

Тогда уравнение динамики, описывающее баланс сил, будет выглядеть следующим образом:

$$a_1 \dot{\omega} + a_0 \omega^2 = b \Delta P - c. \quad (13)$$

На спроектированной установке были проведены эксперименты, цель которых – определить величину амплитуды и частоты пневматического вибрационного привода в ненагруженном состоянии и при максимальной нагрузке. Также были проведены экспериментальные исследования по съему ликвидов с плоских поверхностей. На кафедре «Машиностроение и технология конструкционных материалов» были разработаны методические указания по выполнению практических работ на данной установке для магистрантов специальности 6N0712 «Машиностроение» по дисциплине «Организация и планирование научных исследований и инновационная деятельность».

#### Список литературы

1. Авт. св. №19161 (KZ 2006/1011.1) Вибростол / Т.Б. Курмангалиев, А.Г. Гольцев, В.И. Тимошин.
2. Авт. св. №18692 (KZ 2005/1071.1) Вибростол / Т.Б. Курмангалиев, А.Г. Гольцев, В.И. Тимошин.
3. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Наука, 1983. – Т. 1-2. – 640 с.
4. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наукова думка, 1988.
5. Повидайло В.А. Вибрационные устройства в машиностроении. – М.: Машиностроение, 196 – 248 с.

Получено 28.04.10

---

УДК 629.113-192

**М.С. Муздыбаев, А.С. Муздыбаева, В.В. Роговский,  
А.С. Кудяков, Д.М. Мырзабекова**  
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### МЕТОД СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ПО ГАРАНТИЙНОМУ РЕСУРСУ

Известно, что обеспечение высокой конкурентоспособности машиностроительной продукции достигается на основе комплекса мероприятий организационно-технического характера, направленных на повышение ее качества и снижение стоимости. При этом соотношение качество-цена продукции по сравнению с существующими аналогами либо новыми моделями, разрабатываемыми конкурирующими производителями, должно быть существенно выше

$$S = \frac{K}{C}, \quad (1)$$

где  $K$  – уровень качества продукции, баллов;

$C_0$  – совокупная стоимость на приобретение продукции и на поддержание ее в работоспособном состоянии, у.е.

Рассматриваемое соотношение (1) в условиях сопоставимости применяемых конструктивно-технологических методов и затрат на создание и техническое содержание машин (при неизменном  $S$ ) предполагает закономерность: чем выше цена за изделие, тем выше ожидаемый уровень качества. При этом понятие качества является собирательным и оценивается группой экспертов в баллах по различным методикам. Следует отметить, что

начисляемые баллы несут, как правило, субъективную оценку экспертов, условно независимых от нанявших их производителей продукции. Если потребитель априори понимает под качеством продукции в техническом аспекте уровень ее надежности, то при выборе модельного ряда машин потребитель может быть введен в заблуждение относительно реального уровня качества, и в первую очередь надежности рассматриваемых вариантов. Для снижения неопределенности в решении данного вопроса необходим метод, позволяющий научно обоснованно (но достаточно просто) решить задачу выбора оптимального (по технико-экономическому критерию) варианта продукции транспортного машиностроения.

Анализ качества изделий машиностроения показывает, что конструкции машин и оборудования, а также их компонентов имеют определенные недостатки. Это обусловлено тем, что существующие методики их проектирования опираются на принципы обеспечения достаточного запаса прочности и выносливости. Вопрос обоснованности значений используемых коэффициентов запаса в теории машин и механизмов является краеугольным. Как правило, указанные значения [1] есть рекомендации проектировщикам как результат обобщения эмпирических данных на основе человеческого опыта, полученного путем проб и печальных ошибок. В итоге, возникла тенденция деления элементов структуры машин на ответственные детали и второстепенные. Первые из них представляют собой элементы, на которые возложены функции, определяющие безопасность и долговечность объекта в целом. Как правило, это несущие и высоконагруженные элементы, в случае отказа которых существенно возрастает до критического уровня риск катастрофических последствий либо значительного материального ущерба. Ко второй группе отнесены все остальные детали, отказ которых не сопряжен с указанными последствиями.

Следует отметить, что рассматриваемые рекомендации были разработаны применительно к уровню развития науки и технологий производства, соответствующего середине 50-х годов прошлого столетия. Анализ практики назначения коэффициентов запаса прочности и выносливости показал, что в случае расчетов на прочность и выносливость ответственных элементов конструкций доминирует тенденция перестраховки. В результате, как правило, назначаются необоснованно высокие значения рассматриваемых коэффициентов. Это приводит к тому, что детали становятся материалоемкими, что негативно отражается на увеличении их массы и геометрических размеров. В эксплуатации это требует дополнительных затрат энергии при реализации рабочих процессов, как результат – снижается эффективность машин и оборудования. Кроме того, к моменту их списания ресурс ответственных деталей имеет сравнительно высокие значения остаточного ресурса. Например, корпусные детали агрегатов транспортных машин, рамные конструкции и опорные части механизмов технологических машин и т.д. имеют к указанному моменту времени остаточный ресурс, вдвое и более превышающий суммарную наработку объекта в целом.

