

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

УДК 621.039:621.64:621.181

**ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ КАК ИНСТРУМЕНТ
УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБОРУДОВАНИЯ**

© 2014 г. И.Н. Веселова, В.Г. Бекетов

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

В статье предложен инструмент для оптимизации системы управления жизненным циклом оборудования. В качестве инструмента предложен диагностический паспорт, который должен заполняться на всех стадиях жизненного цикла оборудования. Для примера показана структура и состав диагностического паспорта электроприводной арматуры для АС.

Ключевые слова: управление жизненным циклом, диагностическое сопровождение, диагностический паспорт, электроприводная арматура, диагностические параметры.

Поступила в редакцию 30.11.2014 г.

Задачи управления жизненным циклом (УЖЦ) оборудования систем АС, как и для всей АС в целом, являются в настоящее время одними из главных, и проходящими через все компетенции системы «Росатом». Данные компетенции объединяют всех участников жизненного цикла АЭС – это проектирование-изготовление-монтаж-наладка-эксплуатация – вывод из эксплуатации. Непрерывная поддержка жизненного цикла заключается в оптимизации процессов обслуживания, ремонта, снабжения запасными частями и модернизации. Поскольку затраты на поддержку сложного оборудования в работоспособном состоянии часто равны или превышают затраты на его приобретение, то принципиальное сокращение «стоимости владения» обеспечивается инвестициями в создание системы поддержки жизненного цикла [1].

В качестве инструмента системы поддержки жизненного цикла АЭС предлагается диагностическое сопровождение, которое позволит способствовать решению (с большей эффективностью и с меньшими издержками) следующих основных задач:

- корректировка графиков обслуживания оборудования с учетом истории эксплуатации, тенденций изменения производительности, текущего состояния, внезапных изменений состояния;
- формирование заданий на ремонт с перечнем операций и назначением на каждую операцию необходимых материалов, запчастей;
- мониторинг состояния оборудования при эксплуатации;
- планирование, учет, контроль, анализ и регулирование регламентных ремонтных работ и/или ремонтов по состоянию объектов;
- управление конфигурацией оборудования;
- учет затрат по всем видам работ в привязке к конкретному оборудованию;
- назначение в задании требуемой квалификации персонала или конкретных сотрудников по каждой операции;
- определение параметров контроля качества при выполнении задания и автоматическое принятие управляющих воздействий в случае выхода контрольных параметров за установленные границы;

– просчет всех затрат, которые могут возникнуть в течение жизненного цикла оборудования, до его покупки.

Основным элементом диагностического сопровождения УЖЦ на всех стадиях является диагностический паспорт оборудования, основные принципы формирования которого изложены в статье [2,3,4].

При разработке диагностического паспорта за основу приняты нормативные требования регулирующих органов, которые позволяют выполнять эти разработки на межотраслевом уровне. В типовой форме диагностического паспорта на электроприводную арматуру приведены данные, выполненные на основе диагностирования, которые используются при оценке ее технического состояния.

Диагностический паспорт составлен на основании требований [5], где определено, что «Вновь разрабатываемая арматура по требованию эксплуатирующей организации должна быть приспособленной для подключения внешних средств технического диагностирования для непрерывного или периодического контроля технического состояния (в том числе состояния внутренних поверхностей). К классификационному обозначению арматуры, оснащенной встроенными средствами технического диагностирования, должна добавляться буква «D». В паспорте на изделие изготовитель должен указывать предельные значения диагностических параметров».

В данной статье приведены основные требования по составлению диагностического паспорта.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В таблицу 1 заносятся общие сведения об арматуре, при этом поля «xxxxx» заполняются на заводе-изготовителе, поля «zzzzz» – на предприятии (АЭС). Также в паспорт заносятся общий вид и основные размеры арматуры (рис. 1).

