

УДК 004.654:623.094

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ РАЗВИТИЯ ДЕФЕКТОВ В НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ ЗАПРАВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Астанков А.М., Шишкин Е.В., Буслов А.А., Свистунов В.М.

*ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», Санкт-Петербург,
e-mail: astankovy@yandex.ru*

В статье рассмотрена экспресс-методика количественного оценивания технического состояния роторного оборудования ракетно-космических комплексов, а именно, насосных агрегатов консольного типа, из состава заправочного оборудования, в процессе его эксплуатации, на основе экспертных знаний, формализованных в виде логико-лингвистической модели. Применение вышеуказанной экспресс-методики способствует понижению вероятности возникновения рисков аварийных ситуаций и выбору последовательности действий при проведении ремонтно-восстановительных работ. Исследован вопрос комплексного подхода для решения задачи повышения оперативности и достоверности результатов обследования насосных агрегатов консольного типа заправочного оборудования на основе сочетания вибродиагностического метода неразрушающего контроля и метода экспертных оценок. Представлен алгоритм, позволяющий на основе экспертных оценок получать принципиально новую обобщенную информацию о степени развития дефектов насосных агрегатов в процессе их эксплуатации.

Ключевые слова: заправочное оборудование, насосные агрегаты, техническое состояние, виброскорость, экспертные оценки

ALGORITHMIC SUPPORT PROCEDURE FOR DETERMINING THE EXTENT OF DEFECTS IN THE PUMP UNIT FILLING EQUIPMENT

Astankov A.M., Shishkin E.V., Buslov A.A., Svistunov V.M.

Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: astankovy@yandex.ru

In the article a rapid method for the quantitative estimation of the technical condition of rotary equipment of space-rocket complexes, namely, pump units cantilever type, from the fuelling equipment, during its operation, based on expert knowledge, and formalized in logico-linguistic model. Application of the above Express-method helps to reduce the likelihood of risks of emergency situations and the choice of the sequence of actions when carrying out repair work. We investigate the question of a comprehensive approach to solve the problem of increasing the efficiency and reliability of the survey results of pumping units cantilever type of filling equipment on the basis of a combination of vibro-diagnostic method of nondestructive testing and the method of expert estimates. Presents an algorithm that allows on the basis of expert assessments to obtain fundamentally new information about the degree of development of defects of pumping units during their operation.

Keywords: filling equipment, pump units, the technical condition, velocity, expert assessments

Технологическое оборудование (технологические системы) – это совокупность устройств, предназначенных для подготовки ракет космического назначения (РКН) к пуску и непосредственно для пуска.

Процессы проектирования и создания технологических систем (ТхС) существующих стартовых комплексов, обеспеченные не столь основательными предварительными проработками и целевыми программами, нередко давали на выходе далеко не оптимальные проектные и технические решения, реализация которых приводила к тому, что ТхС эксплуатирующиеся стартовых комплексов представляли собой совокупность локальных систем, которая не могла рассматриваться в качестве подсистемы в структуре стартовых комплексов. В результате в процессе эксплуатации возникала несогласованность между возможностями рассматриваемых

систем и их целевыми функциями, а также между целевыми функциями отдельных видов ТхС.

Кроме того, на стадии проектных решений не уделялось достаточного внимания научным проработкам системы эксплуатационных мероприятий, т.е. по существу отсутствовала обоснованная концепция взаимосвязки основных этапов жизненного цикла ТхС.

Недоработки при проектировании и создании отрицательно сказывались на надежности ТхС.

В настоящее время разработка как технологических, так и специальных технологических систем перспективных стартовых комплексов находится в ведении Генерального конструктора. Но для того, чтобы обеспечить одинаково высокий уровень разработки всех типов систем, необходимо решение неотложных задач.

Важнейшей составляющей в общем комплексе мероприятий по повышению надежности инженерно-технических систем является совершенствование процесса их эксплуатации, в частности технического обслуживания. Но эффективная организация технического обслуживания невозможна без информации о фактическом техническом состоянии оборудования, т.е. без проведения контроля и диагностирования. Необходимы разработка и внедрение современного методического и аппаратного обеспечения получения объективной информации о состоянии ТхС.

