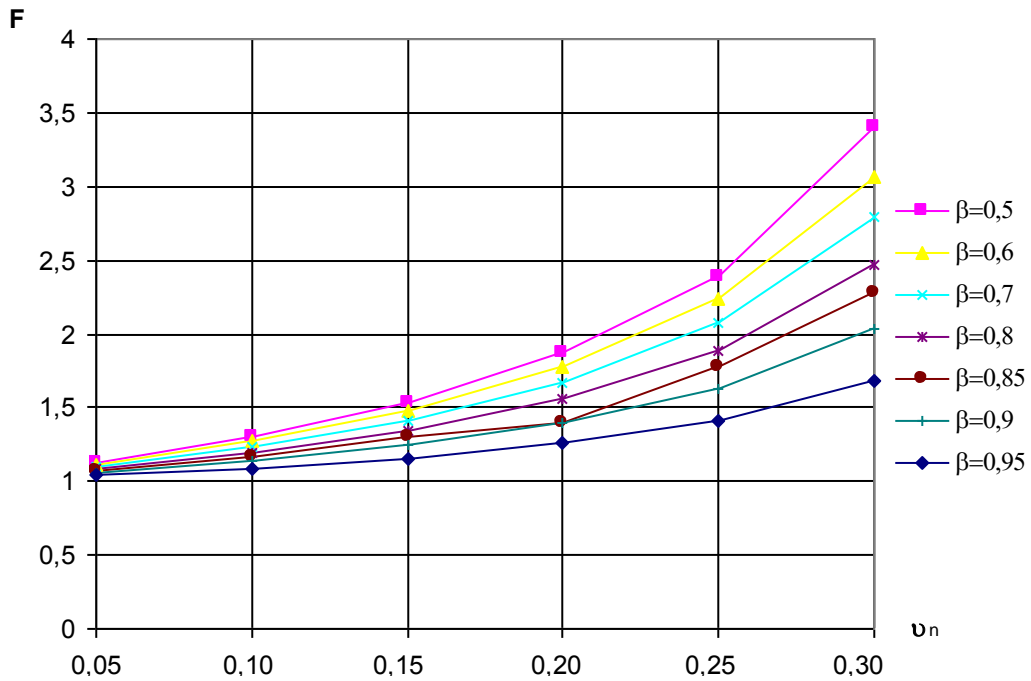


Рис. 4. Графики зависимости $F(\nu_n, \beta)$ при доверительной вероятности $\beta_{max}=0,99$ (составлен авторами)

