

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ ПОДХОД К НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В статье предложен декомпозиционный подход к исследованию надежности технических систем, в основе которого лежат элементы системного анализа. Это позволяет сделать выбор приоритетных направлений при разработке надежных систем смешивания.

Ключевые слова: надежность, отказы, износ, повреждения, закон распределения, прогноз

Рассматривая конструкцию технической системы, можно предложить принцип отбора параметров характеризующих надежность его работы, а также методы оценки различных показателей надежности.

Предложен декомпозиционный подход к решаемой проблеме, т.е. конструкция технической системы расчленяется на составляющие ее узлы. Надежность технической системы смешивания представлена надежностью отдельных узлов, которые наиболее часто выходят из строя и теряют свои свойства в процессе эксплуатации, например: корпус, зубчатая передача, вал, обеспечивающий передачу.

Систему смешивания, в первую очередь обуславливает выбранная конструктивная база, которая должна обладать определенной надежностью в эксплуатации. Используя аппараты для смешивания компонент среды, различных по физико – механическим составляющим, следует учитывать условия их эксплуатации. Стальные аппараты в процессе эксплуатации, могут подвергаться периодическим нагрузкам и разрушаться от малоциклового усталости.

Надежность как внутреннее свойство изделия (детали, сборки, прибора, системы, и т.д.) сохранять во времени свои параметры в задан-

ных пределах и в заданных условиях эксплуатации зависит от большого числа факторов, носящих, как правило, случайный характер.

В смешивающих аппаратах к таким факторам в частности относятся:

- отклонение параметров элементов и рабочего механизма от значений, заложенных при проектировании технической системы;
- постепенный, обусловленный износом, уход параметров элементов за допустимые пределы, носящий также случайный характер и т.д.

С учетом этих факторов прогнозировать разрушение смешивающего аппарата целесообразнее всего расчетно – экспериментальными методами. При этом расчет напряженного состояния, должен базироваться на геометрии конструкции, используемом для ее изготовления материале, концентрациях напряжений, внешних и локальных условиях эксплуатации.

Следует отметить, что параметры технического состояния, позволяющие прогнозировать наступление отказов работы смешивающих аппаратов, могут быть достаточно хорошо контролируемыми и непосредственно измеряемыми, например, износ стенок, глубина коррозии. Для работы смесителей характерно возникновение отказов различного характера, т.е. механических, технологических и ошибок в эксплуатации. Их упрощенная классификация приведена на рисунке 1. Прогнозирование срока службы оборудования идет по пути определения остаточного ресурса и резерва, т.к. для фактической эксплуатации смесителей закладывается менее напряженный режим, чем расчетный. Расчетный срок службы рассматривается при наиболее неблагоприятных условиях, включающих режимы нагружения, физико-механические свойства (ФМС) материалов изготовления конструкции и ФМС материалов смешиваемых в аппарате [1].



Рисунок 1. Отказы в работе смешивающих аппаратов

Известно, что условиями возможности прогнозирования остаточного ресурса смешивающего аппарата, являются параметры, характеризующие его техническое состояние, которые могут быть как прямыми, так и косвенными. Для каждого выбранного прямого параметра необходимо установить предельное значение, определяющее величину ресурса. При эксплуатации смешивающего устройства происходит износ его корпуса и рабочих органов. Рассматривая лабораторную установку по патенту №2417118 [3], с учетом геометрического подобия, можно прогнозировать остаточный ресурс работы смесителя. По условиям прочности определяют допустимую предельную величину механического износа – 2,3 мм, которая зависит от нагрузочных режимов и конкретно используемого конструкционного материала.

Для этого через каждые 150-160 часов работы измеряют величину износа корпуса и рабочих органов смесителя. По результатам замеров определяется зависимость, чаще всего, при аналогичных видах износа, т.е. трении, она описывается следующим уравнением: $h = a \cdot b^t \cdot t^c$, мм, в нашем случае, $a = 0,001875$, $b = 1$, $c = 1$.

Скорость износа, может демонстрировать эмпирическая зависимость, имеющая графическую интерпретацию (рис.2). Предельно допустимая величина износа зависит от нагрузочных режимов, как было отмечено выше и конкретно используемого конструкционного материала.

Интенсивность деградации оборудования, при малом сроке эксплуатации и незначительной поврежденности, может быть спрогнози-

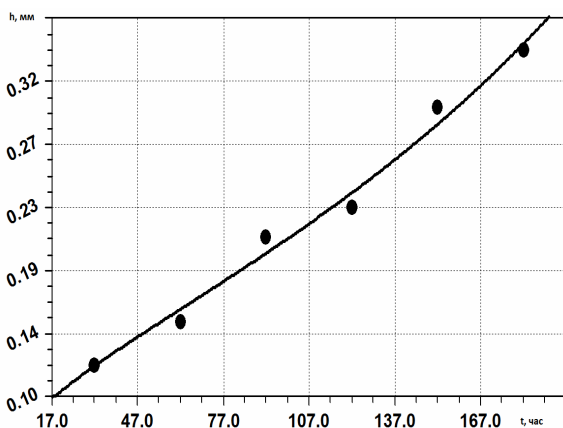


Рисунок 2. Определение скорости износа рабочих органов смесителя

вана при помощи упрощенных детерминистических оценок.

