

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ВВОД  
В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБОРУДОВАНИЯ  
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

DESIGN, MANUFACTURE AND COMMISSIONING  
COMMISSIONING OF EQUIPMENT  
NUCLEAR INDUSTRY FACILITIES

УДК 621.039.56:621.311.25:519.217  
doi: 10.26583/gns-2022-03-03

**ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НАТУРНОГО ТРЕНАЖЕРА  
ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

© 2022 Лапкис Александр Аркадьевич<sup>1</sup>, Калашников Максим Викторович<sup>2</sup>,  
Микшин Игорь Анатольевич<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>AALapkis@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9431-7046>

<sup>2</sup>ya.mkalashnikov@ya.ru

<sup>3</sup>mikshin89@mail.ru

*Аннотация.* В статье приводится описание перспектив разработки и изготовления натурального тренажера обучения методам диагностики электроприводного оборудования, применяемым на АЭС. Приведен ориентировочный состав технических средств, входящих в тренажер, обоснованы его технические характеристики, описан имеющийся в ВИТИ НИЯУ МИФИ опыт применения подобного тренажера. Тренажер обучения диагностике должен включать в себя экспериментальный стенд, позволяющий имитировать реальные производственные условия эксплуатации и возможные дефекты электроприводного оборудования АЭС, а также приборный парк и методическое обеспечение, применяемые на АЭС для диагностики. Внедрение обучения методам и приемам технической диагностики с их практической отработкой на тренажере диагностики позволит повысить качество диагностического сопровождения эксплуатации электроприводного оборудования АЭС.

*Ключевые слова:* тренажер, диагностика, электроприводное оборудование, арматура, насос, электропривод, дефект, гидравлическая петля, ремонт, ТОиР.

*Для цитирования:* Лапкис А.А., Калашников М.В., Микшин И.А. Перспективы создания натурального тренажера диагностики электроприводного оборудования АЭС // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – № 3(44). – С. 30-42. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-03-03>

Поступила в редакцию 31.05.2022

После доработки 22.08.2022

Принята к публикации 05.09.2022

**Актуальность проблемы**

При эксплуатации электроприводного оборудования АЭС особое значение приобретает качество его диагностического сопровождения, которое во многом зависит от подготовки персонала, осуществляющего диагностику. Необходимым элементом подготовки является практическое обучение, поскольку обучаемый запоминает только 20 % из того, что видит, 40 % из того, что видит и слышит и 70 % того, что видит, слышит и делает. Таким образом, для качественной подготовки персонала, осуществляющего диагностику оборудования АЭС, помимо традиционных учебных материалов в виде текстовых документов, учебных слайдов и обучающих видеороликов, необходима разработка натурального тренажера, позволяющего

смоделировать работу реального электроприводного оборудования АЭС, к которому относится трубопроводная арматура, насосы и вентиляторы.

### **Требования к тренажеру**

Тренажер обучения специалистов, участвующих в диагностике электроприводного оборудования АЭС (далее – Диагностический тренажер), необходимо разработать таким образом, чтобы с его помощью можно было моделировать физические процессы, соответствующие реальным процессам, происходящим на АЭС, а также моделировать наиболее распространенные дефекты электроприводного оборудования. При этом должна быть обеспечена также возможность применения разнородных технических средств диагностики (диагностических приборов, применяемые на АЭС) и методик, как применяемых в настоящее время, так и перспективных. Массогабаритные характеристики диагностического тренажера должны обеспечивать его размещение в помещениях учебных заведений, или учебно-тренировочных подразделений АЭС [1].

Анализ потребностей АЭС в диагностическом сопровождении эксплуатации электроприводного оборудования позволяет заключить, что тренажер для обучения специалистов по диагностике электроприводного оборудования АЭС должен включать:

- 1) Стационарный экспериментальный стенд для моделирования процессов, происходящих с электроприводным оборудованием АЭС;
- 2) Приборы, применяемые для диагностического сопровождения эксплуатации электроприводного оборудования АЭС;
- 3) Учебно-методические материалы.

Эти компоненты в комплексе представляют собой тренажер обучения методам диагностики электроприводного оборудования. Гибкость в адаптации диагностического тренажера к потребностям конкретных предприятий в обучении специалистов по диагностике заключается в возможности моделирования на стационарном экспериментальном стенде универсальных для разных предприятий физических процессов и дефектов электроприводного оборудования, а также в возможности комплектования любым диагностическим парком приборов и разнообразных методик диагностирования.

Для усвоения особенностей работы, изучения типовых дефектов, а также методов диагностики электроприводного оборудования АЭС, стационарный экспериментальный стенд должен обеспечивать возможность установки и замены основных типов электроприводного оборудования АЭС (например, с помощью фланцевых соединений).

Таким образом, экспериментальный стенд должен представлять собой систему трубопроводов и оборудования (арматура, насосы), позволяющую имитировать основные режимы работы и основные типовые дефекты электроприводного оборудования и трубопроводов.

Согласно ГОСТ 20911-89 [2] целью технического диагностирования (ТД) электроприводного оборудования на атомных станциях является определение его технического состояния. К задачам технического диагностирования относятся:

- контроль технического состояния;
- поиск места и причин неисправности;
- прогноз технического состояния ЭПО.

Для целей технического диагностирования ЭПО на АЭС применяют методы:

- анализ электрических сигналов;
- ультразвуковой;
- виброакустический;
- функциональной диагностики.