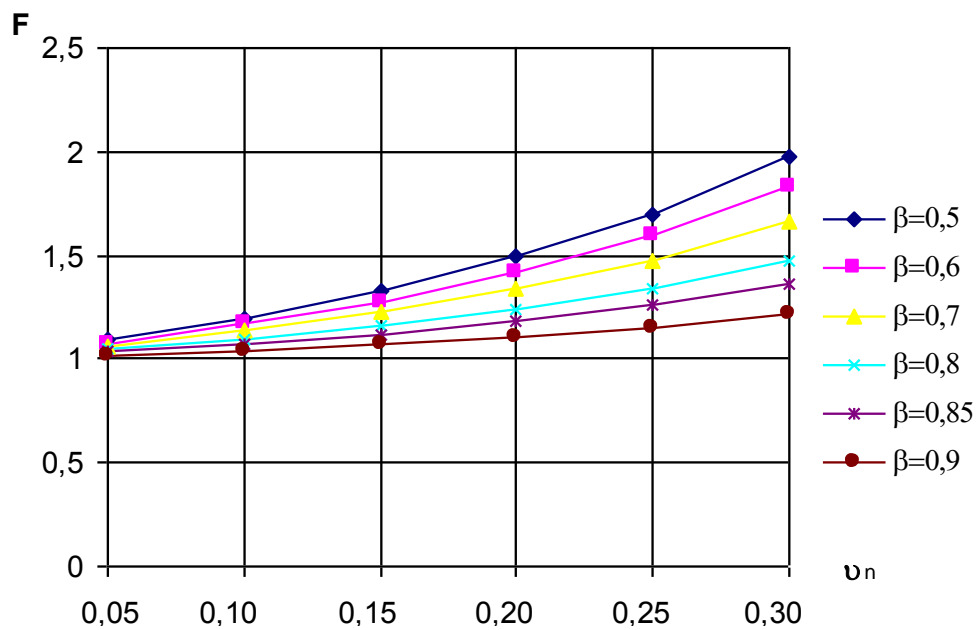


Рис. 5. Графики зависимости $F(\nu_n, \beta)$ при доверительной вероятности $\beta_{max}=0,9$ (составлен авторами)

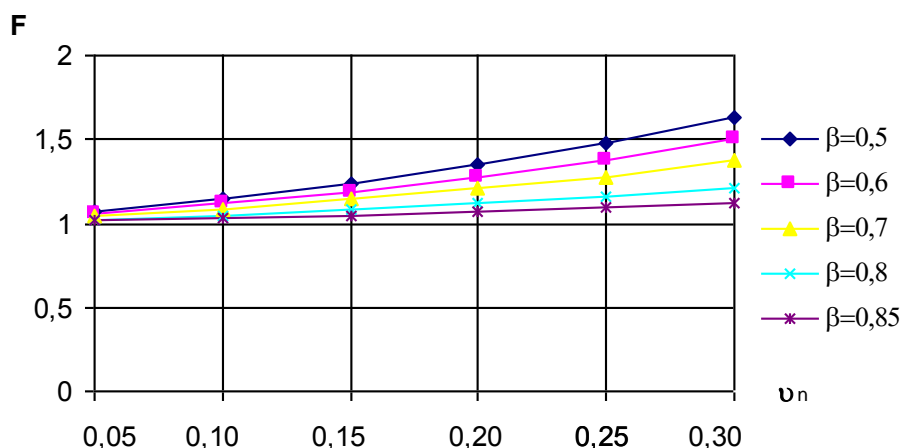


Рис. 6. Графики зависимости $F(v_n, \beta)$ при доверительной вероятности $\beta_{max}=0,90$ (составлен авторами)

Методика и примеры расчёта

Например требуется определить величину предельного износа известного сопряжения, обеспечивающего вероятность безотказной работы $\beta = 0,90$.

Для этого должно быть известно среднее значение предельного износа \overline{U}_n и коэффициент вариации v_n . При значениях $\overline{U}_n = 0,249$ мм и $v_n = 0,1$ имеем следующий расчёт. Применяя выражения (26), (24) и данные табл. 1 определяются значения $U_{n\ min}$ ($\beta_{max}=0,99$) и U_n ($\beta = 0,90$).

$$U_{n\ min} = \frac{\overline{U}_n}{F(\beta = 0,99, v_n)} = \frac{0,249}{1,303} = 0,191\text{мм.}$$

$$U_n = U_{n\ min} F(\beta = 0,90, v_n) = 0,191 \times 1,136 = 0,217\text{мм.}$$

При повышении требований к безотказности назначим $\beta = 0,95$, тогда

$$U_n = U_{n\ min} F(\beta = 0,95, v_n) = 0,191 \times 1,089 = 0,208\text{мм.}$$

При снижении требований к безотказности назначим $\beta = 0,80$, тогда

$$U_n = U_{n\ min} F(\beta = 0,80, v_n) = 0,191 \times 1,193 = 0,227\text{мм.}$$

Результаты расчёта показывают снижение значения U_n при повышении требований к безотказности и наоборот, повышение U_n при снижении требований.

При необходимости по формуле (25) можно определить $F(v_n, \beta, \beta_{max})$ для любых значений коэффициента вариации, вероятности безотказности и доверительной вероятности.

Чтобы определить предельный зазор в сопряжении Z_n , к предельному износу следует добавить максимальный по допуску начальный зазор Z_n , т. е. $Z_n = U_n + Z_n$.

