ОТЗЫВ

официального оппонента
доктора технических наук, профессора
Назарычева Александра Николаевича
на диссертационную работу Левина Владимира Михайловича
"Модели и методы адаптивного управления эксплуатационным состоянием оборудования электрических сетей", представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – "Электрические станции и электроэнергетические системы".

На отзыв представлены:

– диссертация общим объемом 361 страница, состоящая из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников из 182 наименований и четырех приложений;

– автореферат диссертации на 44 страницах с общей характеристикой работы, кратким изложением основного содержания результатов, полученных в диссертации, и списком публикаций по теме диссертации из 49 наименований.

1. Соответствие работы специальности 05.14.02 – "Электростанции и электроэнергетические системы" и установленным критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней.

Содержание диссертационной работы Левина В.М., область, предмет и объект исследования, научная новизна и практическая значимость соответствует паспорту специальности 05.14.02 – "Электрические станции и электроэнергетические системы".

Диссертационная работа Левина В.М. также соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней.

– По п. 9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится исследование проблемы, имеющей важное значение для развития электроэнергетической отрасли знаний в области решения комплекса задач по адаптивному управлению эксплуатационным состоянием оборудования электрических сетей.

– По п. 10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации приведены сведения о практическом использовании полученных в работе научных результатов.

Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

– По п.п. 11 – 13. По теме диссертационной работы опубликовано 49 работ, в том числе 17 в изданиях, входящих в список рекомендуемых в перечне ВАК (Изв. Вузов Северо-Кавказский регион. Сер. Технические науки; Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока; Научный вестник НГТУ; Промышленная энергетика; Главный энергетик; Системы, методы, Технологии), в которых изложены основные научные результаты. Содержание опубликованных работ в полной мере отражает содержание автореферата и диссертации.

– По п. 14. В диссертации сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов или отдельных результатов.

2. Актуальность темы диссертации.

Современный этап развития электроэнергетических систем (ЭЭС) России, а также систем электроснабжения потребителей с мощными электропринимающими устройствами сопровождается разработкой и внедрением элементов интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью (ИЭС с ААС). Переход на эту новую технологическую платформу предполагает решение комплекса масштабных задач по внедрению системы управления техническим состоянием оборудования электрических сетей. Поэтому проведение исследований в данной области являются актуальными.

Диссертация работа Левина В.М. посвящена важным для электроэнергетической отрасли вопросам адаптивного управления эксплуатацией оборудования ЭЭС, что позволит оптимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонты при обеспечении надежности, безопасности и эффективности его функционирования. Перспективным направлением стратегического развития энергетической отрасли при реализации ИЭС с ААС является также создание программно-алгоритмических комплексов на основе моделей и методов оценки фактического технического состояния оборудования, что также определяет актуальность темы диссертации.

3. Общая характеристика работы и ее научных положений.

Во введении обоснована актуальность темы работы. Сформулированы цели и задачи исследования, отражена научная новизна, практическая

значимость полученных результатов, даются научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе на основе литературных источников выполнен обзор состояния электросетевого комплекса России, методов оценки технического состояния и управления надежностью оборудования электрических сетей. Обоснована актуальность разработки адаптивных моделей и алгоритмов для задач оценки и управления состоянием и надежностью электрооборудования на основе методов искусственного интеллекта и аппарата теории управляемых Марковских (полумарковских) случайных процессов. В главе приведена классификация моделей надежности, подходов по оптимизации системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и критериев эффективности эксплуатации электрооборудования.

Во второй главе приведены результаты теоретических исследований по разработке моделей идентификации состояния дефектного маслонаполненного трансформаторного оборудования (МНТО). Показано, что Байесовский подход на основе отношения правдоподобия является центральным и наиболее эффективным средством решения задач статистической классификации и распознавания образов при выявлении дефектов в силовых трансформаторах (СТ) на основе применения результатов ХАРГ. На этой базе разработан метод статистической идентификации дефектов МНТО 110 – 220 кВ, который позволяет распознавать классы состояний и границы раздела классов, для чего в главе предложен показатель – обобщенный идентификатор состояний.