Для выполнения диагностики указанными методами на АС наиболее широко применяют следующие средства измерения:

- токоизмерительные клещи для регистрации электрических сигналов;
- пьезоэлектрические преобразователи для регистрации виброакустических сигналов;
- ультразвуковые датчики, микрофоны и щупы для регистрации ультразвуковых сигналов.

Для обработки сигналов, полученных одним из указанных выше средств измерения, применяются аналого-цифровые преобразователи (в виде модулей или отдельных устройств), а также вычислительная техника с установленным специализированным программным обеспечением.

Наибольшее распространение в технической диагностике получили готовые приборы, объединяющие функции регистрации и обработки сигналов, среди которых:

- для электрических сигналов: стенды Крона-517, Крона 517М (НПП «Крона»), ПКСОД-М (НИИ Физики РГУ), СД-10, Спрут-10 («Атомтехэнерго»), стационарные системы диагностики электроприводной арматуры (ССДЭА) различных производителей;
- для виброакустических сигналов: ТОПАЗ, ВИБРАН, серия СД и другие виброанализаторы;
- для ультразвуковых сигналов: приборы типа Ultraprobe, SDT, ЮНИСКОП.

#### **Экспериментальный стенд**

Процессы, подлежащие моделированию на стационарном экспериментальном стенде, определяются проектом энергоблока, а точнее – проектами систем, имеющих в своем составе электроприводное оборудование. Поэтому эффективность обучения персонала методам диагностики на базе собственного практического опыта будет зависеть от адекватности моделирования на экспериментальном стенде реальных производственных ситуаций и соответствующих им процессов.

Безусловно, полная имитация на тренажере условий энергоблока АЭС, таких как высокая температура и давление, приведет к неоправданно высокой стоимости его изготовления и дальнейшей эксплуатации. Поэтому целесообразно ограничиться разумными параметрами, которые не потребуют учета в территориальных органах Ростехнадзора, а также регистрации в государственном реестре опасных производственных объектов (ОПО). Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности, введенные Приказом Ростехнадзора от 25.03.2014 №116 (ред. от 12.12.2017) [3], не распространяются на котлы и трубопроводы, работающие под избыточным давлением более 0,07 мегапаскаля (МПа), при температуре воды более 115 градусов Цельсия, в связи с чем они не подлежат учету в органах Ростехнадзора. Поэтому для обеспечения промышленной безопасности, предупреждения возможных аварий, инцидентов, производственного травматизма при проектировании экспериментального стенда следует ориентироваться на эти параметры.

Оптимизация параметров экспериментального стенда с учетом вышеизложенных соображений позволяет сформировать его основные параметры:

- испытательная среда: вода техническая;
- питание стенда: от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В;
- потребляемая мощность: 10 кВт;
- рабочее давление: 1,6 МПа (примерно 16 кгс/см<sup>2</sup>);
- максимальное давление (при испытаниях): 2 МПа (примерно 20 кгс/см<sup>2</sup>);
- максимальный расход подачи воды на рециркуляцию: 12,5 м<sup>3</sup>/ч.

Для обеспечения указанных выше требований и технических характеристик разработана принципиальная гидравлическая схема, приведенная на рисунке 1, где

применены обозначения: КШ – краны шаровые; Н – насосы; МН – манометры; РД – регулятор давления; Б – баки (основной и опрессовочный); К – арматура (клапаны). Подача воды в систему осуществляется из бака Б-1 (емкостью 0,4 м<sup>3</sup>), установленного на высоте 1,15 м. В днище бака расположены два патрубка, один из которых соединен с всасывающим патрубком насоса, а другой соединен с нижней веткой трубопроводов Ду50. Насос Н-1 предназначен для создания давления 0,32 МПа и обеспечивает системы водой. Регулятор давления РД-1 позволяет обеспечить заданное давление, сброс воды осуществляется в боковой патрубок бака. С помощью опрессовочного насоса Н-2 в верхней ветке трубопровода при закрытых шаровых кранах КШ2 и КШ3 создается давление до 2,0 МПа.

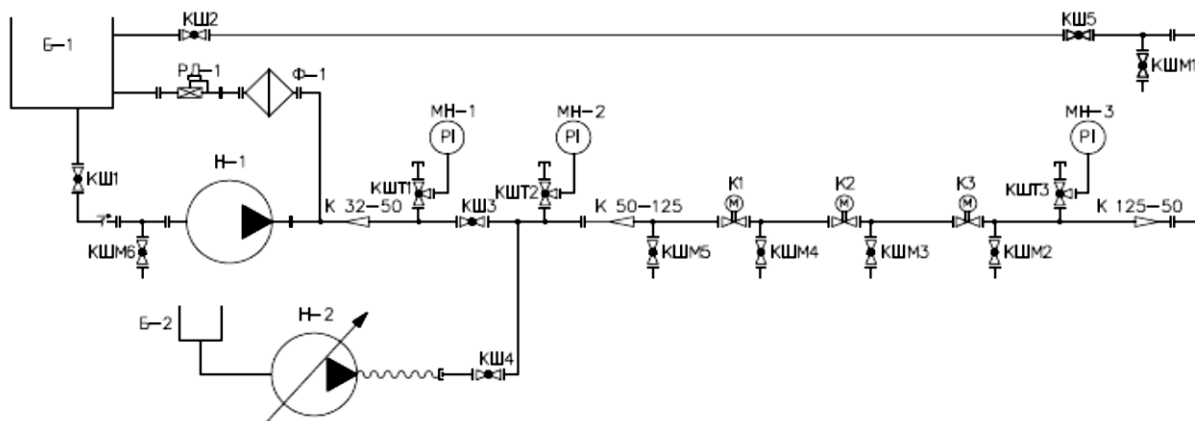


Рисунок 1 – Гидравлическая схема экспериментального стенда [Hydraulic diagram of the test stand]

В процессе проведения испытаний, а также для имитации протечек в различных типоразмерах арматуры (Ду50, Ду100, Ду150) возможна переустановка арматуры 31 (К1), присоединяемых к ней трубных блоков и отвода.