Таблица 1. – Общие сведения об арматуре

Объект диагностирования	Арматура электроприводная	Примечание
Наименование	Задвижка клиновая с выдвижным шпинделем	
Технологическая позиция	zzzzzzzz	Графа заполняется Заказчиком
Типоразмер	ПТ11075-600М-01	Графа заполняется Изготовителем
Тип привода	ПГ 06У2	Графа заполняется Изготовителем
Тип электродвигателя	МАП 122-4С	Графа заполняется Изготовителем
Предприятие-изготовитель арматуры	ОАО	Графа заполняется Изготовителем
ТУ на изготовление	26-07-1488-89	Графа заполняется Изготовителем
Дата изготовления	xxxxxx	Графа заполняется Изготовителем
Дата ввода в эксплуатацию	xxxxxx	Графа заполняется Заказчиком
Предприятие-владелец	zzzzzzzz	Графа заполняется Заказчиком
Цех	zzzzzzzz	Графа заполняется Заказчиком
Технологическая система	zzzzzzzz	Графа заполняется Заказчиком
Место установки	zzzzzzzz	Графа заполняется Заказчиком
Встроенные средства технического диагностирования	xxxxxxx	Графа заполняется Изготовителем

2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

В таблице 2 фиксируются основные технические характеристики, используемые при оценке технического состояния арматуры с электроприводом как комплектного изделия, прошедшего испытания и готового к эксплуатации.

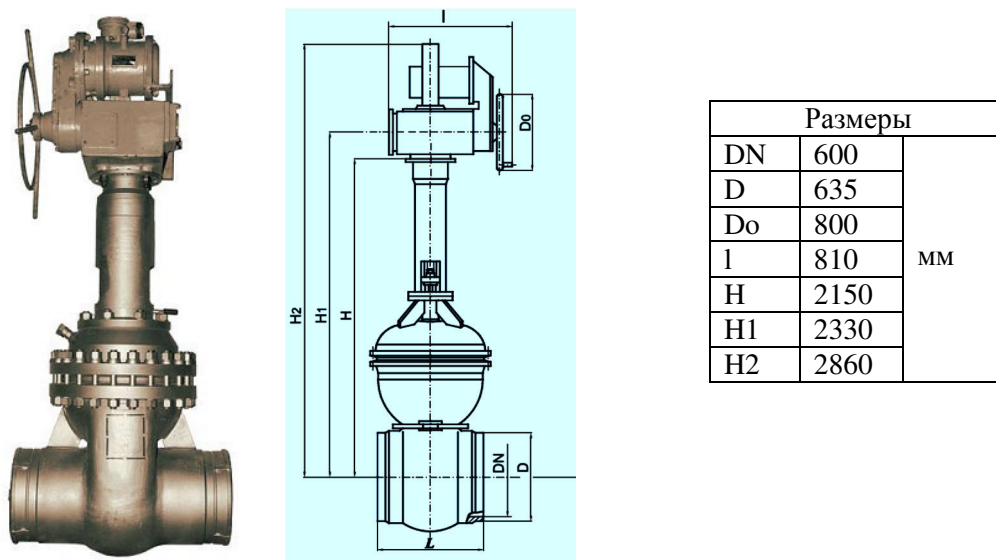


Рис. 1. – Общий вид арматуры и основные размеры

Таблица 2. – Основные технические характеристики арматуры

Арматура ПТ11075-600М-01		Примечание
Класс безопасности по НП-001-97	2	
....		
Допустимая величина протечки, л/час	xxx	
Электропривод ПГ 06У2		
Пределы регулирования крутящего момента/мощности (тока), Н·м/кВт(А)	от 1000 до 2500	Графа заполняется изготовителем по данным испытаний
Величина крутящего момента/мощности (тока) отключения моментного выключателя при ходе на «открытие», Нм/кВт(А)		
Величина крутящего момента/мощности (тока) отключения моментного выключателя при ходе на «закрытие», Нм/кВт(А)		
....		
Электродвигатель МАП 12		
Номинальная мощность, кВт	7,5	
...		