Наиболее целесообразный метод контроля повреждений – микрометрический [2], для которого использованы механические индикаторы с игольчатым щупом, дающие возможность измерения глубины даже отдельных каверн. Следует учитывать и то, что износ рабочих поверхностей, может быть не равномерным, т.е. места большего нагружения и контакта с обрабатываемым материалом, подвергаются износу быстрее. Поэтому, прогноз наступления отказов зависит от диагностики именно таких проблемных зон в смешивающем аппарате. Рациональность проведения своевременной выборочной проверки связана с определенными трудностями, возникающими при сплошном контроле контактных, рабочих поверхностей.

В шнеково-лопастных смесителях для передачи вращающего момента от одной детали к другой используют валы, работоспособность которых определяется прочностью и жесткостью. Прочность валов зависит от эксплуатационного нагружения, а параметрами, характеризующими жесткость, являются прогиб вала y и угол закручивания вала α .

При эксплуатации смесителя, в зависимости от частоты вращения, валы теряют устойчивость, что приводит к их поломке. Частота вращения, при которой наступает неустойчивое состояние вала, называется критической частотой вращения вала, и достигается это при равенстве параметров k/m и ω^2 , когда прогиб вала достигает бесконечности.

Графическая зависимость прогиба вала от соотношения $k/m\omega^2$ показана на рисунке 3, где видно, что с увеличением частоты вращения двигателя прогиб вала растет и при $\nu_{кр}$ достигает максимума. Если пройти через критическую частоту вращения, то прогиб вала уменьшается и достигает значения эксцентриситета:

$$y = \frac{e}{\left(\frac{\omega_{кр}^2}{\omega^2}\right) - 1}$$

Таким образом, устойчивую работу вала можно обеспечить как в докритическом, так и в сверхкритическом диапазоне частоты вращения.

Исследование надежности функционирования смешивающего аппарата с декомпозиционным подходом предполагает исследование

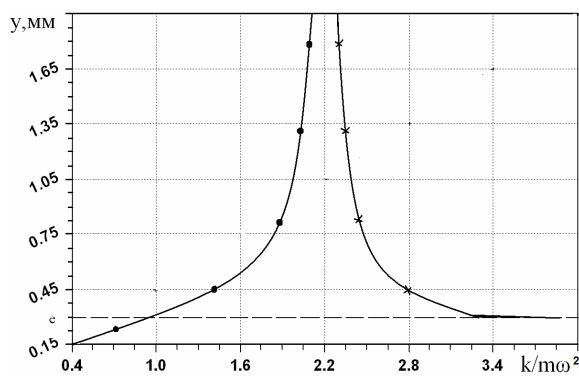


Рисунок 3. Зависимость прогиба вала от соотношения k/mw^2

вероятностных свойств выходных параметров и параметров, характеризующих прочность элементов зубчатого механизма. Для этого выбираются критерии и вероятностные характеристики надежности, характер и количественные значения которых определяются из технического задания, чертежей, справочников, путем экспериментов и т.п.

Анализ надежности может быть проведен с помощью статистических критериев и их соответствия эмпирическим результатам. Случайные величины, полученные в результате исследований, подвергаются обработке в соответствии с одним из законов распределения, и это дает возможность определить дополнительные количественные показатели надежности.

Для закрытой зубчатой передачи, используемой в шнеково-лопастном смесителе, провели расчет на этапе проектирования по условию контактной выносливости и проверочный расчет – по условию выносливости по напряжениям изгиба, в результате чего определили допустимые контактные и изгибные напряжения, находящиеся в нормативных пределах. Для шестерни была выбрана сталь 45 X, для колеса – сталь 35 XГСА.

Для оценки уровня надежности зубчатой передачи по данным эксплуатации используют исходные данные, такие как, интервал времени наблюдения за объектами (t_a), упорядоченные по возрастанию (вариационный ряд) значения наработки до отказа выборки изделий (t_i), количество изделий, находящихся в эксплуатации (размер выборки – N) и количество отказов в выборке (n).

