

УДК 621.391.175

Г.А. Оборский,
д.т.н., професор,
Одеський національний
політехнічний
університет



В.М. Тонконогий,
д.т.н., професор,
Одеський національний
політехнічний
університет



А.М. Гуцин,
к.т.н., доцент,
Одеський національний
політехнічний
університет
e-mail:
gushin2015@gmail.com



С.А. Зелинский,
к.т.н., доцент,
Одеський національний
політехнічний
університет
e-mail: serzel@inc.od.ua

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ПО КРИТЕРИЮ НАДЕЖНОСТИ

Г.А. Оборский, В.М. Тонконогий, А.М. Гуцин, С.А. Зелинский. Современный подход к проектированию технологических и транспортных машин по критерию надежности. В статье обозначены некоторые проблемные вопросы, касающиеся долговечности технологических и транспортных машин и показаны возможные пути повышения сроков службы техники, работающей в сложных, либо экстремальных условиях на базе последних достижений «Мехатроники» и «Нанотехнологий»

G.A. Oborskiy, V.M. Tonkonogiy, A.M. Gushin, S.A.Zelincki. Modern approach to the design process and transport vehicles under the criterion of reliability. Article highlights some of the problematic issues related to the service life of technological and transport cars and show possible ways to improve the service life of equipment operating in difficult or extreme conditions based on the latest achievements of «Mechatronics» and «Nanotechnology».

Ведение. Развитие украинского машиностроения, выход продукции отечественных предприятий на международный рынок, сегодня немислим без создания высокопроизводительных и конкурентоспособных технологических машин, металлообрабатывающих станков и прочих технических комплексов [1,2,3].

Надо откровенно признаться, что современное состояние машиностроения в Украине, с точки зрения конкурентоспособности станков отече-

ственного производства на мировом рынке, не вызывает оптимизма, поэтому первостепенной задачей встают вопросы создания новых подходов к проблемным вопросам создания надежных и долговечных технологических, транспортных машин, станков и различного рода технических систем новых поколений.

В этой связи необходимо формирование нового методологического принципа производства качественно иных машин – системного подхода ко всем стадиям создания новой техники от маркетинговых исследований концептуальных изменений требований международного рынка до их материализованного результата.

На сегодняшний день наилучших результатов в глобальной международной конкуренции достигли машины и технологии, базирующиеся на идеях «молодых», но стремительно развивающихся областях науки и техники, которые определялись в своих названиях как «Мехатроника» и «Нанотехнологии» [6-12].

В этом плане уместно привести расшифровку вышеобозначенных терминов, поскольку смысл, содержащийся в них, уже определил тенденции развития техносферы XXI – го и будущих столетий.

«Мехатроника – связующая комбинация механики, электротехники, электроники и информационных технологий для создания технических систем с искусственным интеллектом, в особенности механизмов и машин» [10].

«Нанотехнология – совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 10 нм, имеющие принципиально новые качества и позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большого масштаба» [10].

В приведенных формулировках четко прослеживается объединяющее начало: «система», то есть «...целое, составленное из частей, совокупность элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих определенную целостность, единство» [13].

В этом плане необходимо отметить, что в связи с усложнением задач, решаемых различного рода мехатронными устройствами, многократно возрастают и, если в традиционной технике отклонение свойств изделий от технических условий на машину рассматривается как отказ, то в мехатронных модулях и системах на первый план выдвигаются отказы в виде любых отклонений от построенных математических и компьютерных моделей функционирования объекта.

Целью работы является усовершенствование методов достижения заданного уровня качества технологических и транспортных машин на ста-

дии их проектирования и изготовления, а так же формирование нового принципа прогнозирования качества машин по параметру долговечности.

Материал и результаты исследования. Выход из строя корпусных деталей тяжело нагруженных машин, работающих зачастую в экстремальных условиях, приводит, как правило, к отказу всей кинематической цепи сопряженных деталей и остановке производственного цикла в целом.

Поэтому выдвигаются повышенные требования к базовым деталям машин и, особенно к их несущим поверхностям, что вызывают необходимость анализа уже на стадии проектирования связи между математическими методами расчета долговечности основных отверстий корпусов машин и физической природой отказов их трансмиссии.

