

ОТЗЫВ

официального оппонента – доктора технических наук, профессора Назарычева Александра Николаевича на диссертационную работу Яхья Аммар Абдулазиз Яхья на тему «Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния трансформаторного оборудования энергообъектов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Надежность силовых трансформаторов (СТ) объектов энергетики является важной составляющей обеспечения надежности электроэнергетических систем (ЭЭС) в части бесперебойного электроснабжения потребителей. Это связано с тем, что СТ представляют критически важное оборудование ЭЭС в силу выполнения ими на объектах энергетики ответственных функций, высокой своей стоимости и сложности конструкции функциональных узлов. Высокий уровень износа парка СТ, работа их в сложных режимах и условиях работы, при которых на них воздействует набор различных эксплуатационных факторов, а также тяжелые последствия отказов трансформаторного оборудования, привлекают на протяжении последних десятилетий к себе пристальное внимание ученых и специалистов как в России, так и за рубежом.

Решение задачи повышения эффективности эксплуатации СТ идет по пути создания и совершенствования методов и систем on-line и off-line мониторинга параметров и диагностирования с целью достоверной оценки их технического состояния и выработки рекомендаций по воздействиям для устранения выявленных дефектов на ранней стадии их развития. В настоящее время поддержание эксплуатационной надежности и предотвращение аварийных отключений СТ обеспечивается системой технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по фактическому техническому состоянию.

Традиционные методы диагностического мониторинга СТ основаны на выборе комплекса информативных контролируемых параметров, повышения качества их измерения и достоверности интерпретации полученных результатов. В настоящее время, их развитие связано с тенденцией поиска рациональных сочетаний методов оперативной и предиктивной оценки технического состояния в условиях цифровой трансформации энергетической отрасли. В свою очередь это требует дополнительных исследований по формированию математических моделей предиктивной аналитики на основе методов искусственного интеллекта и машинного обучения, разработки систем принятия решений и выбора

эффективных эксплуатационных воздействий включая технологии удаленного мониторинга, интегральной оценки состояния и прогнозирования отказа и остаточного ресурса СТ.

Вопрос оценки технического состояния СТ различных классов напряжения всегда вызывает особый интерес у руководителей и специалистов энергокомпаний, занимающихся вопросами организации эксплуатации, испытаний, технического обслуживания и ремонта. Однако в последнее десятилетие не смотря на многочисленные исследования в этой области, задача совершенствования оценки технического состояния СТ, а также систем поддержки принятия решений по обеспечению их надежной эксплуатации по-прежнему является достаточно острой. Следовательно, актуальность совершенствования моделей предиктивной диагностики и оценки состояния СТ, представленных в диссертационной работе, не вызывает сомнений.

Целью диссертационной работы Яхья Аммар Абдулазиз Яхья является совершенствование математических моделей оценки технического состояния СТ и алгоритмов принятия решений по их надежной эксплуатации в составе энергообъектов ЭЭС, отличающихся свойствами предиктивности и адаптивности.

Объектом исследования являются СТ, функционирующие на сетевых и генерирующих объектах ЭЭС.

Предметом исследования являются математические модели и алгоритмы оценки технического состояния СТ, правила принятия решений по их надежной эксплуатации.

2. НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Личный вклад соискателя заключается в сборе, обработке и обобщении статистических данных о параметрах, характеризующих техническое состояние СТ, совершенствовании моделей предиктивной диагностики и оценки состояния СТ, создании вычислительных алгоритмов для определения диагностической ценности методов мониторинга параметров состояния СТ и показателей эксплуатационной надежности, и экономической эффективности, выполнении вычислительных экспериментов с использованием разработанных алгоритмов, связанных методов статистической классификации, нечеткой логики и нечеткого логического вывода, а также выбора эксплуатационных воздействий, подготовке материалов и написании статей по тематике диссертационного исследования.

Научной новизной в представленной Яхья Аммар Абдулазиз Яхья диссертационной работе обладают следующие результаты:

- усовершенствованный метод выявления дефектов в СТ, учитывающий настройку положения границы раздела классов в пространстве состояний по

критерию минимальной суммарной ошибки, позволяющий повысить достоверность на основе статистических моделей Байесовской классификации при вариации состава и количества контролируемых параметров;

- количественный параметр определения диагностической ценности методов мониторинга параметров состояния СТ при интегральной оценке индекса технического состояния каждого СТ, и методика ее применения для определения показателей эксплуатационной надежности и экономической эффективности;
- обобщенный адаптивный алгоритм управления техническим состоянием СТ с учетом оперативной (предиктивной) оценки состояния и принятия решений по его дальнейшей эксплуатации, полученный на основе методов статистической классификации, нечеткой логики и нечеткого логического вывода;
- прикладное программное обеспечение, работающее на объекте электроэнергетики в составе информационно-аналитической системы поддержки принятия решений, разработанное на базе действующих и предложенных в диссертации методик оценки технического состояния СТ и выбора эксплуатационных воздействий.