Однако в отношении прочих деталей машин указанная выше тенденция не свойственна. Напротив, для так называемых «дешевых» деталей характерно применение остаточного принципа обеспечения прочности и надежности. Поскольку изначально было предположено, что сборочные единицы, собранные из указанных «дешевых» деталей, будут быстро изнашиваться, то отказ машины, обусловленный их эксплуатационным износом, необходимо устранять. Для этого конструкторы и технологи предусматривают комплекс мероприятий, который отражен в технической документации изделия. Как правило, для выполнения частых замен деталей и узлов предусматриваются съемные части корпусов, что негативно сказывается на жесткости их конструкции и, как следствие, точности позиционирования сборочных единиц в опорах. Для компенсации потерь жесткости уве-

личивают массу корпуса в зонах расположения плоскостей разреза и вводят дополнительные элементы жесткости. Для регулировок установки запасных частей по размерным цепям вводятся дополнительные массы в виде компенсационных элементов (опорные пластины, распорные втулки, кольца, шайбы и т.п.).

Изготовленные таким образом машины и оборудование отличаются от более конкурентоспособных аналогов большей материалоемкостью, низкой безотказностью и долговечностью. Невысокая стоимость их конструкции в настоящее время не может служить оправданием, так как в эксплуатации на поддержание надежности подобной машины требуются дополнительные затраты, величина которых во много раз превышает ее стоимость [2]. В основе методики определения затрат на поддержание надежности [3] лежит математический аппарат теории восстановления работоспособности технических систем. Его использование позволяет оценивать показатели эксплуатационной надежности конструктивных элементов и машины в целом [4].

$$C_{nn}(t) = \sum_{i=1}^N C_{отк_i} \cdot \Omega_i(t), \quad (2)$$

где  $C_{отк_i}$  – стоимость устранения отказа  $i$ -го вида,

$\Omega_i(t)$  – математическое ожидание числа отказов  $i$ -го вида,

$N$  – количество видов отказов машины.

Как показывает практика, удельная величина совокупных затрат на приобретение машины  $C_u$  и на поддержание ее эксплуатационной надежности  $C_{nn}(t)$ , определяемая как [3]

$$C_{y\partial}(t) = \frac{C_u + C_{nn}(t)}{t} = \frac{C_0}{t}, \quad (3)$$

устанавливается лишь после сравнительно продолжительного периода ее эксплуатации.

Следует отметить, что вышеприведенные зависимости представляют интерес не только для специалистов, длительное время проводящих исследования надежности конкретных изделий. Речь идет об инженерно-техническом персонале фирмы-изготовителя, целевым образом занимающимся доводкой конструкции экспериментальных образцов и опытной партии машин. Информация об их надежности является строго конфиденциальной и недоступна потребителю. Косвенным отражением характера надежности представленного на рынок изделия является его гарантийный ресурс, установленный фирмой-изготовителем. Зачастую это значение может быть занижено дилером в розничной сети в целях извлечения дополнительного дохода за счет невыполняемых гарантийных обязательств. Тем не менее, информация о предоставляемых гарантийных обязательствах всегда доступна потребителю, поскольку является обязательным условием по действующему законодательству, а также может существенно стимулировать спрос в сравнении с аналогичными обязательствами конкурирующего представителя фирмы-изготовителя (дистрибьютора).

Для понимания, каким образом формируется гарантийное обязательство по безотказной работе (надежности) изделия, рассмотрим некоторую техническую систему, состоящую из конечного числа подсистем и элементов. Безотказность отдельно взятого узла, представляющего собой некоторую техническую систему из  $M$  последовательно соединенных элементов, определяется с помощью математической модели его безотказности на основе оценки распределений ресурсов входящих в него элементов (рис. 1). Как правило, средняя наработка узла до отказа оценивается по формуле [5]

$$T_{доузла}^* = \int_0^{\infty} P_{узла}(t) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^M P_{\partial_i}(t) dt, \quad (4)$$

где  $P_{oi}(t)$  - вероятность безотказной работы  $i$  элемента  $j$  узла.