Сложность такого анализа усугубляется возможностью, а иногда и необходимостью схематизации или упрощения в значительной мере неизученных физико-механических процессов, происходящих при трении и износе сопряженных поверхностей деталей машин, и это может привести к значительным расхождениям результатов математического моделирования и практических исследований изношенных деталей.

В плане вышесказанного может быть полезна методика оценки сравнительной долговечности основных отверстий корпусных деталей, так как она позволяет достаточно точно прогнозировать срок службы отдельных рабочих поверхностей и управлять им [4].

Долговечность машины, как уже отмечалось неоднократно [5], определяется износостойкостью ее трущихся деталей. Постепенно развивающийся износ ведет к общему ухудшению показателей машины, снижению точности выполняемых ею операций, увеличению электропотребления и снижению КПД. С течением времени износ может перейти в катастрофическую стадию. Прогрессирующее повреждение поверхностей вызывает поломки и аварии рис. 1, 2 (разрушение подшипников качения, выкрашивание зубьев колес трансмиссии, заедание подшипников, поломка шлицевых соединений и т.д.).

Статистические данные [4] показывают, что, например, фактический ресурс очистных комбайнов завода изготовителя до первого капитального ремонта составляет 1700–2000 часов вместо 4500–5000 нормативных, причем лимитирующими становятся «слабые звенья» комбайнов.

Поэтому выявление и устранение «слабых звеньев», определяющих безотказность в работе и срок службы технологических машин, особенно работающих в экстремальных условиях, что характерно для горношахтного оборудования, всегда было актуальной задачей, а в нынешней конкурентной борьбе за рынки сбыта промышленной продукции – одним из способов для выхода отечественной экономики из кризиса.

Для исключения данных проблем при эксплуатации техники целесообразно проводить анализ и экспертную оценку проекта, находить конструктивные, технологические и эксплуатационные решения, гарантирующие расчетный срок службы технологической или транспортной машины.

Корпус редуктора, его основные отверстия, любой технологической и транспортной машины, определяющие взаимное расположение валов и тем самым всех остальных деталей трансмиссии, оказался деталью, лимитирующей срок службы очистного комбайна в целом. Причем не корпус редуктора в целом, а отдельные его рабочие элементы, в частности, места сопряжения «основное отверстие – подшипник», чрезмерный износ которых приводит, к преждевременным отказам подшипников качения, шестерен, шлицевых и прочих соединений (рис. 1,2).



Рис.1. Преждевременный выход из строя подшипников качения



Рис.2. Поломка зубьев шестерни, не выработавшей расчетный ресурс

Обследование 126 редукторов очистных комбайнов, подземных угледобывающих машин в разное время, поступивших на рудоремонтный завод, показало следующее количество отказов деталей трансмиссии, принадлежащих валам 1, 2 и т.д. (рис. 3)

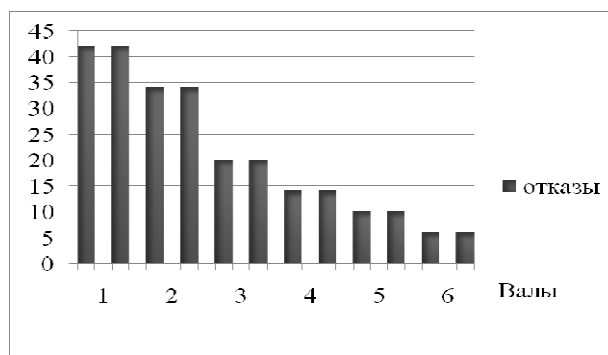


Рис. 3. Диаграмма отказов деталей трансмиссии очистного комбайна

Как оказалось, число отказов четко коррелируется с выходом предельно допустимого износа за нормы регламентируемого (рис. 4).

