

ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 64.011.44:658.583:621.646:621.039

ОПТИМИЗАЦИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ В  
ПЕРИОД ПНР НА СТРОЯЩИХСЯ ЭНЕРГБЛОКАХ АЭС

© 2020 З.О. Кавришвили, В.Л. Рачков

Ростовский филиал «Ростоватомтехэнерго» АО «Атомтехэнерго», Волгодонск-28,  
Ростовская обл., Россия

В статье рассматриваются вопросы необходимости технического диагностирования запорно-отсечной электроприводной арматуры и применяемые методы оценки ее технического состояния. Кроме того, раскрывается подход к организации пусконаладочных работ (ПНР), связанных с настройкой электроприводной арматуры (ЭПА), основанный на их совмещении с диагностическим сопровождением, позволяющим повысить качество и эффективность автономной и комплексной наладки, а также повысить результативность технического руководства гидравлическими испытаниями и сократить их длительность.

*Ключевые слова:* электроприводная арматура, техническая диагностика, оценка технического состояния, пусконаладочные работы, эффективность, автономная наладка, комплексная наладка.

Поступила в редакцию 06.05.2020

После доработки 14.07.2020

Принята к публикации 23.07.2020

Необходимость технического диагностирования ЭПА, функционирующей в технологических системах энергоблоков АЭС, на всех этапах жизненного цикла оборудования (рис. 1) регламентирована рядом руководящих отраслевых документов [1, 2, 3].

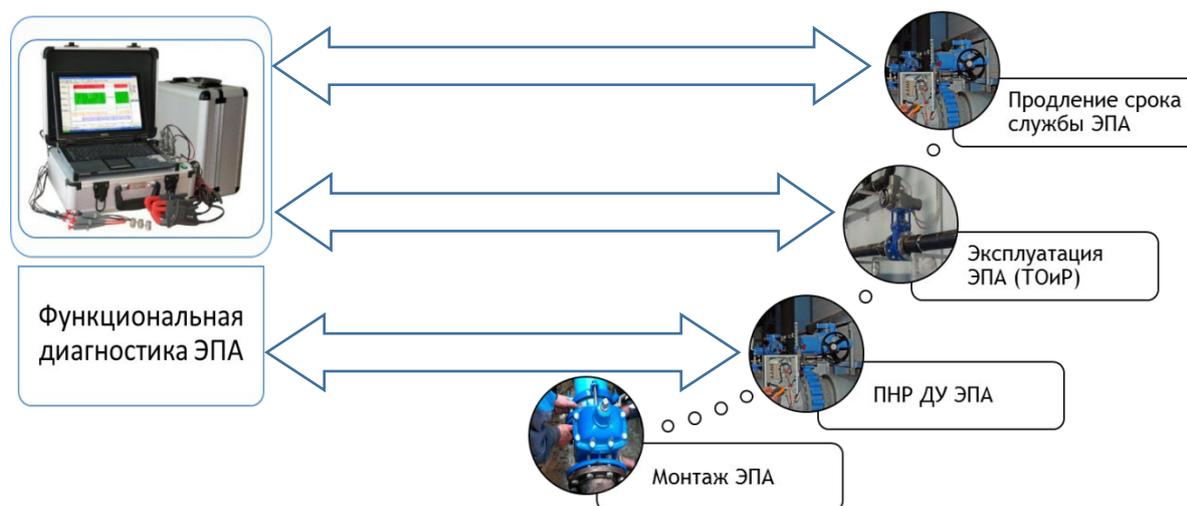


Рисунок 1 – Необходимость диагностирования на всех стадиях жизненного цикла ЭПА [The need for diagnostics at all stages of the life cycle of electric actuated valves]

Специалисты-диагносты Ростовского филиала «Ростоватомтехэнерго» акционерного общества «Атомтехэнерго» (РАТЭ), выполняя работы по диагностированию ЭПА в рамках сопровождения ПНР (наладка дистанционного управления ЭПА (ДУ ЭПА), осуществляемая специалистами цеха ТАИ, гидравлические испытания (ГИ) трубопроводных систем энергоблока, выполняемые под техническим руководством технологов АО «Атомтехэнерго») на энергоблоке №3 Ростовской АЭС получили ценный опыт, который позволил в полной мере реализовать подход по обеспечению эффективной диагностики ЭПА в период ПНР энергоблока №4 Ростовской АЭС.