Важнейшей составляющей заправочно-го оборудования, как наиболее ответственного элемента ТхС, являются насосные агрегаты.

Техническое состояние (ТС) насосных агрегатов (НА) определяется ТС его основных элементов: уплотнений, механизма движения, подшипниковой группы, электродвигателя. Большая часть отказов насосных агрегатов приходится на подшипники и механизмы движения. В связи со сложностью устройства насосного агрегата и протекающих в нем процессов диагностические сигналы носят разнообразный характер, как по физической природе, так и по времени проявления и степени отражения основных параметров состояния узлов НА и его элементов. В связи с чем возникает необходимость поиска путей решения задач оценивания и прогнозирования ТС роторного оборудования ракетно-космических комплексов в условиях невозможности применения полного спектра методов и средств неразрушающего контроля.

Существующие методы контроля технического состояния НА, в связи со спецификой их эксплуатации на космодромах, например всего несколько пусков в год с непредсказуемым временем простоев между пусками, не в полной мере отображают состояние НА, а только фиксируют значения параметров в момент непосредственного проведения экспресс-оценки ТС.

В этих условиях задача повышения оперативности и достоверности результатов обследования НА является весьма актуальной, а именно, необходим комплексный подход на основе сочетания существующего вибрационного метода контроля и экспертного оценивания. При этом экспертные знания (ЭЗ), формализованные в виде логико-лингвистической модели [2] на выбранном факторном пространстве из наиболее значимо влияющих переменных [3], позволяют построить графики изменения влияния (ЭЗ) на зависимую переменную в различных условиях эксплуатации НА. Такое графическое представление экспертных знаний существенно облегчает получение достоверных оценок ТС НА.

Согласно методике [2], экспертом заполняется опросная матрица специального вида, построенная на основе технологии теории планирования экспериментов в выбранном факторном пространстве лингвистических переменных, по которой далее строится полиномиальная модель.

В табл. 1 приведен фрагмент опросной матрицы с ответами эксперта в лингвистическом и оцифрованном виде, а также рассчитанные значения величины виброскорости исследуемого агрегата Y.

Таблица 1

Фрагмент опросной матрицы с ответами эксперта и расчетными значениями по модели

№ п/п	Степень несоосности валов	Перекоп колец	Степень отсутствия смазки	Степень наведенной вибрации	Возможность попадания агрессивной среды	Время простоя между циклами	Температура опорных узлов	Обобщенный показатель ТС НА		
								Экспертные моды термов	Числовые значения термов	Расчетные значения по (1)
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	Y_3	Y_3	$Y_{расч}$
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	H	3	3,1875
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	HC	7	6,8125
...
...
63	-1	1	1	1	1	1	-1	C-BC	13	12,625
64	1	1	1	1	1	1	1	B	19	18,281