Для установки арматуры и сменных элементов стенда должны быть использованы фланцевые соединения.

Горизонтальные участки трубопроводов установлены на опоры и имеют уклон 0,002 в сторону организованного дренажа. В трубопроводах предусмотрены воздушники для возможности удаления воздуха при заполнении водой и дренажи для опорожнения системы.

Экспериментальный стенд должен быть спроектирован и изготовлен в соответствии со СНиП 3.05.05-84 [4], установка приборов, средств контроля и управления, электротехнических устройств и систем автоматизации – в соответствии с требованиями СНиП 3.05.06 – 85 [5].

Основные элементы стенда могут быть выполнены из углеродистой стали. Для нагрева воды в баке могут быть установлены регулируемые электронагревательные блоки.

Экспериментальный стенд должен быть оснащен грузоподъемным инструментом, необходимым для снятия-установки и разборки арматуры, приводов, насосов.

Конструкция экспериментального стенда должна предусматривать возможность:

- проведения работ по монтажу/демонтажу арматуры;
- установки проставок в запорный орган для имитации протечек;
- установки и крепления оборудования на месте монтажа.

Узлы и детали фланцевых соединений, рассчитанные на работу под давлением, должны обладать запасом прочности, обеспечивающим работу на максимально допустимом рабочем давлении (2 МПа).

В результате проработки принципиальной гидравлической схемы и состава оборудования, можно спроектировать экспериментальный стенд, например, как на

рисунке 2. Габаритные размеры такого стенда не превышают  $7000 \times 2000 \times 2000$  мм, что позволяет разметить его в помещениях учебно-тренировочных подразделений АЭС, или учебных центров подрядных организаций.

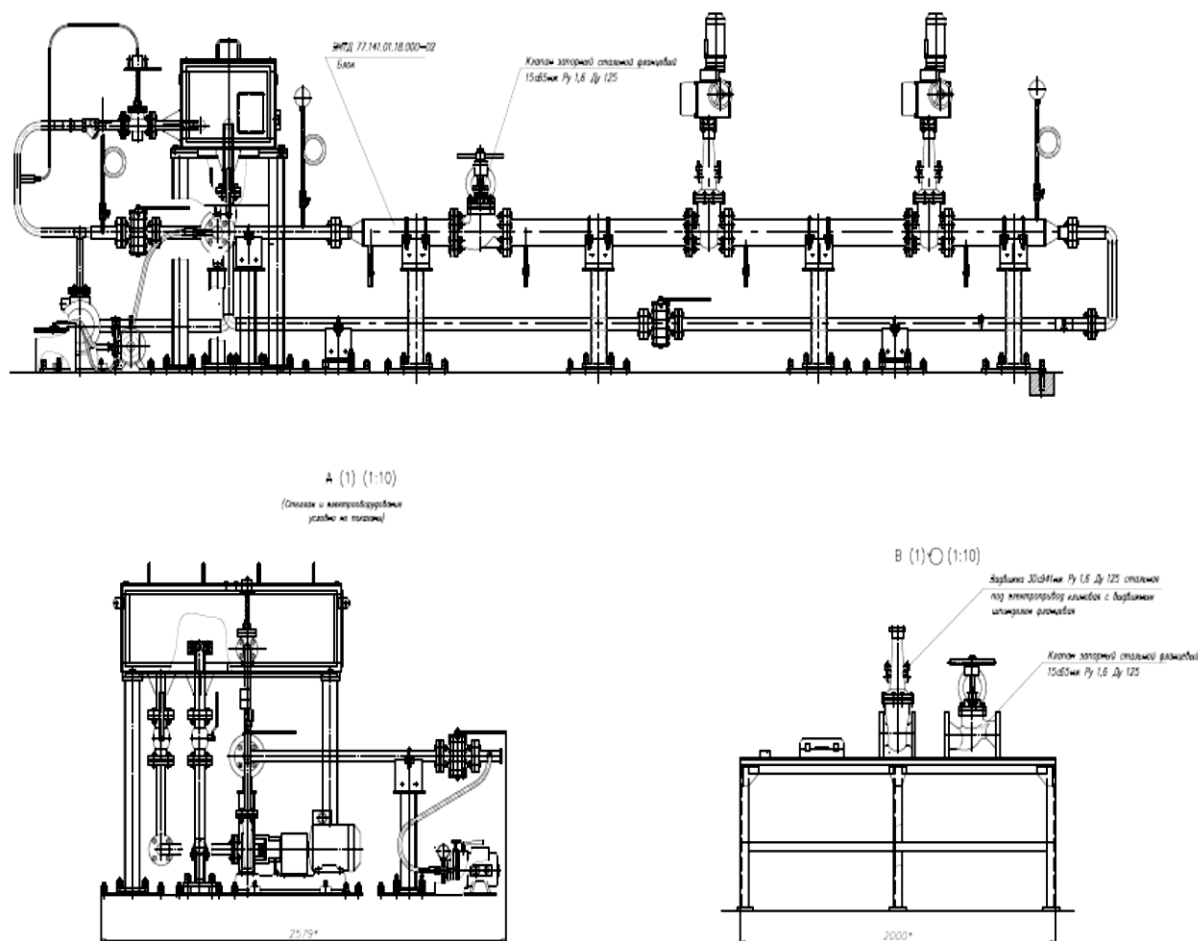


Рисунок 2 – Чертеж экспериментального стенда [Drawing of the test stand]

Спроектированный с учетом изложенных требований экспериментальный стенд позволит проводить обучение методам и приемам технической диагностики, а также ТОиР следующих видов оборудования:

1. Арматура (самодействующая, или импульсная, с ручным, электрическим, или пневматическим приводом):

- запорная (включение и отключение потоков);
- регулирующая (изменение или поддержание заданного расхода, давления);
- предохранительная (предупреждение чрезмерного повышения давления, недопущение изменения направления потока);
- защитная (быстродействующая, обратная) (предупреждение чрезмерного повышения давления, недопущение изменения направления расхода).