В объеме технической диагностики ЭПА применялось два метода неразрушающего контроля, позволяющих наиболее полно и точно оценить техническое состояние настраиваемой ЭПА (рис. 2):

1) диагностика по параметрам питающей сети (ток, напряжение, активная мощность) [4, 5];

2) контроль герметичности по акустическим сигналам в ультразвуковой (УЗ) области спектра [6].

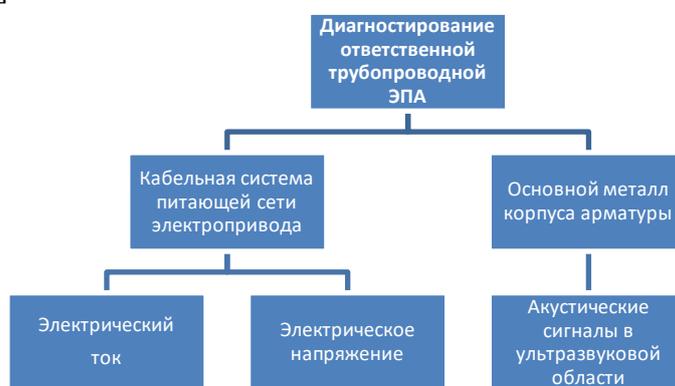


Рисунок 2 – Методы диагностирования ЭПА, примененные на энергоблоке №4 Ростовской АЭС [Electric actuated valve diagnostic methods applied at power unit No. 4 of Rostov NPP]

Рассмотрим виды ПНР, которые касаются наладки и оценки работоспособности ЭПА, а также кратко обозначим объем диагностирования, производимый в ходе их традиционного выполнения:

1) ПНР ДУ ЭПА предполагает выполнение автономной, а затем и комплексной наладки ДУ ЭПА [1], без диагностического сопровождения или диагностирование ЭПА по электрическим сигналам после наладочных операций;

2) техническое руководство проведением ГИ систем [7] (т.е. руководство проверкой прочности и плотности смонтированных трубопроводов и оборудования посредством опрессовки и контроля скорости снижения давления в системе) производится без привлечения средств и методов технической диагностики.

Рассмотрим недостатки ПНР ДУ ЭПА при традиционном подходе:

– без диагностического сопровождения – дефекты изготовления (заводские), монтажа и наладки могут быть не выявлены длительное время;

– при выполнении диагностирования ЭПА после наладочных операций:

а) выдаются заключения о работоспособном или неработоспособном состоянии ЭПА и рекомендации по устранению дефектов (дополнительной настройке концевых или моментных выключателей (КВ или МВ), изменению алгоритма работы «открытие-закрытие», необходимости ревизии механической части ЭПА, замены электропривода и т.д.);

б) бригада наладчиков цеха ТАИ повторно допускается на работы и выполняет наладку ДУ ЭПА;

в) процесс повторяется (рис. 3).

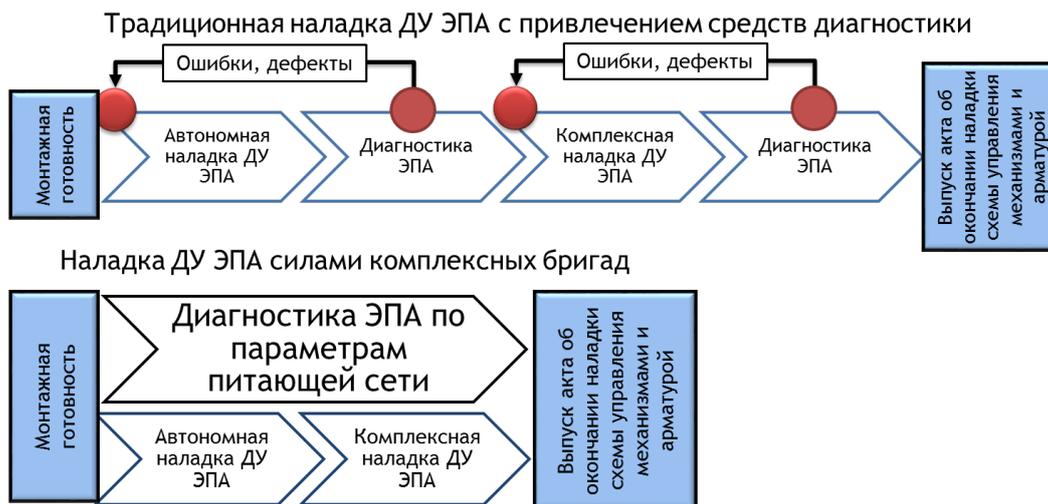


Рисунок 3 – Комплексные бригады, как средство оптимизации сроков ПНР ДУ ЭПА [Complex brigades as a means of optimization of the commissioning period in adjustment of remote control of electric actuated valves]