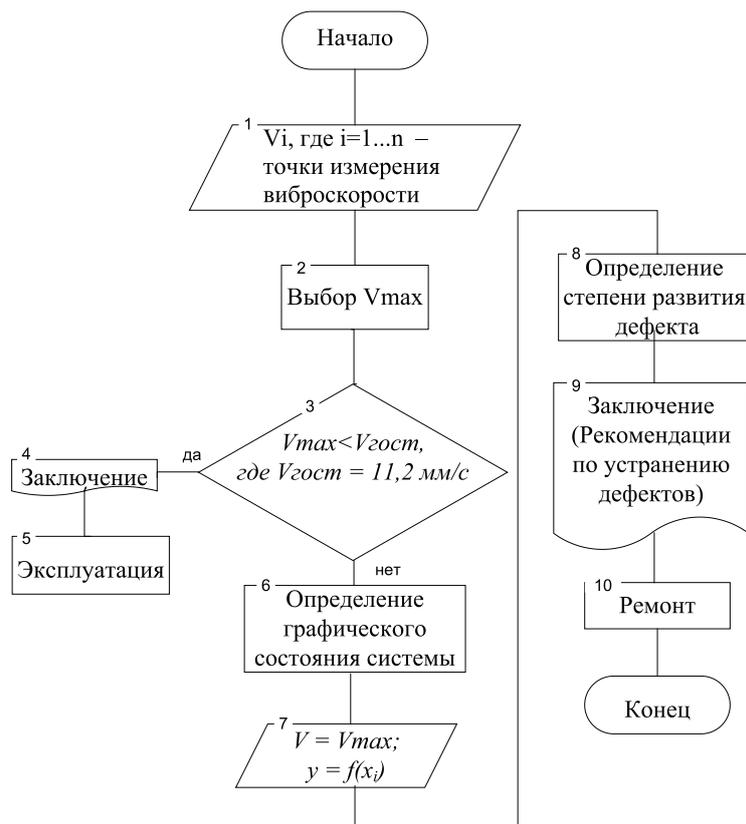


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения степени развития дефектов в насосных агрегатах заправочного оборудования

По результатам обработки экспертных данных, приведенных в табл. 1, получено аналитическое выражение

$$Y = 11,25 + 2,3125x_1 + 1,0625x_2 + 1,0x_3 + 1,0x_4 + 1,625x_5 + 0,8125x_6 + 0,5625x_7 - 0,4375x_1x_3 - 0,875x_1x_7 - 0,5x_2x_6 - 0,375x_2x_7 - 0,3125x_5x_6 - 0,375x_1x_5x_7 + 0,4375x_2x_4x_5. (*)$$

В данном аналитическом выражении представлены только значимо отличающиеся от «0» коэффициенты, а степень его адекватности оценивается по критериям представительности [1].

Так, точность вычислений по выражению (*) определяется значением остаточного среднеквадратического отклонения $s_{ост}$

$$s_{ост} = 0,752 < 2 = 0,5 d(A_y)$$

по всему множеству точек ниже исходной нечеткости экспертных оценок $0,5 d(A_y)$.

Но сумма модулей полинома (*) существенно выше $0,5 d(A_y)$ и может быть представлена в виде

$$12,98 = \sum_{i=1}^n |b_i| \gg 0,5 d(A_y) = 2.$$

Оба эти критерия указывают на адекватность модели (*) экспертным знаниям и опыту при эксплуатации НА заправочного оборудования.

Структурная схема алгоритма определения степени развития дефектов в НА заправочного оборудования представлена на рис. 1.

Суть работы представленного алгоритма заключается в следующем. Исходными данными для расчета являются измеренные значения виброскорости по точкам измерения $I = 1 \dots n$, полученные при контроле параметров вибрации агрегата (блок 1). Выбор максимального значения виброскорости V_{max} происходит в блоке 2. В блоке 3 производится сравнение максимального значения виброскорости V_{max} со значением $11,2 \text{ мм/с}$ [1]. При выполнении условия $V_{max} < V_{гост}$ оформляется заключение (блок 4) по результатам контроля о работоспособном, без ограничений, состоянии агрегата, в противном случае следует продолжить процедуру диагностирования до момента определения степени развития дефектов в исследуемом агрегате.