В третьей главе выполнено статистическое исследование надежности сложных восстанавливаемых элементов электрических сетей – линий электропередач (ЛЭП) и СТ. Проведен обзор и разработана математическая модель прогнозирования надежности электросетевого оборудования на основе статистики внеплановых простоев и аварийный отключений. Предложена методика оценки показателей эксплуатационной надежности оборудования с учетом его технического состояния.

В четвертой главе рассмотрены вопросы моделирования процессов ТОиР оборудования ЭЭС. Выполнено описание стратегий ТОиР и синтез математических моделей надежности электрооборудования для актуальных стратегий управления техническим состоянием. Предложена методология управления случайными процессами ТОиР по параметру технического состояния оборудования.

В пятой главе представлены результаты исследования по проблеме повышения эффективности эксплуатации оборудования электрических сетей на основе разработанных оптимизационных моделей, а также за счет

управления его ТОиР. Рассмотрен подход по управлению риском отказов оборудования в электрической сети.

В шестой главе представлены результаты разработки ключевых компонентов технологии управления эксплуатацией оборудования электрических сетей. Разработаны подсистемы мониторинга потоков и балансов мощности в объектах электрической сети, мониторинга технического состояния МНТО, интеллектуальный инструментарий для адаптивной идентификации дефектов и принятия решений по эксплуатации МНТО с целью управления надежностью электрической сети.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты работы, подведены итоги проведенных исследований. Приводится обоснование того, что в рамках реализации ИЭС с ААС решена крупная научно-техническая задача повышения эффективности эксплуатации электрических сетей ЭЭС, за счет адаптивного управления техническим состоянием и надежностью оборудования.

Исходя из анализа содержания диссертационной работы, можно заключить, что диссертация обладает внутренним единством, а по своему объему, структуре и направленности полученных результатов является законченным исследованием, и соответствует предъявляемым требованиям.

4. Оценка научной новизны, степени обоснованности и достоверности положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научная новизна основных положений и выводов диссертационной работы Левина В.М. состоит в решении научно-технической проблемы, имеющей существенное значение для электроэнергетической отрасли, и заключается в разработке:

1. теоретических основ метода статистической идентификации состояний оборудования электрических сетей на основе Байесовской теории принятия решений. В работе предложен обобщенный идентификатор состояний МНТО и модель его определения по результатам ХАРГ, представляющая собой свертку значимых признаков и обладающая высокой чувствительностью к любым отклонениям технического состояния МНТО от нормы, обеспечивая при этом высокую достоверность и оперативность экспертных оценок по факту наличия, виду и степени тяжести выявленных дефектов;

2. статистического метода нахождения границ раздела классов технических состояний оборудования, реализующего преимущества Байесовской теории принятия решений применительно к МНТО с

использованием многолетней статистики ХАРГ;

3. подходов по применению диагностической информации от средств штатного контроля для определения показателей эксплуатационной надежности оборудования электрических сетей при назначении ТОиР по фактическому состоянию. Разработана методика формирования моделей отказов МНТО с учетом факторов постепенного и внезапного их возникновения на базе свойств нестационарного случайного потока событий;

4. комплекса вероятностных динамических моделей для оценки эксплуатационной надежности электросетевого оборудования при его ТОиР на основе теории управляемых Марковских (полумарковских) случайных процессов для наиболее важных стратегий (по состоянию, по надежности, по прогнозируемому риску отказа). Предложена методика, позволяющая на интервале оперативного (краткосрочного) планирования вычислять оптимальные в смысле заданных критериев эффективности параметры ТОиР оборудования, и в результате, обеспечивать принятие решений, способствующих повышению надежности функционирования ЭЭС в целом;

5. подсистемы программно-алгоритмической поддержки технологии адаптивного управления эксплуатационным состоянием и надежностью оборудования в составе подсистем мониторинга потоков и балансов мощности в элементах электрических сетей, эксплуатационного состояния оборудования, интеллектуального инструментария для достоверной идентификации дефектов и принятия решений по эксплуатации работающего МНТО.