Все это приводит к снижению качества наладочных работ, производственным потерям и затягиванию сроков наладки ДУ ЭПА. Кроме того, иногда возникают ситуации, когда из-за наличия заводских или монтажных дефектов ЭПА может заклинить в промежуточном положении и получить повреждения по причине высокого крутящего момента.

С целью снижения риска повреждения налаживаемого оборудования, а также сокращения сроков выполнения ПНР ДУ ЭПА, было решено ввести в состав бригады работников цеха ТАИ, налаживающих ДУ ЭПА, специалиста-диагноста, который будет выявлять в режиме реального времени следующие проблемы:

- события, приводящие к выходу из строя ЭПА (механическое заклинивание, перегрузка по току и др.);
- несоответствие силовых характеристик электропривода арматуре (избыточный/недостаточный вращающий момент);
- ошибочный алгоритм открытия-закрытия;
- неполный ход (недооткрытие/недозакрытие);
- низкую плавность хода;
- ошибочную настройку МВ;
- и прочие дефекты (рис. 4).

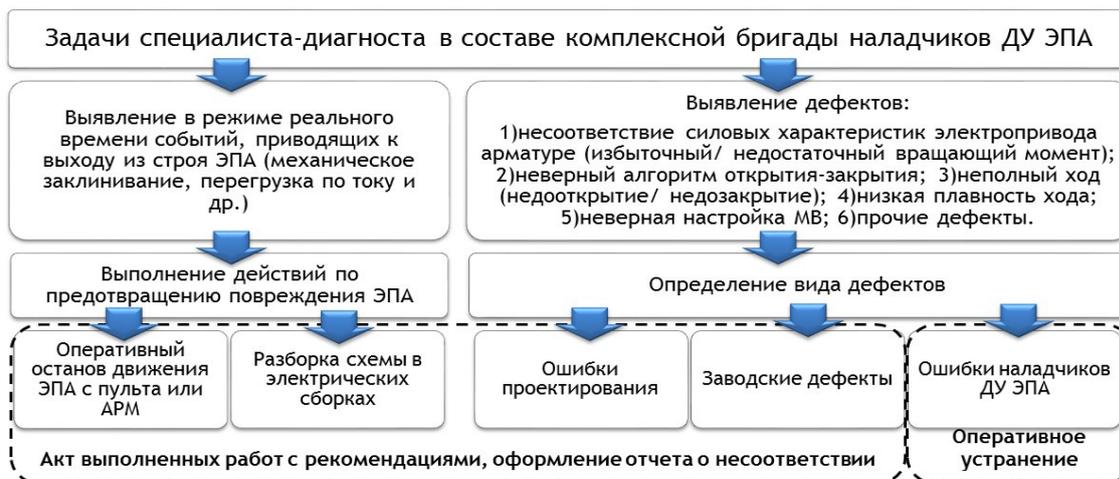


Рисунок 4 – Функции диагноста, участвующего в работе бригады наладчиков ДУ ЭПА [Functions of a diagnostician participating in the work of a team of adjusters for setting up remote control of electric actuator valves]

Для получения адекватной оценки вращающего момента при уплотнении ЭПА было принято решение вместе с циклограммой действующего значения тока производить регистрацию циклограммы активной мощности. Необходимость этого была установлена во время ПНР энергоблока №3 Ростовской АЭС, когда по циклограммам тока выдавались ошибочные заключения об отсутствии уплотнения при закрытии запорно-отсечной ЭПА. Т.е. специалист-диагност не видел увеличения уровня токового сигнала при уплотнении относительно значения тока при рабочем ходе арматуры и выдавал рекомендации об изменении настроек моментных выключателей электропривода в сторону увеличения уплотняющего момента, в то же время наладчик, наблюдающий за фактической работой ЭПА по месту ее монтажа, отмечал наличие сильного металлического скрежета при закрытии, что свидетельствовало о наличии уплотнения с большим крутящим моментом [8, 9, 10].