2. Насосы:

- объемные, в которых среда перемещается путем периодического изменения объема занимаемой ею камеры, попеременно сообщаемой с входом и выходом насоса;
- динамические, в которых в результате действия сил инерции и вязкости перекачиваемой среды кинетическая энергия от рабочего колеса передается перекачиваемой жидкости, преобразуясь в энергию давления.

3. Трубопроводы и фланцевые соединения.

4. Сальниковые уплотнения.

### Выбор приборов для обучения диагностике электроприводного оборудования АЭС

В современных условиях, с учетом курса на замещение импорта товарами, произведенными внутри России, а также с учетом санкций, наложенных на Россию западными странами, оптимальным для оснащения тренажера диагностики электроприводного оборудования АЭС представляется выбор следующих приборов:

- «Крона-517М» для контроля параметров электроприводной арматуры (г. Пенза);
- «ЮНИСКОП», акустико-эмиссионная система (г. Москва).

Технические характеристики прибора Крона-517М приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики Крона-517М [Krona-517M technical specifications]

Параметр	Значение
Регистрация действующих значений силы переменного тока электродвигателя пускового тока в диапазонах*	от 0 до 5 А, от 0 до 100 А, от 0 до 200 А
Регистрация действующих значений силы переменного тока электродвигателя рабочего тока в диапазонах	от 0 до 0,25 А, от 0 до 0,5 А, от 0 до 1 А, от 0 до 5 А, от 0 до 10 А, от 0 до 20 А, от 0 до 40 А
Регистрация напряжения постоянного тока каналами датчиков в диапазоне	от - 10 до + 10 В
Регистрация момента срабатывания конечного, путевого или моментного выключателя с абсолютной погрешностью	не более 20 мс
Приведенная погрешность регистрации напряжения	не более 1 %
Приведенная погрешность регистрации тока	не более 1 %
Регистрация действующих значений переменного напряжения	в диапазоне от 0 до 425 В
Способ регистрации состояния конечных выключателей	дискретный («замкнуто/разомкнуто»)
Вес	не более 15 кг

Технические характеристики прибора ЮНИСКОП, аналогового канала регистрации и характеристики режима течеискания приведены в таблицах 3, 4 и 5.

Таблица 3 – Характеристики базового модуля ЮНИСКОП [Uniscope basic module features]

Параметр	Значение
Дисплей	TFT LED, 5,7" , 640x480 точек, 262 144 цветов
Время работы в автономном режиме	8 часов
Поддерживаемые интерфейсы	Карты памяти SD/SDHC, Ethernet, USB2.0
Процессор	ARM9
Операционная система	Linux
Диапазон рабочих температур	от - 20 °С до + 40 °С
Защита от внешних воздействий	IP 65
Габаритные размеры	300 x 170 x 60 мм
Масса	2,6 кг

Таблица 4 – Характеристики аналогового канала регистрации [Analogue recording channel characteristics]

Параметр	Значение
Количество независимых аналоговых каналов регистрации	2
Напряжение питания предусилителя	6 В
Длина подключаемых кабельных линий	10м / 50м
Диапазон рабочих частот	0,5 Гц ÷ 1 МГц
Переключаемые частотные диапазоны	0,5 Гц ÷ 30 кГц, 1 кГц ÷ 100 кГц, 30 кГц ÷ 1 МГц

Продолжение таблицы 4

Параметр	Значение
Возможность загрузки цифровых фильтров	есть
Разрядность АЦП	16 бит
Максимальная частота преобразования АЦП	20 МГц
Размер буфера записи осциллограммы по каждому каналу	8 МБайт
Синхронность работы аналоговых каналов	$\pm 1$ мкс

Таблица 5 – Характеристики режима течеискания [Flow characteristics]

Параметр	Значение
Минимальная величина обнаруживаемой утечки в затворе арматуры	1 л/мин
Необходимый минимальный перепад давления	0,3 МПа
Диапазон значений проходного диаметра контролируемой арматуры	От 50 до 1000 мм
Средняя погрешность измерения величины утечки	20 %
Время контроля единицы арматуры	Менее 15 мин

Предложенный состав диагностических приборов в составе диагностического тренажера может быть существенно изменен и дополнен. Например, для отработки приемов и методов тепловизионного контроля экспериментальный стенд может быть оснащен, с учетом Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, введенных Приказом Ростехнадзора от 25.03.2014 №116 (ред. от 12.12.2017), нагревательными элементами. Для обучения методам и приемам тепловизионного обследования диагностический тренажер может быть оснащён тепловизорами: ThermoTracer (TH7716), Flir, Testo (890-2), или отечественными IRAY, RGK. Однако надо учитывать, что обучение методам и приёмам тепловизионного обследования оборудования целесообразно проводить с учетом оборудования, для которого подобный метод наиболее эффективен, прежде всего – электротехнических стоек, кабельного хозяйства, высоковольтных вводов и выключателей. При этом затраты на реализацию и эксплуатацию такого тренажера неизбежно существенно возрастут.