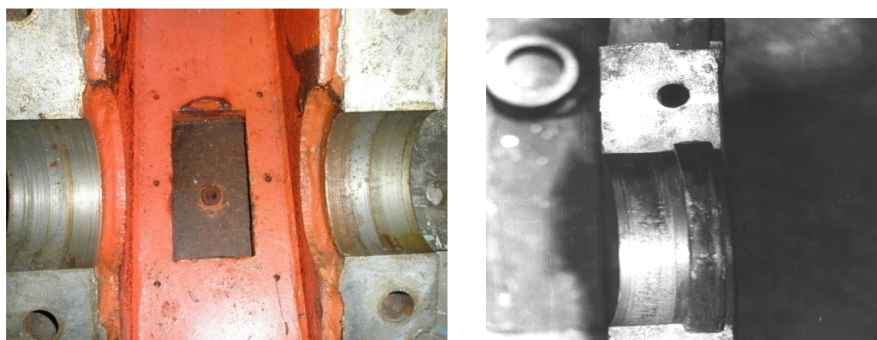


Рис.4. Износ основных отверстий в корпусах редукторов

Поэтому разработка научно-обоснованных методов расчетов оптимальных сроков службы корпусов редукторов, изыскания новых высокоэффективных методов увеличения ответственных деталей, с учетом современной экономической ситуации, является актуальной научно-технической проблемой.

Теоретические исследования позволили установить закономерность изнашивания основных отверстий одного и того же редуктора и получить математическую модель межремонтного периода корпусов угледобывающих комбайнов, которая описывается следующим выражением:

Расчет ресурса работы основных отверстий корпусов производился по следующей формуле:

$$t_i = k \times \frac{6.5}{10^8 \cdot \pi} \times \frac{B \cdot (D + \delta_n)}{c \cdot p \cdot n_b \cdot d \cdot f_{ck} \cdot f_n} \times \frac{V_i}{V_j} \times \alpha, \quad (1)$$

где k – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства материала посадочной поверхности основного отверстия корпуса;

$V_{i,j}$ – предельно допустимый объем материала, удаляемый при износе основного отверстия, мм³;

B – ширина подшипника, мм;

α – угол контакта подшипника с основным отверстием, рад;

$D_{i,j}$ – диаметр наружного кольца подшипника, мм;

δn – фактический допуск на изготовление наружного кольца подшипника, мм;

c – коэффициент, зависящий от количества твердых включений в смазке редуктора;

p – реакция в опоре, Н;

n – частота вращения, мин⁻¹;

f_{CK} – коэффициент трения скольжения наружного кольца подшипника в основном отверстии корпуса редуктора;

f_n – приведенный коэффициент трения качения подшипника.

Параметры $D_{oi,j}, V_{oi,j}$ основного отверстия корпуса редуктора входят в расчетные формулы V_i, V_j .

Формула, используемая для расчета сравнительной долговечности основных отверстий под подшипники качения валов редуктора, имеет следующий вид:

$$N = \frac{T_i}{T_j} = \frac{B_i \cdot (D_i + \delta_{ni}) \cdot p_j \cdot n_{bi} \cdot d_i}{B_i \cdot (D_j + \delta_{ni}) \cdot p_j \cdot n_{bj} \cdot d_j} \times \frac{V_i \cdot \alpha_i}{V_j \cdot \alpha_j}, \quad (2)$$

где N – число, показывающее во сколько раз долговечность одного основного отверстия больше долговечности другого в том же корпусе редуктора.

Теоретические исследования математической модели [2] показали следующие результаты рис. 5 по прогнозируемой долговечности основных отверстий корпуса редуктора того же очистного комбайна.

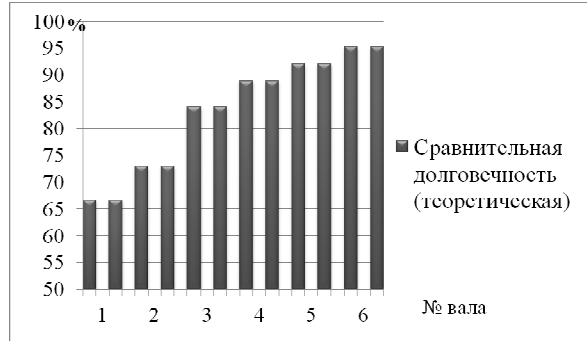


Рис. 5. Диаграмма расчетной сравнительной долговечности посадочных отверстий корпусов редуктора очистного комбайна заложенная на стадии конструирования