Таким образом, дальнейшее диагностирование ЭПА выполнялось с регистрацией тока  $I$ , напряжения  $U$  и расчетом активной мощности  $P_{\text{акт}}$ . В результате было установлено, что на рабочих токах близких к номинальным, при уплотнении арматуры с усилием, наблюдается не снижение или даже спад уровня действующего значения тока  $I$ , в то время как циклограмма активной мощности  $P_{\text{акт}}$  показывает рост потребляемой мощности, что свидетельствует об увеличении вращающего момента (рис. 5).

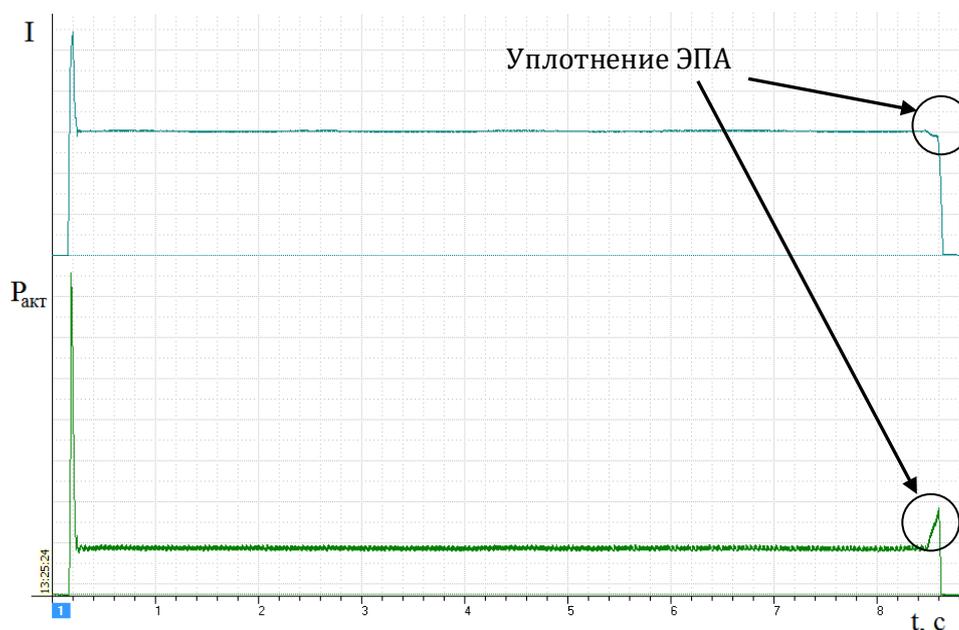


Рисунок 5 – Циклограммы тока и активной мощности при закрытии запорной ЭПА [Cyclograms of current and active power when closing electric shut-off valves]

Этот эффект имеет место вследствие увеличения коэффициента мощности  $\cos\varphi$ , говорящего о том, что сдвиг фаз между сигналами тока и напряжения уменьшается из-за уменьшения реактивной составляющей электрической цепи [11].

Регистрация циклограмм активной мощности  $P_{\text{акт}}$  позволила выполнять приближенную оценку значения вращающего момента  $M_{\text{вр}}$  при уплотнении, при котором срабатывают моментные выключатели (с относительной погрешностью около 30-35%). Увеличение точности оценки вращающего момента возможно за счет использования калибровочных характеристик зависимостей  $P_{\text{акт}}(M_{\text{вр}})$ , полученных с помощью стенда для испытания электроприводов АТЭ ТС-3000 [5, 10, 12].

Создание комплексной бригады (диагност и наладчики ДУ ЭПА), а также переход на контроль уплотняющего момента по активной мощности позволил:

- сократить трудозатраты на наладку 1 единицы ЭПА в среднем до 40%;
- повысить качество выполняемых работ, которое подтверждается заключением диагностических протоколов;
- снизить риски повреждения ЭПА при наладке ДУ практически до нулевого уровня.