Наиболее ценными и значимыми результатами является разработка:

– обобщенного идентификатор состояния МНТО, на основе которого принимаются решения о принадлежности оборудования к одному из возможных классов состояний, и выполняется его ранжирование по факту наличия, виду и степени тяжести дефекта, что повышает точность оценки состояния МНТО и способствует экономии эксплуатационных затрат;

– статистического метода идентификации состояний МНТО, с применением статистики ХАРГ, направленного на снижение риска отказов МНТО, что может служить основой для принятия обоснованных решений по безаварийной эксплуатации оборудования;

– алгоритмов адаптивного управления техническим состоянием и эксплуатационной надежностью оборудования, реализующих процедуры искусственного интеллекта, ориентированных на применение в автоматизированных системах диагностического мониторинга МНТО, а также в подсистемах организации ТОиР электрооборудования;

– методов и методик моделирования и расчета показателей эксплуатационной надежности оборудования электрических сетей с применением статистики аварийных отключений и результатов диагностического контроля, которые позволяют определять вероятностные характеристики потоков случайных событий, делать оценку ранга критичности к отказам оборудования, ранжировать очередность проведения и оптимизировать параметры системы ТОиР;

– программно-аналитического модуля идентификации дефектов и мониторинга эксплуатационного состояния МНТО.

Достоверность полученных в диссертационном исследовании результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата положений теории вероятности, распознавания образов, математической статистики, надежности, управляемых случайных процессов и нейронных сетей. Используются статистические данные из практики эксплуатации оборудования электрических сетей, которые подтверждаются проверочными исследованиями и совпадением их с результатами, полученными при диагностировании, испытаниях и ремонте оборудования.

Представленные в диссертационной работе и в ее автореферате основные научные положения, рекомендации и выводы по главам, а также заключение по работе являются в целом обоснованными.

5. Практическая ценность диссертационной работы и рекомендации по использованию и внедрению ее результатов.

Полученные в диссертации результаты позволяют использовать их в предприятиях электрических сетей для создания системы управления эксплуатацией оборудования по его фактическому техническому состоянию при реализации концепции ИЭС с ААС. Основные практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Полученные в работе результаты и рекомендации внедрены в филиалах "Восточные электрические сети" и "Татарские электрические сети" АО "РЭС" в виде программного комплекса мониторинга эксплуатационного состояния трансформаторов (ПК МЭСТ).

2. Метод статистической идентификации дефектных силовых трансформаторов 35, 110 кВ по результатам ХАРГ внедрен в филиале "Ноябрьские электрические сети" ПАО "Тюменьэнерго".

3. Разработанные методы выбора стратегии ТОиР, анализа причин аварийного отключения сетевого оборудования ЭЭС, оценки риска отказов, оптимизации параметров ТОиР используются для уточнения действующего СТО в ООО "Ноябрьскэнергонефть" ПАО "Газпром нефть".

Научные и практические результаты диссертационного исследования можно рекомендовать к использованию в электросетевых компаниях, научно-исследовательских и проектных организациях при решении задач адаптивного управления эксплуатацией оборудования электрических сетей по фактическому техническому состоянию, а также в учебном процессе образовательных организаций для электроэнергетических специальностей.

6. Апробация работы и подтверждение опубликования основных положений работы.

В период с 2002 по 2016 г.г. основные теоретические положения и результаты диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях и семинарах. По теме диссертационной работы опубликовано 49 печатных работ, в том числе 17 статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ.

7. Основные вопросы и замечания по работе.

1. На заседании Совета директоров ПАО "Россети" 17 апреля 2017 г. утверждена программа реконструкции и модернизации электросетевого комплекса России на период с 2017 г. по 2026 г.

Все нормативные документы группы компаний ПАО "Россети", обеспечивающие выполнение принятой программы предусматривают оценку технического состояния оборудования ЭЭС (включая МНТО и ЛЭП) на основе определения интегрального показателя – индекса технического состояния (ИС). В диссертации предложен иной показатель G(A) – обобщенный идентификатор состояния МНТО (стр. 103, формула (2.9)). В связи с этим имеются следующие вопросы:

– Для чего введен новый дополнительный критерий G(A), и какие преимущества для оценки состояния МНТО он дает, например, в сравнении с критерием граничных концентраций газов, если согласно действующих НТД по классическим критериям ХАРГ получаются такие же выводы?

– Что означает показатель $w_0 \geq 0$ в формуле (2.9) на стр. 103, почему он больше или равен 0, и какие значения он принимает для различного МНТО?