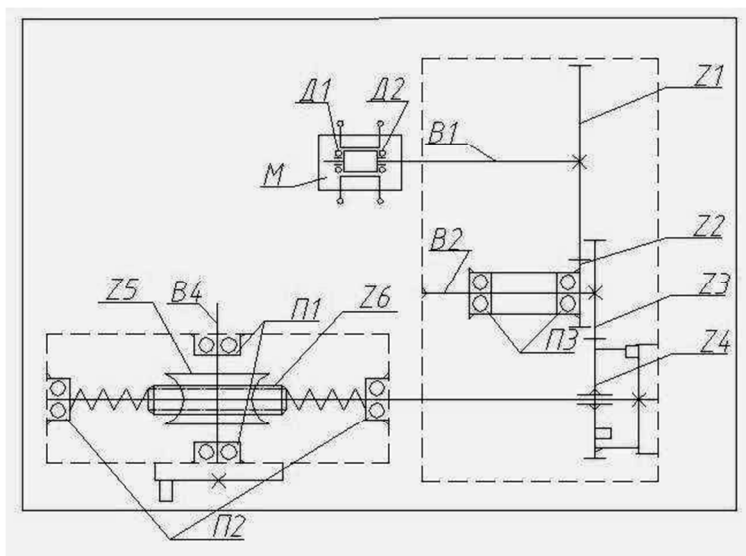
В таблицу 3 заносятся диагностические данные арматуры с электроприводом, графики измерений сопровождаются файлами для возможности последующего контроля.

Таблица 3. – Диагностические данные арматуры

Арматура ПТ11075-600М-01 с электроприводом ПГ 06У2	
Опорные (эталонные) сигналы токовой (мощностной) при сухой прокрутке и номинальном P_p	Прикладываются в виде графика и файла измерений (Раздел 5)
Опорный спектр токового (мощностного) сигнала	Прикладываются в виде графика и файла измерений (Раздел 6)
Калибровочная кривая зависимости активной мощности и крутящего момента	Прикладывается в виде графика и таблицы измерений (Раздел 7)
Данные измерений работы концевых выключателей	Прикладывается в виде графика, таблицы измерений, файла измерений (Раздел 7)

3. КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Приводится кинематическая схема электропривода (рис. 2), фиксируются типоразмеры подшипников (табл. 4).

**Рис. 2.** – Кинематическая схема электропривода

М – электродвигатель; Д1, Д2 – подшипники электродвигателя; П1, П2, П3 – подшипники редуктора электропривода; В1, В2, В4 – валы; Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 – зубчатые колеса редуктора электропривода.

Таблица 4. – Типоразмеры подшипников

Обозначение подшипника	П1	П2	П3	Д1, Д2
Тип подшипника	130	7510	204	306
НД	ГОСТ 8338-75	ТУ 37.006.162-89	ГОСТ 8338-75	ГОСТ 8338-75

Дополнительно определяются параметры зубозацепления редуктора (табл. 5). На основании табличных данных производится расчет характерных частот элементов электропривода [6].

Таблица 5. – Параметры зубозацепления редуктора

Обозначение зубчатого колеса	Z1	Z2	Z3	Z4	Z6	Z7
Число зубьев в колесе	25	35	43	42	28	1
Модуль	4	4	4	4	10	10

4. ЧАСТОТНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Вычисляются расчетные значения частотных составляющих элементов привода, определяемые для номинальных (паспортных) параметров и для фактических, с учетом частоты скольжения (табл. 6).

Таблица 6. – Частотные составляющие кинематической схемы электропривода

Наименование параметров		Частота, Гц	
		Расчетная	Фактическая
Элементы эл/двигателя	Наружное кольцо подшипника Д1, Д2	9,5	8,8
	Внутреннее кольцо подшипника Д1, Д2	75,9	70,8
	Тела качения подшипника Д1, Д2	124,1	115,8
	Сепаратор подшипника Д1, Д2	48,8	45,6
Элементы привода		

В дальнейшем, значения частотных составляющих оцениваются при спектральном анализе токовых (мощностных) сигналов, в сравнении с опорным спектром (раздел 6).

5. ОПОРНЫЕ СИГНАЛЫ ТОКОВОЙ (МОЩНОСТНОЙ) НАГРУЗКИ

Приводятся опорные сигналы токовой (мощностной) нагрузки, полученные при регистрации параметров питающей сети при прокрутке арматуры по циклу открытие-закрытие на стенде завода-изготовителя. На кривых определяются реперные точки (рис. 3).