Рассмотрим диагностическое сопровождение в ходе технического руководства выполнением ГИ трубопроводов. В случае выявления негерметичности системы традиционно применяются следующие приемы:

- внешняя негерметичность сварных швов и фланцевых соединений выявляется путем визуального осмотра;
- локализация внутренней негерметичности запорного органа ЭПА [13] производится последовательным отсечением граничных трубопроводов с помощью дублирующей запорной арматуры. Данный процесс занимает длительное время и не всегда реализуем, т.к. дублирующая запорная арматура может то же быть негерметичной или отсутствовать.

Таким образом, при традиционном проведении ГИ, в случае неуспешной опрессовки, длительное время затрачивается на поиск негерметичных элементов системы.

В АО «Концерн Росэнергоатом» в 2012 г. были официально введены отраслевые методические указания по диагностированию герметичности затворов трубопроводной арматуры [6]. В связи с этим было принято решение о формировании группы специалистов-диагностов, выполняющих контроль герметичности ЭПА при проведении ГИ. Работы выполнялись с применением УЗ локатора Ultraprobe 3000 [14], который позволял регистрировать уровень интенсивности УЗ акустических сигналов в диапазоне частот от 20 до 60 кГц (рис. 6).

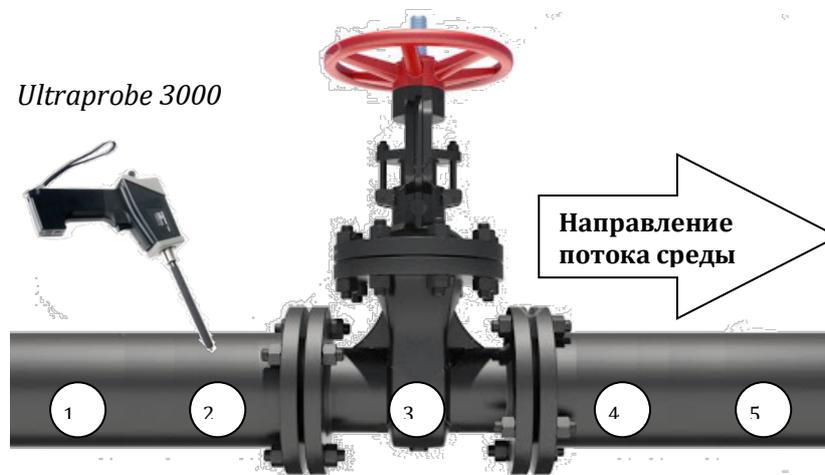


Рисунок 6 – Последовательность и схема измерений уровня УЗ акустических сигналов: 1, 2, 3, 4, 5 – точки контроля уровня УЗ акустических сигналов [Sequence and scheme of measuring the level of ultrasonic acoustic signals: 1, 2, 3, 4, 5 - control points of the level of ultrasonic acoustic signals]

Присутствие диагноста, имеющего навыки и технические средства диагностики для оперативного выявления негерметичных элементов испытываемой системы, позволило сократить временные затраты на проведение ГИ в среднем на 30%.

#### **Выводы**

1. Встраивание технической диагностики в процесс ПНР позволяет:
  - 1) повысить эффективность диагностического сопровождения;
  - 2) сократить временные затраты на достижение критериев успешности ПНР,

за счет оперативного выявления и устранения недоработок/дефектов заводов-изготовителей, проектных и монтажных организаций, а также ошибок персонала пусконаладочной организации.

2. Введение специалистов-диагностов в состав бригад цеха ТАИ (наладка ДУ ЭПА) и технологических подразделений (техническое руководство проведением ГИ) способствует повышению качества наладки оборудования, передаваемого Заказчику, оптимизации сроков выполняемых работ (т.е. сокращению времени выполнения при сохранении требуемого уровня качества), а также предотвращению случаев повреждения оборудования в ходе выполнения ПНР.

3. Использование активной мощности при диагностике ЭПА по параметрам питающей сети открыло возможность выполнения косвенной количественной оценки уплотняющего момента при закрытии ЭПА.