Аналогичные расчёты можно проводить как для износов, так и для других контролируемых отклонений параметров элементов машин.

Выводы:

Использование практической формулы (24) позволяет следующее:

- определять минимальные или максимальные значения предельных отклонений параметров элементов машин с принятой доверительной вероятностью;
- назначать предельные отклонения параметров элементов машин с задаваемой вероятностью их безотказности при достижении предельных состояний;
- давать оценку рекомендуемым в технических требованиях на ремонт или определенным по различным методикам предельным значениям параметров элементов;
- оперативно внедрять полученные результаты в практику ремонтного производства;
- оценивать и учитывать пожелания потребителя (заказчика) к требованиям по безотказности ремонтируемого изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Надёжность машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.
2. Кубарев А.И. Надёжность в машиностроении. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.
3. Михлин В.М. Управление надёжностью сельскохозяйственной техники. - М.: Колос, 1984. - 335 с.
4. Лезин П.П. Формирование надёжности мобильной сельскохозяйственной техники при её ремонте:- автореф. дис. ... докт. тех. наук. – М.: 1987. – 34 с.
5. Кривенко П.М. Руководящий технический материал: предельные и допускаемые параметры дизелей, их деталей и соединений при ремонте / П.М. Кривенко, Л.К. Челпан. – М.: ГОСНИТИ, 1989. – 100 с.
6. Челпан Л.К. Предельные и допускаемые технико-экономические параметры дизелей, размеры деталей и соединений при ремонте: автореф. дис. ... докт. тех. наук. – М.: 1990. – 44 с.
7. Мартышкин А.П. Оптимизация предельных и допускаемых значений структурных параметров технического состояния элементов машин. автореф. дис. ... канд. тех. наук; Мордов. гос. ун-т. - Саранск, 1993. – 15 с.
8. Мартышкин А.П. Общая схема исследования причин потери точности технологических средств механической обработки / А.П. Мартышкин, С.Е. Маскайкина, Л.Н. Бакаева // Машиностроение, : наука техника, образование: Сб. науч. тр. IX Всерос. науч. практ. конф. – Рузаевка, 2011. – С. 63 – 65.
9. Григорьев А.В. Моделирование надёжности узлов ремонтно-технологического оборудования по изменению точности настройки / А.В. Григорьев, В.А. Комаров, А.П. Мартышкин // Энергоэффективность технологий и средств механизации в АПК: сб. науч. Тр. Междунар. Науч. – практ. конф. – Саранск, 2011. – С. 217 – 222.
10. Комаров В.А. Функции оптимизации границ пределов настройки узлов технологического оборудования предприятия АПК / В.А. Комаров, А.П. Мартышкин, О.В. Григорьева, И.В. Пашин // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки с/х продукции: материалы IX Междунар. науч. практ. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С. 296 – 299.
11. Комаров В.А. Целевые функции оптимизации параметров точности технологического оборудования / В.А. Комаров, А.В. Григорьев, А.П. Мартышкин // Тракторы и сельхозмашины. – М.: 2013/ - № 7. – С. 44 – 47.
12. Мартышкин А.П. Определение взаимосвязи между величиной предельного отклонения параметра элемента машины и его безотказностью / А.П. Мартышкин, С.Е. Маскайкина, Л.Н. Бакаева, Н.И. Полуешина // Машиностроение: наука, техника, образование: сб. науч. тр. X Всерос. науч.- практ. конф. – г. Рузаевка, 2014. – Режим доступа:
<http://194.54.66.130/IORManager/viewCard.do?id=AF4EF834-5DD5-DA59-6897-37666C3FBB21&type=Exchange>.

Рецензент: Сульдин Сергей Петрович, зав. кафедрой металлообрабатывающих станков и комплексов ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», кандидат технических наук, доцент.