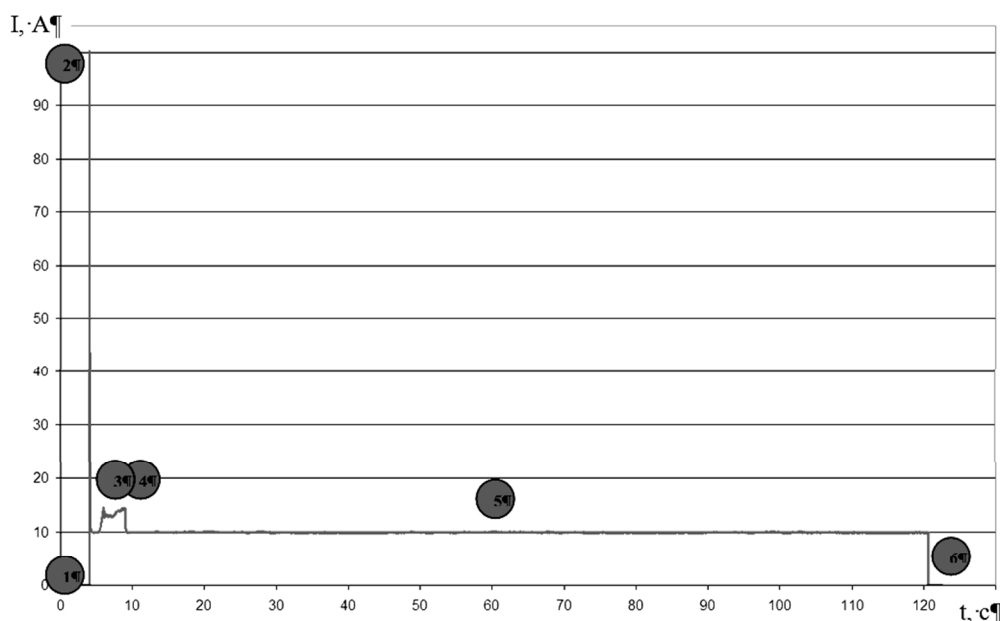


Рис. 3. – Опорный сигнал токовой нагрузки при работе арматуры на открытие
 1 – начало работы привода; 2 – максимум пускового тока; 3 – начало разуплотнения затвора (срыв);
 4 – начало открытия проходного сечения арматуры; 5 – участок установившегося движения;
 6 – окончание работы привода

Рабочий ход на открытие – определение реперных значений на кривой токовой нагрузки.

При прокрутке арматуры на стенде завода-изготовителя фиксируются значения контрольных точек, данные заносятся в таблицу 7, и назначаются эталонными точками для данной арматуры при работе на открытие. Аналогично фиксируются значения контрольных точек на закрытие.

Таблица 7. – Значения контрольных точек

Параметр	Диагностические параметры	Ед. измерения	Значение	Примеч.
Время рабочего хода на открытие	$t_6 - t_1$	с	116,6	Таблица может быть заполнена заказчиком на основании заводских сигналов
Пусковой ток	I_2	А	100,2	
Ток «срыва» запорного органа	I_3	А	14,6	
Время разуплотнения	$t_4 - t_3$	с	2,9	
Рабочий ток	I_5	А	10,2	

6. ОПОРНЫЙ СПЕКТР ТОКОВОГО (МОЩНОСТНОГО) СИГНАЛА

Приводится опорный спектр токового (мощностного) сигнала на закрытие (открытие) арматуры. На спектре, с использованием данных таблицы 4, определяются реперные точки, характеризующие работу элементов электропривода (рис.4). Значения частоты и амплитуды реперных точек заносятся в таблицу 8. Зафиксированные на опорном спектре значения амплитуд реперных точек назначаются эталонными для данной арматуры.