4. Использование акустических сигналов в УЗ области при контроле герметичности запорной арматуры является перспективным методом, который имеет потенциал для перехода от качественной оценки протечек (есть протечка или нет) к количественной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 1.1.1.03.003.0914-2013. Ввод в эксплуатацию блоков атомных станций с водо-водяными энергетическими реакторами. Порядок выполнения и приемки пусконаладочных работ на АСУ ТП (с изм.1-5) / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2020.
2. РД ЭО 0648-2005. Положение о техническом диагностировании электроприводной трубопроводной промышленной арматуры на энергоблоках атомных станций / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2005.
3. РД ЭО 1.1.2.01.0190-2010. Положение по оценке технического состояния и остаточного ресурса трубопроводной арматуры энергоблоков атомных станций (с изм. 1-4) / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2016.
4. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010. Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2012.
5. МТ 1.2.1.15.1175-2016. Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры. Методика / АО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2017.
6. МУ 1.2.3.07.0049-2011. Методические указания по диагностированию герметичности затворов трубопроводной арматуры. Метод ультразвукового обследования / ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2012.
7. НП-089-15. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – Москва, 2017.
8. *Матвеев, А. В.* Диагностирование арматуры с электроприводом при помощи параметров активной мощности / А. В. Матвеев, А. Ф. Складников // Арматуростроение. – 2009. – №3(60). – С. 67-71.
9. Комплексный подход к диагностированию электроприводной арматуры применительно к задачам управления ресурсом / А.В. Матвеев [и др.] // Арматуростроение. – 2009. – № 2(59). – С. 53-58.
10. Дроботов, А. В. Метод диагностирования электроприводной арматуры с контролем диагностических параметров и опыт его применения на Смоленской АЭС / А. В. Добров // Арматуростроение. – 2008. – № 1(52). – С. 52-60.
11. ГОСТ ИЕС 60034-1-2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва, 2015.
12. Испытания стендов «Крона-517» и «АТЭ ТС-3000». – НПК «Крона». – URL : <http://npk-krona.ru/2015/03/ispytaniya-stendov-krona-517-i-ate-ts-3000> (дата обращения: 01.04.2020).
13. ОТТ 1.3.3.99.0141-2012. Арматура трубопроводная технологических систем атомных станций, не влияющая на безопасность. Общие технические требования. – ОАО «Концерн Росэнергоатом». – Москва, 2013.
14. Ultraprobe 3000. Руководство по эксплуатации. – UE Systems. – URL : <http://docplayer.ru/86731767-Ultraprobe-3000-rukovodstvo-po-ekspluatatsii.html> (дата обращения: 01.04.2020).