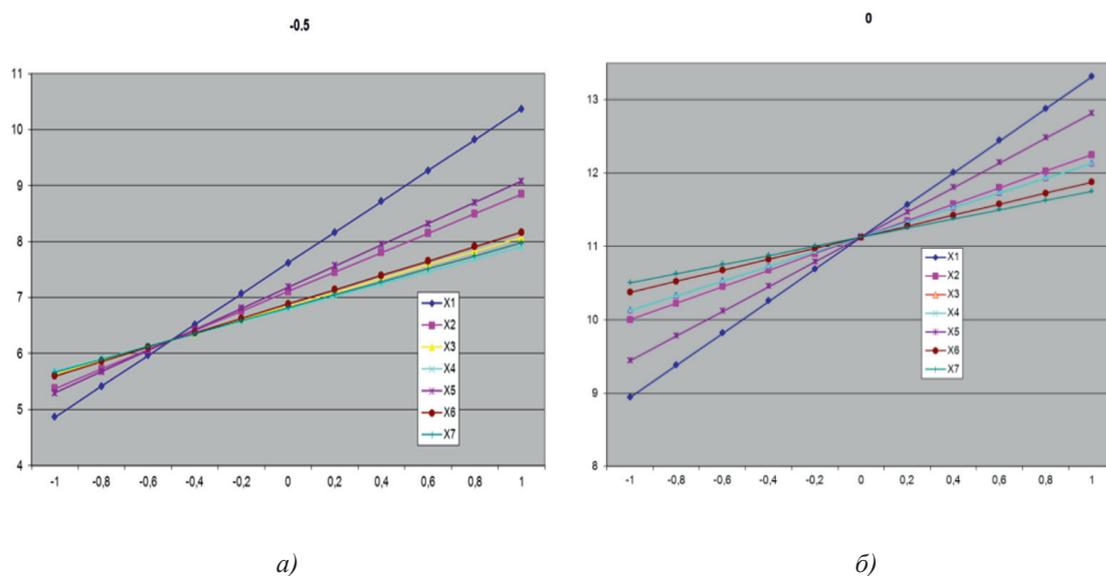


Рис. 2. Графическое отображение состояния системы: а) « $-0,5$ »; б) « 0 »

Таблица 2

Выбор графического отображения состояния системы

Интервалы	Мода	Значение	Характеристика по ГОСТ ИСО 10816-1-97	Графическое отображение состояния системы
7 и ниже	Низкая	3	Соответствует состоянию агрегата, пригодному для дальнейшей эксплуатации без ограничения сроков. Профилактика не требуется	-1
3-11	Ниже средней	7	Соответствует состоянию агрегата непригодного для длительной непрерывной эксплуатации, может функционировать ограниченный период времени. Периодический контроль	-0,5
7-15	Средняя	11	При значениях свыше 11,2 мм/с – вибрации рассматриваются как достаточно серьезные, для того чтобы вызвать повреждение машины. Постоянный контроль. При выходе за предельный уровень – вывод агрегата в ремонт	0
11-19	Выше средней	15	Постоянный контроль. Возможна эксплуатация только на нижней границе интервала	0,5
19 и выше	Высокая	19	Эксплуатация недопустима	1

Далее следует выбор графического отображения состояния системы (блок 6) с использованием сведений по табл. 2.

Так, при измеренном значении виброскорости 7 мм/с графическое отображение состояния системы соответствует « $-0,5$ » (рис. 2, а), а при значении, равном 12 мм/с – соответствует « 0 » (рис. 2, б). По выбранному графическому отображению состояния системы (блок 7) определяется степень развития (блок 8) каждого из возможных дефектов (рис. 2).

Оформление заключения с описанием степени развития дефектов в НА происходит в блоке 9. По рис. 2, б можно сделать выводы о влиянии дефектов на величину виброскорости исследуемого агрегата. Так, наибольшее влияние оказывает несоосность валов (x_1), развитие величины которой в стандартизованном масштабе оценено 0,4, что соответствует величине несоосности 0,26 мм в измеряемых единицах и вызывает значение виброскорости свыше 12 мм/с, которая выше нормированной по

ГОСТ ИСО 10816-1-97 величине 11,2 мм/с. Следующими по силе влияния, при той же виброскорости (свыше 12 мм/с), являются: x_5 – попадание агрессивной среды, x_2 – перекос колец подшипника, а остальные – по проекции точки пересечения величины Y с соответствующей линией переменной.