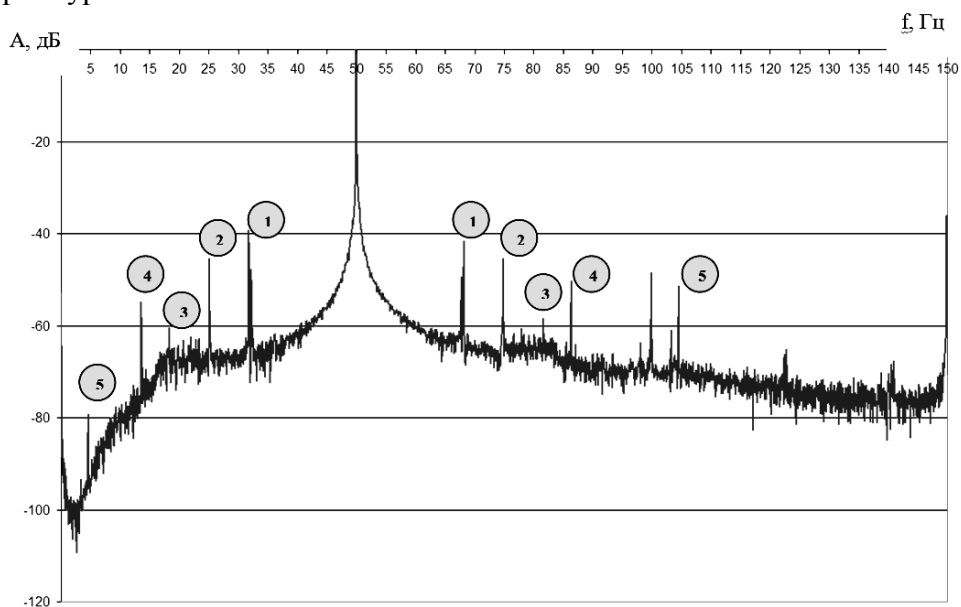


Рис. 4. – Опорный спектр мощностного сигнала

1 – частота зацепления червяк-червячный вал; 2 – частота вращения вала электродвигателя;
3 – двойная оборотная частоты зацепления червяк-червячный вал; 4, 5 – частота работы подшипника ПЗ

Отсутствие в спектре других частот, характеризующих работу остальных элементов привода, указывает на то, что эти элементы работают без аномальных

нагрузок. Элементы, частоты которых зафиксированы, работают в допустимой, на момент испытаний, рабочей зоне. В дальнейшем, при регистрации сигналов питающей сети при управлении арматурой, будут оцениваться изменения (увеличение) величины амплитуды реперных точек.

Таблица 8. – Значения частоты и амплитуды реперных точек

Параметр	Точка	Значение				Примеч.
		Ед.изм	Частота	Ед.изм	Ампл.	
Частота зацепления червяк-червячный вал	1	Гц	18,2	Дб	- 42,4	Таблица может быть заполнена заказчиком на основании заводских сигналов
Частота вращения вала электродвигателя	2		24,9		- 45,4	
Двойная оборотная частоты зацепления червяк-червячный вал	3		36,4		- 50,2	
Частота работы подшипника ПЗ	4, 5		53,3 – 54,5		- 51,4	

7. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

1) Для определения взаимосвязи между электрическими и механическими величинами, производится измерение характеристик крутящего момента электропривода и соответствующих характеристик параметров питающей сети (активная и реактивная мощность, $\cos(\varphi)$, сила тока).

2) Результаты измерений производятся для ряда из не менее пяти точек, включающих минимальное и максимальное значение крутящего момента электропривода, измеренных на стенде, задающим момент на фланце электропривода, в обоих направлениях «открытие» и «закрытие».

3) Результаты используются для получения зависимости $M_{кр} = f(P_{акт})$, где функционал f представлен кусочно-линейной функцией. Данный функционал в табличном виде фиксируется в протоколе испытаний и применяется через специализированное программное обеспечение для получения $M_{кр}$ по результатам измерений $P_{акт}$ (рис. 5).