## REFERENCES

- [1] STO 1.1.1.03.003.0914-2013 Vvod v ekspluatatsiyu blokov atomnykh stantsiy s vodo-vodyanymi energeticheskimi reaktorami. Poryadok vypolneniya i priyemki puskonaladochnykh работ на ASU TP (s izm.1-5). OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Commissioning of Nuclear Power Plant Units with Water-Water Power Reactors. Procedure for Performing and Accepting Commissioning Works at the Automated Control System of the TP. Rosenergoatom Concern]. – Moskva [Moscow]. 2020 (in Russian).
- [2] RD EO 0648-2005 Polozheniye o tekhnicheskoy diagnostirovaniy elektropriwodnoy truboprovodnoy promyshlennoy armatury na energoblokakh atomnykh stantsiy. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Provision of Technical Diagnosing of Electrically Driven Industrial Pipeline Valves for Power Units of Nuclear Power Plants. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2005 (in Russian).
- [3] RD EO 1.1.2.01.0190-2010 Polozheniye po otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya i ostatochnogo resursa truboprovodnoy armatury energoblokov atomnykh stantsiy (s izm. 1-4). OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Regulation on the Assessment of the Technical Condition and Residual Life of Pipeline Valves of Nuclear Power Units. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2016 (in Russian).
- [4] MT 1.2.3.02.999.0085-2010 Diagnostirovaniye truboprovodnoy elektropriwodnoy armatury. Metodika. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Diagnostics of Pipeline Electric Drive Valves. Methodology. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2012 (in Russian).
- [5] MT 1.2.1.15.1175-2016 Diagnostirovaniye truboprovodnoy elektropriwodnoy armatury. Metodika. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Diagnostics of Pipeline Electric Drive Valves. Methodology. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2017 (in Russian).
- [6] MU 1.2.3.07.0049-2011 Metodicheskiye ukazaniya po diagnostirovaniyu germetichnosti zatvorov truboprovodnoy armatury. Metod ul'trazvukovogo obsledovaniya. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Methodical Instructions on Diagnostics of the Tightness of Valves Pipeline Valves. Method of Ultrasound Examination. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2012 (in Russian).
- [7] NP-089-15 Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii oborudovaniya i truboprovodov atomnykh energeticheskikh ustanovok. Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomy i atomnomu nadzoru [Rules for the Device and Safe Operation of Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision]. Moskva [Moscow]. 2017 (in Russian).
- [8] Matveev A.V., Sludnikov A.F. Diagnostirovaniye armatury s elektropriwodom pri pomoshchi parametrov aktivnoy moshchnosti [Diagnostics of Valves with Electric Actuator Using the Parameters of Active Power]. *Armaturostroyeniye [Armature Construction]*. 2009. 3(60). P. 67-71 (in Russian).
- [9] Matveev A.V. [et al.] Kompleksnyy podkhod k diagnostirovaniyu elektropriwodnoy armatury primenitel'no k zadacham upravleniya resursom [Complex Approach to Diagnostics of Electric Drive Valves in Relation to Resource Management Tasks] *Armaturostroyeniye [Armature Construction]*. 2009. 2 (59). P. 53-58 (in Russian).
- [10] Drobotov A.V. Metod diagnostirovaniya elektropriwodnoy armatury s kontrolem diagnosticheskikh parametrov i opyt yego primeneniya na Smolenskoy AES [Method of Diagnostics of Electric Drive Valves with Control of Diagnostic Parameters and Experience of its Application at the Smolensk NPP]. *Armaturostroyeniye [Armature Construction]*. 2008. 1(52). P. 52-60 (in Russian).
- [11] GOST IEC 60034-1-2014 Mashiny elektricheskoye vrashchayushchiesya. Chast' 1. Nominal'nyye znacheniya parametrov i ekspluatatsionnyye kharakteristiki. Federal'noye agentstvo po tekhnicheskomy regulirovaniyu i metrologii [Electric Rotating Machines. Part 1. Nominal Values of Parameters and Operational Characteristics. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology]. Moskva [Moscow]. 2015 (in Russian).
- [12] Ispytaniya stendov «Krona-517» i «ATE TS-3000». NPK «Krona» [Tests of Stands Krona-517 and ATE TS-3000 / NPC «Krona»]. URL: <http://npk-krona.ru/2015/03/ispytaniya-stendov-krona-517-i-ate-ts-3000> (in Russian).
- [13] OTT 1.3.3.99.0141-2012 Armatura truboprovodnaya tekhnologicheskikh sistem atomnykh stantsiy, ne vliyayushchaya na bezopasnost'. Obshchiye tekhnicheskoye trebovaniya. OAO «Kontsern Rosenergoatom» [Pipeline Fittings for Technological Systems of Nuclear Power Plants that Do Not Affect Safety. General Technical Requirements. Rosenergoatom Concern]. Moskva [Moscow]. 2013 (in Russian).
- [14] The Ultraprobe 3000. Rukovodstvo po ekspluatatsii [User Guide]. UE Systems. URL: <http://docplayer.ru/86731767-Ultraprobe-3000-rukovodstvo-po-ekspluatatsii.html> (in Russian).

## Optimization and Improvement of Electric Drive Valve Diagnostics Process During Pre-Commissioning Activities at NPP Units Under Construction

Z.O. Kavrishvili<sup>1</sup>, V.L. Rachkov<sup>2</sup>

*Rostov branch «Rostovatomtecheno» of JSC «Atomtecheno», Volgodonsk-28, Rostov region, Russia 347388*

<sup>1</sup>*ORCID ID: 0000-0002-9185-0785*

*e-mail: zokavrishvili@roate.ru*

<sup>2</sup>*ORCID ID: 0000-0003-3710-3153*

*e-mail: vlrachkov@roate.ru*

**Abstract** – The article discusses the need for technical diagnostics of electric drive stop valves, and there are presented applied methods for evaluating the technical condition. In addition, an approach to the organization of commissioning works related to the configuration of electric drive valves is revealed, based on their combination with diagnostic support, which allows to improve the quality and efficiency of autonomous and complex commissioning as well as to increase the effectiveness of technical management of hydraulic tests and reduce their duration.

*Keywords:* electric drive valves, technical diagnostics, technical condition assessment, pre-commissioning, efficiency, autonomous commissioning, complex commissioning.