#### **Учебно-методическое обеспечение тренажера диагностики электроприводного оборудования АЭС**

Исходя из анализа применяемых на АЭС технологий управления активами [6, 7], а также накопленного опыта диагностики [8, 9, 10] можно сформулировать основные этапы диагностического сопровождения эксплуатации электроприводного оборудования АЭС:

- определение фактического технического состояния электромеханической части электроприводного оборудования при выполнении ею функции «передача движения рабочему органу»;
- составление перечня оборудования, требующего ремонта;
- обоснование видов и категорий ремонта;
- разработка ремонтной документации;
- выполнение ремонта;
- проведение послеремонтного диагностирования;
- ведение диагностических паспортов ЭПА;
- дополнение информационной базы.

Диагностический тренажер позволит отработать на практике каждый из этих этапов, для чего необходимо разработать и оснастить его учебно-методическими материалами (УММ).

УММ предназначены для обучения персонала отдела технической диагностики (ОТД), персонал ремонтных подразделений (ОППР, ЦЦР) и подрядных организаций (АТЭ, АЭР) и независимо от уровня подготовки персонала должны включать:

- теоретические занятия по видам электроприводного оборудования, особенностям их эксплуатации и диагностики;

- теоретические уроки по видам диагностики (в нашем случае – по токовым сигналам и сигналам акустической эмиссии) и применяемым диагностическим приборам;

- теоретические занятия по анализу диагностической информации.

Занятия на диагностическом тренажере (с учетом сформированного состава) позволят получить практические навыки по:

I Диагностике электроприводного оборудования с помощью Крона-517М:

- регистрации токовых сигналов;
- расчету диагностических параметров;
- экспресс-анализу токовых сигналов;
- определению технического состояния;
- анализу сигналов концевых и моментных муфт.

II Акустико-эмиссионному контролю с помощью ЮНИСКОП:

- идентификация свищей, сквозных трещин, протечек в уплотнениях, заглушках, арматуре и фланцевых соединениях;

- обнаружение, определение координат и слежение (мониторинг) за источниками акустической эмиссии, связанными с несплошностями на поверхности или внутри объекта контроля;

- оценка скорости развития дефекта в целях заблаговременного предотвращения отказа или разрушения изделия или своевременного прекращения испытаний.

III Сборке-разборке, ремонту электроприводного оборудования, применению документации:

- разборка/сборка фланцевых соединений;
- разборка/сборка сальниковых уплотнений;
- разборка/сборка трубопроводной арматуры;
- практическое применение ремонтной документации.

Каждое из этих направлений подготовки может быть подготовлено с учетом действующих нормативных документов [11, 12] и пересмотрено на основе перспективных.

### **Опыт создания и применения диагностического тренажера**

Стенд «гидравлическая петля», подобный описанному в данной статье, изготовлен и успешно применяется в учебном процессе на кафедре Атомной энергетики ВИТИ НИЯУ МИФИ (рис. 3).



Рисунок 3 – Стенд «гидравлическая петля» ВИТИ НИЯУ МИФИ  
[Hydraulic loop test stand of VETI NRNU MEPHI]



Кроме того, студенты ВИТИ НИЯУ МИФИ также имеют возможность параллельно с изучением теоретических вопросов, связанных с разборкой/сборкой, диагностикой электроприводного оборудования и настройкой концевых выключателей и моментных муфт, предварительно отработать их на виртуальном тренажере.

Виртуальные тренажеры «Сборки-разборки трубопроводной арматуры» и «Настройки блока концевых выключателей электропривода арматуры» были разработаны в 2019-2020 гг. в рамках проекта НИЯУ МИФИ «Совершенствование системы подготовки кадров в университете в соответствии с потребностями цифровой экономики» (рис. 4, 5).



Рисунок 4 – Сборка клапана в виртуальном тренажере [Valve assembly in the virtual simulator]

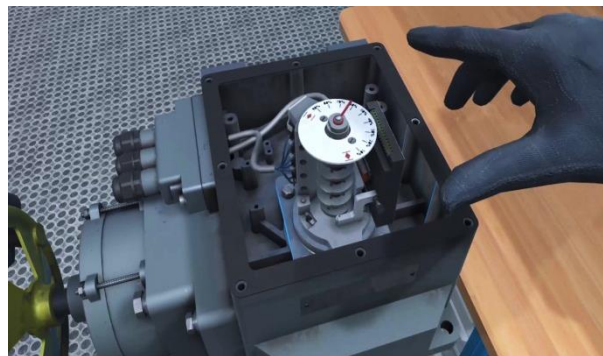


Рисунок 5 – Настройка виртуального блока концевых выключателей [Setting up the virtual limit switch unit]

В 2021 г. на основе отработанных технологий был разработан виртуальный тренажер отработки навыков снятия токовых сигналов на стадии пробных прокруток арматуры в период ППР энергоблока АЭС. Такой виртуальный тренажер позволяет подготовить оператора-диагноста к работам в условиях действующей АЭС с моделированием различных ситуаций, которые могут возникнуть при реальном выполнении работ по диагностике арматуры (рис. 6).