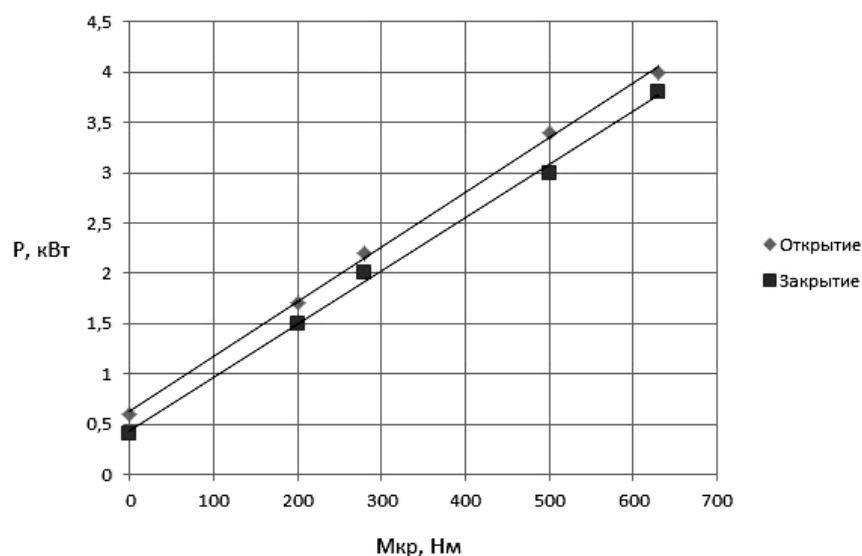


Рис. 5. – Параметрическая кривая зависимости $M_{кр} = f(P_{акт})$ (определяется для направлений «открытие» и «закрытие» отдельно)

4) Для контроля диаграммы (рис. 6) работы концевых выключателей и проверки настройки выключателей в соответствии с ТУ на арматуру, используются данные работы концевых выключателей, полученных при измерении переносными средствами или (при наличии) – данных из систем АСУ.

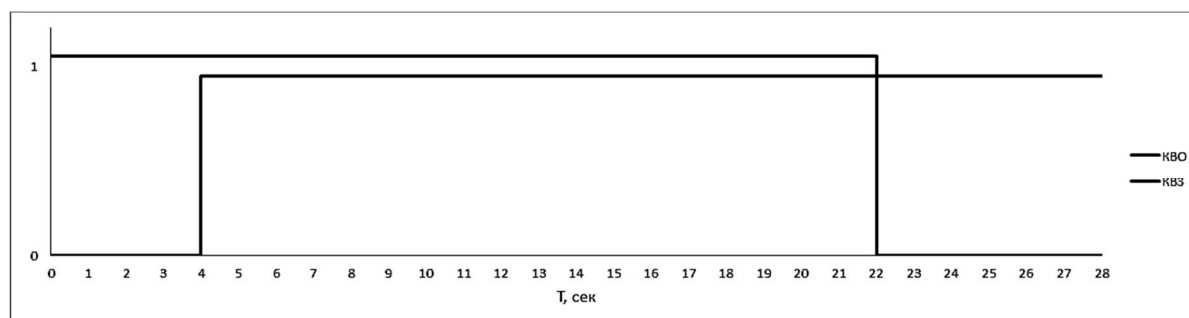


Рис. 6. – Диаграмма срабатывания концевых выключателей, регистрируемых в дискретном виде

8. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ФОРМИРОВАНИЮ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАСПОРТА

1) Регистрацию сигналов питающей сети выполнять при прокрутке арматуры на полный ход не менее 5 циклов. Открытие-закрытие выполнять на специализированном стенде, при наличии среды, с параметрами (среда, давление, температура, расход), аналогичными эксплуатационным.

2) Регистрацию сигналов осуществлять с использованием программно-технических средств.

3) К диагностическому паспорту должен быть приложен файловый архив на USB-носителе (CD-диске), содержащий зарегистрированные в ходе испытаний сигналы параметров питающей сети в формате, поддерживаемом техническими средствами диагностирования заказчика.

4) Метрологическое обеспечение средств технического диагностирования должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.565, ГОСТ Р 8.596 и РД ЭО 0318.

5) Оценку герметичности проводить в соответствии с ГОСТ Р 53402-2009, ГОСТ Р 54808-2011 или иным, аттестованным в установленном порядке методикам. Данные заносить в паспорт.

ВЫВОД

Диагностический паспорт, разрабатываемый на этапе проектирования и постоянно обновляемый по результатам диагностических обследований на этапах изготовления, монтажа и эксплуатации будет являться действительным документальным подтверждением эксплуатационной готовности оборудования на всех этапах его жизненного цикла.