– Как изменяется обобщенный идентификатор состояния G(A) при изменении концентрации газов по ХАРГ?

– Какую долю дефектов МНТО с помощью предложенного метода и показателя G(A) на основе ХАРГ можно определить по отношению к общему количеству дефектов, определяемому другими методами диагностики?

– Не понятно на основании чего предложена упрощенная модель границы раздела классов состояний – формула (2.11) на стр. 109? В этом случае следует пояснить, как будет работать данный подход, если мы будем иметь дело с наличием газов не связанных с наличием дефектов: при доливке, после ремонта ранее повредившегося оборудования, но без дегазации масла (без удаления диагностических газов образовавшихся ранее), при перетоке газов из РПН в бак трансформатора и т.д.? Для этого есть критерий граничных концентраций. А что для таких ситуаций показатель G(A) вносит принципиально нового и полезного к уже существующим и понятным критериям из действующих НТД по ХАРГ?

– Как соотносятся показатели ИС и G(A) в части их физической интерпретации, принятых допущений, адекватности, точности и достоверности определения технического состояния МНТО при воздействии эксплуатационных факторов, режимов и условий работы?

– Как считает автор, что в итоге целесообразнее принять в НТД за интегральную оценку технического состояния МНТО для решения задачи выбора и интерпретации класса эксплуатационного состояния оборудования, индекс состояния (принятый в ПАО "Россети") или обобщенный идентификатор состояния (предложенный в диссертации) и почему?

2. В примере (рис. 5.23, стр. 264 – 268 раздел 5.3), приведенном для демонстрации практической реализации разработанных в диссертации методов и подходов не учтено влияние на полученные результаты технического состояния, системы ТОиР и значений показателей надежности следующего оборудования: 5 высоковольтных выключателей 6 кВ (а также не учтен их тип – маломасляные, вакуумные, элегазовые), 2 трансформаторов 35/6 кВ и 14 трансформаторов 6/0,4 кВ (не учтен тип трансформаторов – масляные, сухие), и другого электрооборудования – разъединителей, измерительных трансформаторов, 2 секций 6 кВ подстанции. Кроме того, при оценке показателей надежности следовало бы учесть возможность использования АВР на секционном выключателе В3 (рис. 5.23), а также то, что вероятно 14 указанных потребителей имеют различную категорию по надежности электроснабжения.

Как изменятся результаты расчета надежности и выводы по приведенному примеру (раздел 5.3), если учесть точность исходных данных, фактическое техническое состояние всех элементов распределительной электрической сети, принятую систему ТОиР у разных видов и типов оборудования, действие АВР, категорийность потребителей? Не поставит ли все это в итоге под сомнение выводы 1 – 3 (стр. 269) по главе 5?

3. В диссертации отмечается (стр. 263), что в международной практике в качестве индекса надежности распределительной сети принимается показатель SAIFI – средний индекс частоты прерываний электроснабжения. Правильно ли можно понимать, что в работе при выполнении расчетов надежности ЛЭП распределительной сети 6(10) – 110 кВ автором предлагается в качестве индекса надежности принимать (табл. 5.8 стр. 265) сразу четыре показателя – это параметр потока отказов (интенсивность отказов), вероятность отказов, среднюю частоту плановых отключений, и величину ущерба от отказа при перерыве электроснабжения у потребителей?

4. Можно согласиться с тем, что режимы работы электрооборудования оказывают существенное влияние на изменение его технического состояния. Однако, следует пояснить, как приведенная в разделе 6.1 (стр. 272) подсистема мониторинга потоков и балансов мощности в электрической сети, связана с моделями и методами управления эксплуатационным состоянием оборудования, каким образом и в каких разработанных в диссертации моделях применяются результаты работы этой подсистемы?

5. Из работы не совсем понятно, какая создана конфигурация базы знаний для поиска возможных дефектов в оборудовании ЭЭС, и как в модели адаптивной идентификации и распознавания дефектов в МНТО (раздел 6.3) определялась оптимальная архитектура искусственной нейронной сети (ИНС) в виде многослойного персептрона (рис. 6.21 стр. 298), в частности выбор количества внутренних (скрытых) слоев и нейронов в них в зависимости от наличия системы мониторинга и различного конструктивного исполнения трансформаторов, а также как получена и как будет изменяться в процессе эксплуатации МНТО матрица синаптических весовых коэффициентов (стр. 294) с учетом результатов ХАРГ?