Рисунок 6 – Снятие токовых сигналов в шкафах НКУ, применяемых на АЭС [Current readings in NPP switchgear and controlgear cabinets]

Установка на стенде «гидравлическая петля» моделей электроприводного оборудования, аналогичных применяемым на АЭС, а также дефектных узлов и деталей электроприводного оборудования, позволяет получить диагностическую информацию, идентичную реальным дефектам, встречающимся на АЭС (рис. 7). В качестве диагностической информации используются параметры токового сигнала, снятые на одной или нескольких фазах статорных обмоток электродвигателя привода арматуры, регистрируемые при выполнении операции «открытие/закрытие». На основании

полученных замеров производится расчет определяющих диагностических параметров, выполняется построение огибающих токового сигнала и амплитудно-частотных спектров. Полученные значения и графики сравнивают с нормами оценки, указанными в нормативно-технической документации, соответствующими эталонами, построенными для работоспособной арматуры данного типоразмера и типа привода.

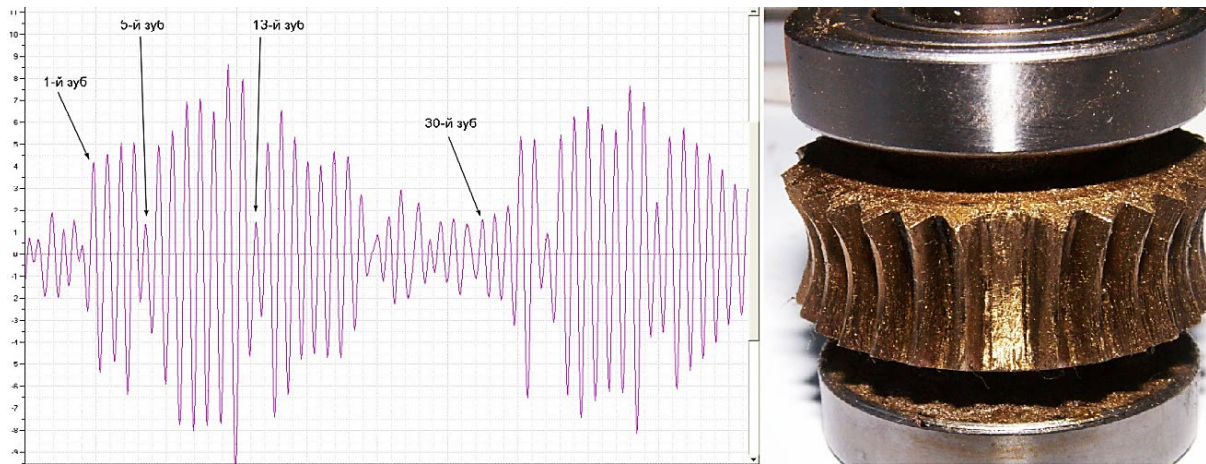


Рисунок 7 – Сигнал дефектного привода (отсутствие зубьев шестерни) [Defective drive signal (missing gear teeth)]

Применение спектрального анализа дает возможность уточнения оценки технического состояния ЭПА. Принятый для анализа метод спектрального диагностирования позволяет обнаружить скрытые дефекты арматуры, не обнаруженные при других видах анализа.

Стенд «гидравлическая петля» позволяет моделировать протечки арматуры и отрабатывать регистрацию и анализ ультразвуковых сигналов, полученных с помощью различных диагностических приборов (рис. 8).

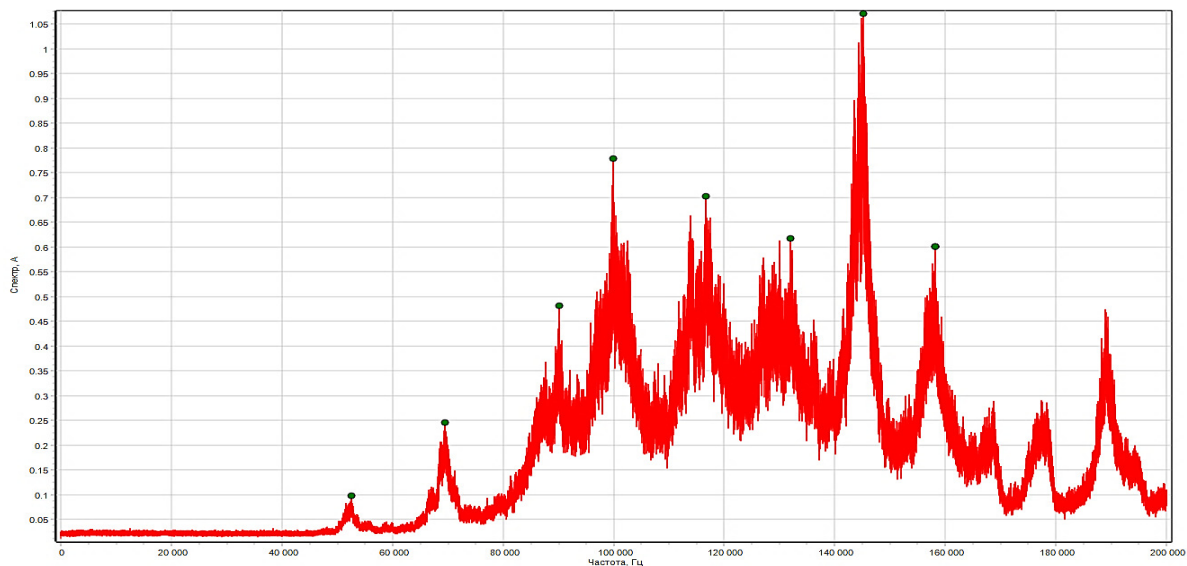


Рисунок 8 – Спектр ультразвукового сигнала задвижки [Ultrasonic signal spectrum of the gate valve]

Возможности стенда «гидравлическая петля» позволяют также проводить перспективные исследования. Например, в настоящее время с применением стенда разрабатывается концепция совмещения испытаний электропривода с оценкой крутящего момента. По результатам исследований аппроксимационная модель ляжет в

основу работы переносного комплекса, совмещающего диагностику электроприводной арматуры и тарировку ограничителей крутящего момента ее привода. Переносной комплекс, обеспечивающий расчетную оценку крутящего момента с приемлемой точностью, может обеспечить снижение затрат при определении дефектов привода и ходового узла электроприводной арматуры за счет проведения её безразборного обследования по месту эксплуатации [13, 14].