Совмещение результатов экспериментальных измерений фактических износов основных отверстий корпусов очистных комбайнов с теоретическими исследованиями показаны на рис. 6

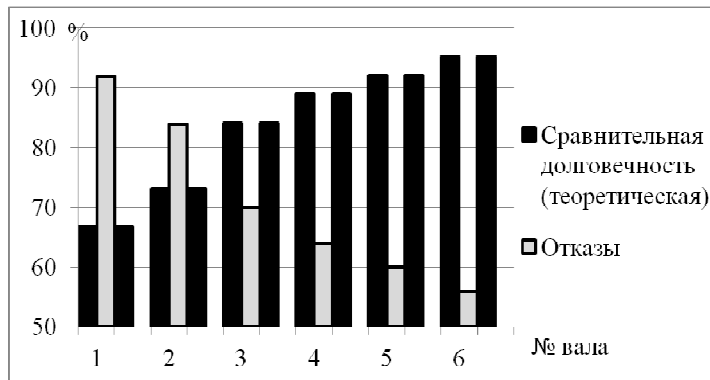


Рис.6. Совмещенная диаграмма расчетной долговечности опор и фактические отказы деталей трансмиссии комбайна

При анализе совмещенной диаграммы (рис.5) четко прослеживается взаимосвязь между количеством отказов деталей трансмиссии очистного комбайна и сравнительной долговечностью основных отверстий корпуса редуктора, заложенной еще на стадии проектирования, то есть при выборе физико-механических характеристик материала корпуса редуктора и геометрическим оформлением места сопряжения «основное отверстие – подшипник качения».

При анализе математической модели [1] закономерности изнашивания основных отверстий корпуса редуктора технологической машины установлено, что увеличить срок службы основных отверстий под подшипник качения можно, как на стадии проектирования новой техники, так и на стадии изготовления и ее эксплуатации, при этом выделить факторы конструктивного, технологического и эксплуатационного характера (рис.7), и степень их влияния на ресурс работы корпуса редуктора.



Рис. 7. Факторы конструктивного, технологического и эксплуатационного характера, влияющие на долговечность основных отверстий

Ниже приведена (рис. 8) классификация некоторых возможных способов влияния на долговечность редукторов машин.

В целом рекомендуемый способ увеличения срока службы корпуса технологической или транспортной машины должны быть настолько эффективны, чтобы могли в совокупности увеличить срок службы наименее долговечных основных отверстий корпуса в несколько раз.

Ниже приведены (рис. 9,10) результаты влияния отдельных конструктивных элементов «основное отверстие – наружное кольцо шарикоподшипника» и степень зависимости долговечности корпуса в целом долговечность сопряжения в теоретической интерпретации.



Рис. 8. Способы увеличения долговечности посадочных мест корпусов редукторов

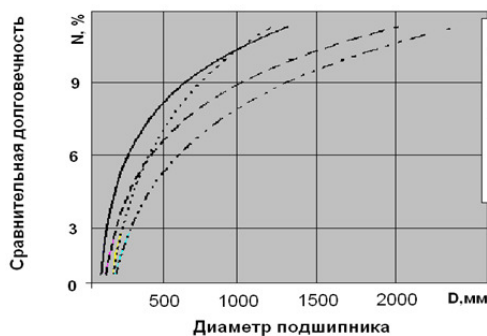
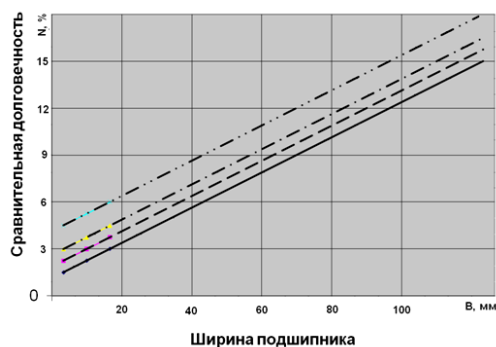


Рис. 9. Зависимость влияния ширины подшипника на сравнительную долговечность основных отверстий редукторов очистных комбайнов.