При использовании такого инструмента, как диагностический паспорт, проектировщики, изготовители, монтажники, наладчики и эксплуатирующие организации получают следующие преимущества:

- накопление данных и возможность их анализа по результатам монтажа, наладки и работы оборудования;
- на основе выявленных недостатков, своевременное улучшение конструкции и технологии изготовления, монтажа, наладки и эксплуатации оборудования;
- сокращение сроков проведения ремонтов и, соответственно, уменьшение денежных затрат на их проведение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Садовская, Т.Г. и др.* Системы управления жизненным циклом изделий и возможности их применения в отрасли энергетики. [Текст] / Т.Г. Садовская, Т.Н. Чернышова // Аудит и финансовый анализ. – 2010. – №6. – С. 1–14.
2. *Веселова, И.Н. и др.* Разработка диагностического паспорта электроприводной арматуры. [Текст] / И.Н. Веселова, А.К. Адаменков // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2006. – Прил. №16. – С. 71–76.
3. *Веселова, И.Н. и др.* Диагностика технического состояния электроприводной арматуры. [Текст] / Веселова И.Н., А.К. Адаменков // Электр. станции. – 2007. – №2. – С. 53–56.
4. Веселова, И.Н. и др. Метод выбора трубопроводной арматуры АЭС, подлежащей ремонту по техническому состоянию [Текст] / И.Н. Веселова, А.К. Адаменков // Тяжелое машиностроение. – 2008. – №10. – С. 8–11.
5. НП-068-05. Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования [Текст]. – [Б.м., б.г.].
6. *Розенберг, Г.Ш. и др.* Вибродиагностика [Текст] / Г.Ш. Розенберг, Е.З. Мадорский, Е.С. Голуб. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.

Diagnostic Certificate as a Controlling Instrument of Equipment Life Cycle

I.N. Veselova*, V.G. Beketov**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360 *e-
mail: INVeselova@mail.ru ; ** e-mail: VGBeketov@mephi.ru*

Abstract – The instrument for optimization of a control system of equipment life cycle is offered in article. The diagnostic certificate which has to be filled in at all stages of equipment life cycle is offered as the instrument. The structure of the diagnostic certificate of NPP motorized fittings is shown as an example.

Keywords: life cycle control, diagnostic support, diagnostic certificate, motorized fittings, diagnostic parameters.

REFERENCES

- [1] Sadovskaja T.G., Chernyshova T.N. Sistemy upravlenija zhiznennym ciklom izdelij i vozmozhnosti ih primeneniya v otrasli jenergetiki [Control systems of life cycle of products and possibility of their application in branch of power.]. Audit i finansovyj analiz [Audit and the financial analysis]. 2010, №6, ISSN 0236-2988, pp. 1–14. (in Russian)
- [2] Veselova I.N., Adamenkov A.K. Razrabotka diagnosticheskogo pasporta jelektroprivodnoj armatury [Development of electrodriving fitting diagnostic passport]. Izv. vuzov Sev.-Kavk. region. Tehn. Nauki [News of higher education institutions of North Caucasus region Technical science]. 2006, Pril. №16[Application № 16]. ISSN 0321-2653, pp. 71–76 (in Russian)
- [3] Veselova I.N., Adamenkov A.K. Diagnostika tehničeskogo sostojanija jelektroprivodnoj armatury [Diagnostics of technical condition of electrodriving fittings]. Jelektr. Stancii [Power plants]. 2007, №2, ISSN 0201-4564, pp. 53–56. (in Russian)
- [4] Veselova I.N., Adamenkov A.K. Metod vybora truboprovodnoj armatury AJeS, podlezhashhej remontu po tehničeskomu sostojaniju [Method of a choice of the NPP pipeline fittings which is subject to repair on technical condition]. Tjazheloe mashinostroenie [Heavy mechanical engineering]. 2008, №10, ISSN 1024-7106, pp. 8–11. (in Russian)
- [5] NP-068-05. Truboprovodnaja armatura dlja atomnyh stancij. Obshhie tehničeskie trebovanija [NP-068-05. Pipeline fittings for nuclear power plants. General technical requirements]. (in Russian)
- [6] Rozenberg G.Sh., Madorskij E.Z., Golub E.S. Vibrodiagnostika [Vibration diagnostics]. SPb. Pub. PJeIPK [Petersburg Power Institute Professional Development], 2003, 284 p. (in Russian)