### **Заключение**

1. Преимущества практического освоения методов и приемов диагностики, а также ТОиР электроприводного оборудования, диктуют необходимость разработки и создания соответствующего диагностического тренажера. При этом в настоящее время имеется существенный разрыв между теоретической подготовкой персонала диагностических подразделений АЭС и последующей практической отработкой диагностических методов и приемов.

2. На основе анализа опыта работы диагностических подразделений АЭС можно сформировать требования к диагностическому тренажеру, состоящему из экспериментального стенда, диагностических приборов и учебно-методических материалов. При этом экспериментальный стенд позволяет в некотором приближении имитировать условия эксплуатации электроприводного оборудования, а состав диагностических приборов и учебно-методических материалов может изменяться и дополняться.

3. Гибкость в оснащении диагностического тренажера диагностическими приборами, а также программным обеспечением позволит на практике освоить различные методы анализа диагностической информации, применение различных методик, как действующих, так и перспективных.

4. С практическими занятиями на диагностическом тренажере может быть совмещено обучение работе с эксплуатационной и ремонтной документацией, разборке/сборке оборудования.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. СТО 1.1.1.01.004.0680-2006: Положение о порядке комплектования и опережающей подготовки персонала для атомных станций СТЭО 0644-2005 // ОАО «Концерн Росэнергоатом»/ – 2006. – С. 12- 19.
2. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. – С. 2-5.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499086260> (дата обращения: 25.05.2022)
4. СНиП 3.05.05-84. Строительные нормы и правила. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы (утв. Постановлением Госстроя СССР от 07.05.1984 N 72). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200025> (дата обращения: 25.05.2022)
5. СНиП 3.05.06–85. Свод правил. Электротехнические устройства. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050591> (дата обращения: 25.05.2022)
6. СТО 1.1.1.01.002.0069-2019 Организация технического обслуживания и ремонта систем и оборудования атомных станций. – С. 27-57.
7. НП-096-15 Требования к управлению ресурсом оборудования и трубопроводов атомных станций. Основные положения. – URL: <http://cntr-nrs.gosnadzor.ru/about/AKTS/%D0%9D%D0%9F-096-15.pdf> (дата обращения: 25.05.2022)
8. Слепов, М.Т. Диагностика ЭПА – опыт работы Нововоронежской АЭС / М.Т. Слепов, Н.П. Сысоев // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2. – С. 79-85.
9. Слепов, М.Т. и др. Технологии анализа диагностических параметров электроприводной арматуры на действующих энергоблоках Нововоронежской АЭС / М.Т. Слепов, Е.А. Абидова, В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 4. – С. 16-22.
10. Пугачева, О.Ю. Цели и задачи организации диагностического мониторинга оборудования АЭС / О.Ю. Пугачева, В.Н. Никифоров, Е.А. Абидова, П.В. Синельщиков, Р.Г. Бабенко, Ю.Н. Елзов // Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 3(16). – С. 70-76.

11. МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 Методика «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры». Открытое акционерное общество. «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях» (ОАО «Концерн Росэнергоатом»). – С. 7- 62.
12. МУ 1.3.3.99.0026-2010. Системный подход к обучению персонала атомных станций. Методические указания по применению. С Изменением №1, приказ АО «Концерн Росэнергоатом», от 08.11.2016 № 9/1423-П.
13. Подрезова, И.С. Анализ причин заклинивания и обрывов штоков трубопроводной электроприводной арматуры / И.С. Подрезова, Л.В. Шутова, Ю.Е. Ульянова, О.Ю. Пугачева, Ю.Н. Елзов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 4(13). – С. 32-37.
14. Синельщиков, П.В. Расчет крутящего момента электроприводной арматуры по сигналам тока и напряжения / П.В. Синельщиков, Р.Г. Бабенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 4(13). – С. 28-31.