Martyshkin Anatoliy Petrovich

Ogarev Mordovian State University, Machinery Institute (Ruzayevka campus)
Russia, Saransk
E-Mail: A-martyshkin@yandex.ru

Maskaykina Svetlana Egorovna

Ogarev Mordovian State University, Machinery Institute (Ruzayevka campus)
Russia, Saransk
E-Mail: rimstanok@mail.ru

Polueshina Natal'ya Ivanovna

Ogarev Mordovian State University, Machinery Institute (Ruzayevka campus)
Russia, Saransk
E-Mail: rimstanok@mail.ru

Vesnushkina Nina Nikolaevna

Ogarev Mordovian State University, Machinery Institute (Ruzayevka campus)
Russia, Saransk
E-Mail: nina.vesnushkina@mail.ru

Analysis of machines' elements limit value parameter justification with derivation of practical formula to find limit declination of the parameter with given reliability

Abstract. Machines' and their elements reliability provision is connected with technical maintenance improvement. There is always a reserve to reduce expenditures on maintenance and repair if limit declination and parameter values of machines' elements are set correctly. Analysis of scientific papers has shown that to justify limit states different criteria can be used though not always they can lead to clearness but possess significant variety. We suppose that to choose an appropriate criterion it's necessary to take into consideration efficiency of using machine, joint unit and aggregate as well as consumer's demands. There is often random connection between limit declination of machine's element parameter and its failure because this declination can be a random value.

The article describes the scheme of failures and limit values of elements' parameters distribution. Different ways of limit declination and parameter values justification have been analyzed, their disadvantages are revealed in particular in connection with different technical objects. Due to investigation there have been detected viability of criteria and approaches study permitting to change limit declination and parameter values in view of their variation. Revealing the connection between machine's element parameter limit declination and its reliability allows to apply the results to practical repair. The practical formula allows to determine machines' element parameter limit declination with demanded or chosen potential reliability.

Keywords: reliability; repair; machine; element; limit; declination; runout; joint; conjugation; criterion; parameter; dispersion; optimization; variation; risk; probability; non-operation; dependence.

REFERENCES

1. A.S. Pronikov Machines' reliability. – M.: Machinery, 1978. – 592 p.
2. A.I. Kubarev Reliability in machinery. – M.: 1989. – 224 p.
3. V.M. Mikhlin Management of agricultural machinery reliability. – M.: 1984. – 335 p.
4. P.P. Lezin Reliability development of agricultural machinery during its repair. Synopsis of a thesis. – M.: 1987. – 34 p.
5. P.M. Krivenko Technical manual: limit and specification parameters of diesels, their details and joints during repair. – M.: 1989. – 100 p.
6. L.K. Chelpan Limit and specification technical and economical parameters of diesels, size of details and joints during repair: synopsis of a thesis. M.: 1990. – 44 p.
7. A.P. Martyshkin Optimization of limit and specification values of machines' elements technical state structural parameters: synopsis of a thesis. – Saransk, 1993. – 15 p.
8. A.P. Martyshkin General scheme of investigating accuracy loss of mechanical tooling means. / Proceedings of the IXth Russian scientific conference. - Ruzayevka, 2011. - P. 63-65.
9. A.V. Grigoryev Modeling of reliability of repair-technical equipment joints on accuracy adjustment change / Proceedings of international scientific and practical conference. – Saransk, 2011. – P. 217-222.
10. V.A. Komarov Functions of optimization of joints' adjustment limits of technological equipment in agricultural enterprises / Proceedings of the IXth international scientific and practical conference. – Saransk, 2013. – P. 269-299.
11. V.A. Komarov Objectives of optimization of technological equipment accuracy // Tractors and agricultural machines. – M.: 2013. - N 7. – P. 44-47.
12. A.P. Martyshkin Connection between machine's elements limit declination and its reliability // Proceedings of the Xth Russian scientific and practical conference. – Ruzayevka, 2014. – Access mode:
<http://194.54.66.130/IORManager/viewCard.do?id=AF4EF834-5DD5-DA59-6897-37666C3FBB21&type=Exchange>.