Рис. 10. Зависимость влияния диаметра наружного кольца подшипника качения на сравнительную долговечность основных отверстий редукторов очистных комбайнов.

Обозначенные конструктивные способы, как правило, ведут к увеличению габаритов машины. Однако они должны быть учитываемыми при проектировании новых конструкций технологических машин и, в первую очередь, для участия в выравнивании долговечности отдельных посадочных поверхностей корпуса между собой.

Наука и техника на сегодняшний день располагают многочисленными технологическими средствами повышения износостойкости деталей машин и механизмов [14,15]. К основным технологическим мероприятиям, повышающим долговечность машин, можно отнести: применение современных технологических приемов, обеспечивающих изготовление деталей заданной точности, а также методов контроля качества материалов и готовых изделий по соответствующим показателям надежности; активное внедрение процессов упрочняющей обработки на уровне нанотехнологий.

Вопросы применения высоких технологий и их результаты будут рассмотрены в следующих частях исследования проблем создания конкурентноспособной техники.

Выводы.

1. Достижение качества мирового уровня продукции отечественного машиностроения в большой степени зависит от системного подхода к решению конструкторских и технологических задач не только на стадии проектирования, но и практически на всех этапах жизненного цикла машин и технологий.

2. Апробированная ранее методика оценки сравнительной долговечности основных отверстий корпусов тяжело-нагруженных технологических машин усовершенствована и переведена на современный уровень достижений научно-технического прогресса и развития компьютерной техники.

Литература

1. Каліта П. Я. Український шлях до Європейської досконалості / П. Я. Каліта. – Київ, 2006. – 80 с.
2. Расторгуев Г. А. Перспективы развития технологических процессов в машиностроении / Г. А. Расторгуев, В. А. Рогов // Технология машиностроения. – 2009. – № 2. – С. 68-71.
3. Юденков Н. П. Крупнейший смотр достижений в области металлообработки / Н. П. Юденков // ИТО новости: инструмент, технология, оборудование. – 2008. – № 2. – С. 2–15.
4. Гушин А. М. Сравнительная долговечность посадочных мест под подшипники качения корпусов угледобывающих комбайнов / А. М. Гушин // Угольное машиностроение. – 1977. – № 8. – С. 13–14.
5. Гаркунов Д. Н. Триботехника (конструирование, изготовление и эксплуатация

машин): Учебник. – 5-е изд., перераб. И доп. – М.: «Издательство МСХА», 2002. 632 с., ил. 250.

6. Исии Т., Симояма И., Иноуэ Х. и др. Мехатроника. Москва «Мир», 1988. – 307с.

7. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – Москва «Машиностроение», 2007. – 256 с.

8. Яхно О.М., Узунов А.В., Луговойской А.Ф. и др. Введение в мехатронику. Киев, 2008 – 527 с.

9. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления развития // Под. ред. Роко М.К. Пер. с англ., М.: «Мир». 2002 – 186 с.

10. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. Пер. с англ. – Москва: «Техносфера», 2005 – 304 с.

11. Теряев Е.Д. Филимонов Н.Б. Наномехатроника, состояние, проблемы, перспективы // Мехатроника, автоматизация, управление, 2010 № 1. с 2-14

12. Кориков А.М. Еще раз о мехатронике как науке // Мехатроника, автоматизация, управление, 2011 №5. с 2-8.

13. Тимченко А. А. Основы системного проектування та системного аналізу складних об'єктів. – Київ: «Либідь», 2003. – 270 с.

14. Березовский А.А., Становский А.Л., Тонконогий В.М. Стохастическая модель формирования покрытий на деталях машин // Збірник наукових праць ОНМА «Теорія і практика процесів подрібнення, розділення, змішування і ущільнення». – 2011. – Вип. 15. – С. 24 – 29.

15. Вайсман В.А., Гогунский В.Д., Тонконогий В.М. Методологические основы управления качеством: факторы, параметры, измерение, оценка. // Збірник наукових праць «Сучасні технології в машинобудуванні». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – Випуск 7. – С. 160 – 165.

Надійшла до редакції 17.01.2017