## REFERENCES

- [1] STO 1.1.1.01.004.0680-2006: Polozhenie o poryadke komplektovaniya i operezhayushchej podgotovki personala dlya atomnyh stancij STEO 0644-2005 [Rosenergoatom Concern OJSC – 2006. Regulations on the Procedure of Personnel Recruitment and Advanced Training for Nuclear Power Plants STEO 0644-2008. P. 12-19 (in Russian).
- [2] GOST 20911-89 Tekhnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya [State Standard 20911-89 Technical Diagnostics. Terms and definitions]. P. 2-5 (in Russian)/
- [3] Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Pravila promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob'ektov, na kotoryh ispol'zuetsya oborudovanie, rabotayushchee pod izbytochnym davleniem» [Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety "Rules of Industrial Safety of Hazardous Production Facilities where Equipment Operating under Overpressure is Used] URL: <https://docs.cntd.ru/document/499086260> (accessed: 05/25/2022) (in Russian).
- [4] SNiP 3.05.05-84. Stroitel'nye normy i pravila. Tekhnologicheskoe oborudovanie i tekhnologicheskie truboprovody (utv. Postanovleniem Gosstroya SSSR ot 07.05.1984 N 72) [SNiP 3.05.05-84. Construction Norms and Rules. Technological Equipment and Technological Pipelines (approved by Gosstroy of the USSR, 07.05.1984 N 72)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200025> (accessed: 05/25/2022) (in Russian).
- [5] SNiP 3.05.06-85. Stroitel'nye normy i pravila. [A Set of Rules. Electrical Devices]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456050591> (accessed: 05/25/2022) (in Russian)
- [6] STO 1.1.1.01.002.0069-2019 Pravila organizacii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sistem i oborudovaniya atomnyh stancij [STO 1.1.1.01.002.0069-2019 Rules Organization of Maintenance and Repair of Systems and Equipment of Nuclear Power Plants]. P. 27-57 (in Russian).
- [7] NP-096-15 Trebovaniya k upravleniyu resursom oborudovaniya i truboprovodov atomnyh stancij. Osnovnye polozheniya [NP-096-15 Requirements for Lifetime Management of Equipment and Pipelines of Nuclear Power Plants. Main provisions.]. URL: <http://cntr-nrs.gosnadzor.ru/about/AKTS/%D0%9D%D0%9F-096-15.pdf> (accessed: 05/25/2022) (in Russian).
- [8] Slepov M.T., Sysoev N.P. Diagnostika EPA – opyt raboty Novovoronezhskoj AES [EPA Diagnostics as Experience of Novovoronezh NPP]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2014. №2 (in Russian).
- [9] Slepov M.T., Abidova E.A., Nikiforov V.N., Pugacheva O.Yu. Tekhnologii analiza diagnosticheskikh parametrov elektroprivodnoj armatury na deystvuyushchih energobloках Novovoronezhskoj AES. [Technologies of Analysis of Diagnostic Parameters of Electric Actuator Valves at Operating Power Units of Novovoronezh NPP // Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya [Electrical Complexes and Control Systems]. 2014. №4. P. 16-22 (in Russian).
- [10] Pugacheva O.Yu., Nikiforov V.N., Abidova E.A., Sinelshchikov P.V., Babenko R.G., Yelzhov Yu.N. Celi i zadachi organizacii diagnosticheskogo monitoringa oborudovaniya AES [Aims and Objectives of the Organisation of Diagnostic Monitoring of NPP Equipment]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2015. №3(16). P. 70-76 (in Russian).
- [11] МТ 1.2.3.02.999.0085-2010 Методика «Диагностирование трубопроводной электроприводной арматуры» [MT 1.2.3.02.999.0085-2010 Methodology «Diagnostics of Electrically Operated Pipeline Valves»] Открытое акционерное общество. «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях» (ОАО «Концерн Росэнергоатом») [Open

- Joint-Stock Company. «Russian Concern for Production of Electric and Thermal Energy at Nuclear Power Plants» (JSC «Concern Rosenergoatom»)] (in Russian).
- [12] MU 1.3.3.99.0026-2010. Sistemnyj podhod k obucheniyu personala atomnyh stancij. Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu. S Izmeneniyem №1, prikaz AO «Koncern Rosenergoatom», ot 08.11.2016 № 9/1423-P. x MU 1.3.3.99.0026-2010. [System Approach to Training of Personnel of Nuclear Power Plants. Methodical instructions for application. With Amendment No.1, Order of JSC "Concern Rosenergoatom", 08.11.2016 No. 9/1423-P.] (in Russian).
- [13] Podrezova I.S. Analiz prichin zaklinivaniya i obryvov shtokov truboprovodnoj elektroprivodnoj armatury [Analysis of Causes of Jamming and Rod Breakage in Electrically Operated Pipeline Valves]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2014. №4(13). P. 32-37 (in Russian).
- [14] Sinel'shchikov P.V., Babenko R.G. Raschet krutyashchego momenta elektroprivodnoj armatury po signalam toka i napryazheniya [Calculation of Actuator Torque from Current and Voltage Signals]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2014. № 4(13). P. 28-31 (in Russian).

### Prospects of Creating a Full-Scale Diagnostic Simulator for NPP Electric Drive Equipment

**Aleksandr A. Lapkis<sup>1</sup>, Maksim V. Kalashnikov<sup>2</sup>, Igor' A. Mikshin<sup>3</sup>**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

<sup>1</sup>*AALapkis@mephi.ru, ORCID iD: 0000-0002-9431-7046*

<sup>2</sup>*ya.mkalashnikov@ya.ru*

<sup>3</sup>*mikshin89@mail.ru*

**Abstract.** The paper describes perspectives of development and manufacturing of full-scale simulator for training in methods of diagnostics of electric drive equipment used at NPPs. An approximate composition of technical means included in the simulator is given and its technical characteristics are substantiated. The training simulator of diagnostics must include an experimental stand which allows to simulate real operating conditions as well as possible defects of electric drive equipment of NPP, and also an instrumentation park and methodological support used at NPP for diagnostics. Implementation of training in methods and techniques of technical diagnostics with their practical development on the diagnostics simulator will increase the quality of diagnostic support of NPP electric drive equipment operation.

**Keywords:** simulator, diagnostics, electric drive equipment, valves, pump, electric drive, defect, hydraulic loop, repairs, maintenance.

**For citation:** Lapkis A.A., Kalashnikov M.V., Mikshin I.A. Prospects of Creating a Full-Scale Diagnostic Simulator for NPP Electric Drive Equipment // Global nuclear safety. 2022. Vol. 3(44). P. 30-42. <http://dx.doi.org/10.26583/gns-2022-03-03>