6. Постановлением Правительства от 19 декабря 2016 г. № 1401 с 1 января 2018 г. вводится "Методика комплексного определения показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства". Как считает автор, отвечают ли результаты диссертационного исследования критериям Постановления № 1401, и можно ли будет реально реализовать их на практике в условиях перехода к ИЭС с ААС? При этом, не возникнет ли непреодолимых противоречий между результатами, полученными в диссертации и подходом, изложенным в утвержденной методике Правительства РФ, в которой заложены принципиально иные критерии управления эксплуатационным состоянием оборудования электрических сетей?

7. По тексту диссертации и автореферата также имеется ряд следующих вопросов и замечаний не принципиального характера:

– Введен неудачный термин для класса состояний МНТО – "норма с отклонениями" (стр. 10, 102 и др.). Если есть отклонения от нормы, то может ли это быть уже нормой?

– Необходимо уточнить, что означает ссылка на источник "[аш]" на стр.101?

– Следует пояснить каким образом, опираясь на метод пространства состояний, предполагается проводить оценку оптимальной периодичности профилактик по модели оценки надежности МНТО для стратегии ТОиР с фиксированной периодичностью (рис. 4.6, стр. 209 – 213) если интенсивность перехода из работоспособного состояния в аварийный ремонт λ_{13} изменяется с течением времени по принятой в работе линейной возрастающей функции с параметром характеризующим темп старения МНТО?

– Графики на рис. 4.20 стр. 229 и на рис. 5.10 стр. 246 одинаковы. Почему нельзя было просто сделать ссылку?

– В работе часто используются известные классические положения, без приведения которых диссертация не потеряла бы своей научной ценности. Так, графики и математические выражения, приведенные в ряде разделов достаточно хорошо известны, например, в разделе 1.3.2 на стр. 37 – 42, в разделах 3.1 и 3.2 на стр. 148 – 165, а также в разделах 4.1 и 4.2 на стр. 193 – 204. В результате часть сделанных выводов по главам являются тривиальными – это вывод 3 (глава 1 стр. 64), вывод 6 (глава 2 стр. 146), выводы 1 и 2 (глава 3 стр. 190 – 191), вывод 1 (глава 4 стр. 232).

– В Приложение Г (стр. 12, 358 – 361) нет подтверждения достоверности применения разработанного статистического метода идентификации дефектов в МНТО по результатам ХАРГ, так как в приведенных справках и актах о внедрении результатов работы отсутствует информация о том, какое количество МНТО было отбраковано с применением данного метода, и сколько идентифицированных дефектов подтверждено вскрытием оборудования при ремонте или с помощью иных методов оценки состояния.

8. Заключение.

Диссертационная работа Левина В.М. на тему "Модели и методы адаптивного управления эксплуатационным состоянием оборудования электрических сетей" полностью соответствует научной специальности 05.14.02 – "Электрические станции и электроэнергетические системы", выполнена на достаточно высоком уровне, обладает внутренним единством,

и является законченным научным исследованием. Результаты и выводы, полученные в диссертации, свидетельствуют о том, что в работе решается крупная научно-техническая проблема разработки моделей и методов повышения эффективности эксплуатации электрических сетей электроэнергетических систем, за счет адаптивного управления техническим состоянием и надежностью оборудования, имеющая важное хозяйственное значение для энергетической отрасли страны.

Сделанные замечания не снижают общее положительное мнение о выполненной работе и полученных результатах.

Считаю, что диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а ее автор Левин Владимир Михайлович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – "Электрические станции и электроэнергетические системы".

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор,
ректор ФГАОУ ДПО
"Петербургский энергетический институт
повышения квалификации"
Министерства энергетики
Российской Федерации. А.Н. Назарычев

Подпись А.Н. Назар
Начальник отдела у В.В. Одноконный

01.06.2017 г.

196135, г. Санкт-Петербург, ул. Авиационная, 23
тел: +7 (812) 708-48-46
E-mail: rector@peipk.spb.ru

Отзыв получен
6.06.2017г
/Русина А.Г.

С отзывом ознакомлен
06.06.2017 г. /Левин В.М./