Далее агрегат выводится в ремонт (блок 10). При проведении ремонтных работ следует учитывать рекомендации из заключения о состоянии агрегата для определения последовательности и объема ремонтно-восстановительных работ. Так, например, если развитие дефекта «отсутствие ресурсной смазки» x_3 достигает величины 0,9, что соответствует 10% оставшегося количества смазки в агрегате от требуемого, то данный дефект способен вызвать значение виброскорости выше нормированной по ГОСТ ИСО 10816-1-97 с выводом агрегата в ремонт. При наличии информации подобного рода специалистам, выполняющим ремонт агрегата, достаточно добавить необходимое количество смазки, не прибегая к разборке-сборке НА. В случае же необходимости разборки агрегата наиболее вероятная величина несоосности валов составит 0,26 мм.

Разработанный алгоритм позволяет на основе экспертных оценок получать принципиально новую обобщенную информацию о степени развития дефектов в процессе эксплуатации агрегата.

Алгоритм разработан для определения степени развития дефектов в НА [2, 3]. Существующие алгоритмы, которые позволяют оценивать ТС НА, являются ограниченными в своей применимости на практике, так как они предполагают применение дорогостоящего оборудования с очень сложной аппаратной реализацией.

Предлагаемый алгоритм может быть использован специалистами при решении задач оценивания и прогнозирования ТС роторного оборудования ракетно-космических комплексов в условиях невозможности применения полного спектра методов и средств неразрушающего контроля.

Список литературы

1. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Межгосударственный стандарт. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования (Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации – протокол N 11-97 от 25 апреля 1997 г.). Введен 1 июля 1999 г.
2. Оценивание технического состояния насосных агрегатов запорочного оборудования ракетно-космических комплексов на основе логико-лингвистических моделей // Развитие научно-технических аспектов методологии испытаний и эксплуатации с целью повышения эффективности применения существующих средств и систем экспериментально-испытательной базы / А.М. Астанков, А.В. Спесивцев, В.В. Типаев: сб. докладов XXXI Межведомственной научно-технической конференции. – 2015. – № 1. – С. 57–63.
3. Павловский Ю.Н. Имитационное моделирование: учеб. пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 236 с.
4. Прохорович В.Е. Прогнозирование состояния сложных технических комплексов. – СПб.: Наука, 1999. – 158 с.
5. Спесивцев А.В. Управление рисками чрезвычайных ситуаций на основе формализации экспертной информации. / Под ред. проф. В.С. Артамонова – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. – 238 с.

References

1. GOST ISO 10816-1-97. Mezghosudarstvennyj standart. Vibracija. Kontrol sostojanija mashin po rezul'tatam izmerenij vibracii na nevrashhajushhihsja chastjah. Chast 1. Obszhie trebovanija (Prinjat Mezghosudarstvennym Sovetom po standartizacii, metrologii i sertifikacii protokol N 11-97 ot 25 aprelya 1997 g.). Vveden 1 ijulja 1999 g.
2. Ocenivanie tehničeskogo sostojanija nasosnyh agregatov zapravochnogo oborudovanija raketno-kosmicheskih kompleksov na osnove logiko-lingvističeskijh modelej // Razvitie naučno-tehničeskijh aspektov metodologii ispytanij i jekspluatacii s celju povyšhenija jeffektivnosti primenenija sushhestvujushhih sredstv i sistem jeksperimentalno-ispytatelnoj bazy / A.M. Astankov, A.V. Spesivcev, V.V. Tipaev: sb. dokladov XXXI Mezghvedomstvennoj naučno-tehničeskoi konferencii. 2015. no. 1. pp. 57–63.
3. Pavlovskij Ju.N. Imitacionnoe modelirovanie: ucheb. posobie dlja stud. Vyssh. Ucheb. Zavedenij / Ju.N. Pavlovskij, N.V. Belotelov, Ju.I. Brodskij. M.: Izdatelskij centr «Akademija», 2008. 236 p.
4. Prohorovich V.E. Prognozirovanie sostojanija slozhnyh tehničeskijh kompleksov. SPb.: Nauka, 1999. 158 p.
5. Spesivcev A.V. Upravlenie riskami chrezvychajnyh situacij na osnove formalizacii jekspertnoj informacii. / Pod red. prof. V.S. Artamonova SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2004. 238 p.