Интервал наработки, на котором обнаружены неисправности, разбивается на несколько разрядов (интервалов) величиной Δt_i , в каж-

дом из которых производится расчет эмпирических значений плотности $f^*(t)$, интенсивности $\Delta(t)$ отказов и вероятности безотказной работы $P^*(t)$ по формулам:

$$f_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i};$$

$$\lambda^*(t) = \frac{\Delta n_i}{\left(N - \sum_{i=0}^{i=i-1} \Delta n_i \right) \Delta t_i};$$

$$P_i^*(t) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^i \Delta n_i}{N} = \frac{f_i^*(t)}{\lambda_i^*(t)},$$

На основе расчета эмпирических характеристик строятся гистограммы распределения плотности, интенсивности отказов и вероятности безотказной работы как функции наработки, по внешнему виду которых, их схожести с известными законами распределения и физической природы появления отказа, структуры изделия, условий и режимов эксплуатации, выдвигается гипотеза о виде теоретического распределения отказов.

Для исследуемой технической системы смешивания внешний вид гистограммы позволил выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения, которое характерно для отказов, связанных с износом и равномерным накоплением повреждений в материале конструкции.

Проверку согласия теоретического и эмпирического распределения осуществляли с помощью критерия Пирсона, характеризующего степень расхождения теоретического и эмпирического распределений. Рассчитанное значение критерия Пирсона $U^2 = 1,166$ не попадает в критическую область $(2,71; +\Gamma)$, таким образом, выдвинутая гипотеза о нормальном законе распределения не противоречит статистическим данным.

Сравнение расчетных и нормативных значений показателей надежности смесителя позволило провести оценку надежности технической системы.

При анализе надежности смесителя определили, что вероятность безотказной работы $P^*(t)$ составила 0,965.

В результате проведенных исследований нами разработана программа по оценке надежности технических систем (свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2011614124), алгоритм которой описан выше,

позволяющая оценивать уровень надежности всей системы, выбирать наиболее подходящий вариант конструкции и обоснованно назначать режим эксплуатации. Вычислительный эксперимент, проведенный с помощью разработанной программы ЭВМ [4], явился аналитической базой для оценки надежности исследуемой конструкции смесителя.

Таким образом, работоспособность смесителей определяется надежностью его отдельных

узлов, поэтому декомпозиционный подход позволяет провести более глубокий анализ причин возникновения отклонений и способов их устранения. При этом достоверность оценки надежности таких технических систем как смесители зависит от наибольшего числа замеров и частоты проведения диагностических мероприятий, что в свою очередь сопряжено с дополнительной трудоемкостью.

5.05.2011

Список литературы:

1. Черновой А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В. Надежность сложных систем - М.: Машиностроение, 1976., 288с.
2. ГОСТ 9.908-85 Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы и сплавы. Методы определения показателей коррозии и коррозионной стойкости.
3. Межуева Л.В., Иванова А.П., Пискарева Т.И., Патент РФ №2417118 «Лабораторный смеситель», опубл.27.04.2011, БИ№12
4. Пискарева Т.И., Межуева Л.В., Иванова А.П., Гетманова Н.В., Гунько В.В. Программа по оценке надежности технической системы. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011614124 от 26. 05. 2011 г.

Сведения об авторах:

Иванова Анастасия Петровна, профессор кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Оренбургского государственного университета, доктор технических наук

Межуева Лариса Владимировна, профессор кафедры пищевой биотехнологии Оренбургского государственного университета, доцент, доктор технических наук

Пискарева Татьяна Ивановна, старший преподаватель кафедры общей физики Оренбургского государственного университета

Гунько Виктория Викторовна, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук

Быков Артем Владимирович, начальник отдела НИИРС Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук 460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 340682, 340658, 340659

UDK 621-192;621.81-192; 621.401

Ivanova A.P., Mezhueva L.V., Piskareva T.I., Gunko V. V., Bykov A.V.

Orenburg state university

DECOMPOSITION THE APPROACH TO RELIABILITY TECHNICAL SYSTEM

In article it is offered декомпозиционный the approach to research of reliability of technical systems in which basis elements of the system analysis lie. It allows to make a choice of priority directions by working out of reliable systems of mixing.

Keywords: reliability, refusals, deterioration, damages, the distribution law, the forecast

Bibliography:

1. Chernovoj A.A., Lukjashchenko V. I., Kotin L.V.reliability of difficult systems - M: Mechanical engineering, 1976., 288с.
2. GOST 9.908-85 Uniform system of protection against corrosion and aging. Metals and alloys. Methods of definition of indicators of corrosion and corrosion firmness.
3. Mezhueva L.V., Ivanova A.P., Piskareva T.I., the Patent of the Russian Federation №2417118 «the Laboratory amalgamator», опубл.27.04.2011, БИ№12
4. Piskaryova T.I., Mezhueva L.V., Ivanova A.P., Getmanova N.V., Gunko V.V.Programma according to reliability of technical system. The certificate on the state registration of the computer program № 2011614124 from 26. 05. 2011