Тогда средняя наработка машины до первого отказа как системы из  $N$  последовательно соединенных узлов (агрегатов) будет определяться как

$$T_{до} = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^N P_{узла_i}(t) dt = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^M P_{O_{ij}}(t) dt. \tag{5}$$

Гарантийный ресурс узла устанавливают как его гамма-процентную наработку до отказа  $T_{\gamma}$ , при этом опираются на вероятность (риск диллера) выполнения гарантийного ремонта по замене отказавшего узла. Как правило, этот риск не должен превысить некоторый уровень  $\alpha$  (%)

$$\alpha = (1 - \frac{\gamma}{100}) \cdot 100. \tag{6}$$

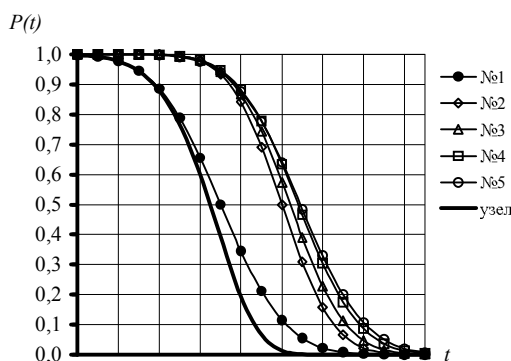


Рисунок 1 – Вероятность безотказной работы узла

При этом гамма-процентный уровень безотказности определяется с помощью вероятности безотказной работы узла на интервале гамма-процентной наработки до отказа (рис. 2)

$$\frac{\gamma}{100} = P(T_{\gamma}). \tag{7}$$

Как видно на рис. 2, гамма-процентная наработка узла до отказа значительно меньше средней наработки до отказа. В соответствии с технико-экономическим методом необходимо определить удельную величину затрат на выполнение работ по поддержанию надежности за устанавливаемый гамма-процентный ресурс.

Поскольку эти работы предусматривают обязательные профилактические воздействия с целью контроля (диагностики) технического состояния узла  $C_{ТО_{гарант}}$  и при необходимости предупредительные замены с целью предупреждения либо устранения отказа  $C_{отк}$ , то функция затрат за гарантийный период примет вид

$$C_{ин}(T_{\gamma}) = C_{ТО_{гарант}} + C_{отк} \cdot (1 - P(T_{\gamma})). \tag{8}$$

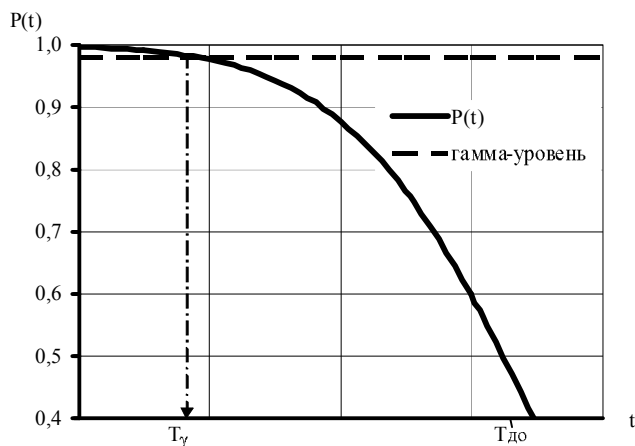


Рисунок 2 – Средняя и гамма-процентная наработки узла до отказа

Следует отметить, что невыполнение обязательных видов технического обслуживания влечет снятие гарантии на изделие. В таком случае, удельные затраты на поддержание надежности за гарантийный период примут вид:

$$C_{\text{нн,уд}}(T_\gamma) = \frac{C_{\text{нн}}(T_\gamma)}{T_\gamma} = \frac{C_{\text{ТО}_{\text{гарант}}} + C_{\text{отк}} \cdot (1 - P(T_\gamma))}{T_\gamma}. \quad (9)$$

В числителе выражения (8) находится цена, отражающая стоимость гарантийных обязательств, которые дилер относит на цену изделия (машины) для потребителя. В знаменателе – показатель надежности в гарантийный период (безотказности), отражающий технический аспект качества. Тогда соотношение качество-цена по условиям гарантии можно принять в виде

$$S = \frac{T_\gamma}{C_{\text{нн}}(T_\gamma)} = \frac{T_\gamma}{C_{\text{ТО}_{\text{гарант}}} + C_{\text{отк}} \cdot (1 - P(T_\gamma))}. \quad (10)$$

В итоге, чем выше показатель  $S$ , тем более предпочтительным является изделие по соотношению качество-цена. Это достигается при условиях: установленный дилером гарантийный период  $T_\gamma$  сравнительно высокий, а стоимости обязательного  $\text{ТО}_{\text{гарант}}$  и предупредительного ремонта минимальны.

#### Список литературы

1. Гольд Б.В. Прочность и долговечность автомобиля / Б.В. Гольд, Е.П. Оболенский, Ю.Г. Стефанович и др. – М.: Машиностроение, 1974.
2. Болотин В.В. К прогнозированию остаточного ресурса. // Машиноведение. – 1980. – №5
3. Шейнин А.М. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации. – М.: Знание, 1977. – 44 с.
4. Кульсеитов Ж.С. Математические модели и поддержание надежности машин / Ж.О. Кульсеитов, В.П. Лисьев. – Алматы: Гылым, 1996. – 222 с.
5. Гнеденко Б.В. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т.; Т. 2: Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.

Получено 14.05.10