Наиболее значимыми новыми теоретическими результатами, полученными в рамках диссертационной работы, являются:

- развитие математических моделей оперативной и предиктивной оценки состояния СТ,
- формирование ключевых компонент информационно-аналитической поддержки принятия решений по эксплуатации СТ с учетом их технического состояния.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Диссертационная работа Яхья Аммар Абдулазиз Яхья имеет конкретную практическую направленность, так как ее результаты могут быть использованы и уже используются:

- при расширении системы мониторинга СТ на Новосибирской ГЭС в части применения разработанной адаптивной модели предиктивной диагностики и оперативной оценки технического состояния СТ, а также методики формирования воздействий и алгоритма принятия решений по управлению их техническим состоянием;
- при подготовке нормативно-методических документов в ПАО «Газпром нефть» для расчета текущих значений индекса технического состояния

СТ и другого энергетического оборудования подстанций разных типов и классов напряжения, а также значений их остаточного ресурса и оптимизации планирования ТОиР энергооборудования с учетом его фактического состояния для повышения обоснованности принятия решений по объемам и периодичности воздействий;

– в учебном процессе при подготовке магистров направления 13.04.02 «Электроэнергетические системы и сети» по дисциплине «Эксплуатация электрических сетей» в части использования разработанного прикладного программного обеспечения, реализующего усовершенствованные математические модели и алгоритмы оценки технического состояния СТ и выбора воздействий по поддержанию их работоспособности.

Внедрение результатов диссертационного исследования Яхья Аммар Абдулазиз Яхья подтверждено актами использования результатов в филиале ПАО «РусГидро» Новосибирская ГЭС, в компании ООО «Ноябрьскэнергонепфть», и на кафедре АЭЭС НГТУ (Приложение А).

4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов и разработанных моделей, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием основных разделов теорий надежности, совпадением результатов с результатами опубликованных исследований других авторов, заключениями протоколов испытаний и положениями нормативных документов.

Обоснованность теоретических положений и выводов диссертации вытекает из строгости применяемых математических методов.

Представленные в диссертационной работе основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и рекомендации являются в целом обоснованными.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

Диссертационная работа Яхья Аммар Абдулазиз Яхья отвечает критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020). В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

5.1. Указанная соискателем цель работы – совершенствование математических моделей оценки технического состояния СТ и алгоритмов принятия решений по их надежной эксплуатации в составе энергообъектов ЭЭС,

отличающихся свойствами предиктивности (предсказательности) и адаптивности (приспосабливаемости) – достигнута в рамках представленной диссертационной работы. В целом диссертация является законченной научно-квалифицированной работой, так как содержит решение научной и практической задачи, имеющей существенное значение для электроэнергетической отрасли, заключающейся в совершенствовании математических моделей оценки технического состояния СТ и алгоритмов принятия решений по их надежной эксплуатации (п. 9).

5.2. Диссертация написана соискателем самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе ее автора в науку. Кроме того, в диссертации имеются сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов (акты о внедрении результатов в филиале ПАО «РусГидро» Новосибирская ГЭС, в компании ООО «Ноябрьскэнергонефть», и на кафедре АЭЭС НГТУ (Приложение А)). Предложенные соискателем научно-практические решения аргументированы и сопоставлены с результатами экспериментальных и аналитических исследований других авторов (п. 10).

5.3. Научные публикации Яхья Аммар Абдулазиз Яхья – 21 печатная научная работа, в том числе: 5 статей в изданиях из перечня российских рецензируемых научных журналов ВАК РФ по специальности 05.14.02; 5 статей – в научных изданиях, индексируемых наукометрическими базами Scopus и Web of Science; 11 статей в прочих научных изданиях. Основные научные положения и результаты диссертационной работы рассматривались на 9 международных и Всероссийских научных конференциях и семинарах. В полном объеме диссертационная работа рассматривалась на заседании кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем НГТУ (п.п. 11-13).

5.4. В диссертационной работе Яхья Аммар Абдулазиз Яхья сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов (п. 14).

5.5. Тема и содержание диссертации Яхья Аммар Абдулазиз Яхья соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» по следующим пунктам:

п. 5 «Разработка методов диагностики электрооборудования электроустановок»;

п. 6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»;

п. 13 «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

6. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Яхья Аммар Абдулазиз Яхья состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 146 наименований, и двух приложений. Объем диссертационной работы составляет 193 страницы машинописного текста, включая в себя 84 рисунка и 35 таблиц.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна и практическая значимость результатов, информация о внедрении и апробации полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава «Сравнительный анализ методов и моделей для оценки технического состояния и остаточного ресурса электрооборудования» посвящена анализу современных методов и моделей диагностирования и оценки остаточного ресурса СТ. Рассмотрены наиболее эффективные и широко применяемые методы раннего обнаружения дефектов в СТ, дана их характеристика с точки зрения интегральной оценки индекса технического состояния (ИТС) и прогнозной оценки остаточного ресурса. Разработана математическая модель вероятности отказа отдельных функциональных узлов и СТ в целом с учетом фактических значений его ИТС. Приведен расчет и выводы о получении положительного экономического эффекта от применения мониторинга СТ на основе метода анализа растворенных газов (АРГ).

Вторая глава «Выбор математического аппарата для разработки предиктивных и адаптивных моделей оценки состояния трансформаторов» посвящена выбору математического аппарата для разработки моделей оценки технического состояния СТ. Выполнен сравнительный анализ методов искусственного интеллекта, нашедших широкое применение при решении задач диагностирования СТ. Среди них искусственные нейронные сети, статистическая классификация и распознавание образов, нечеткие множества и нечеткая логика. На основании их анализа сделан вывод о том, что перспективным направлением дальнейших исследований является синтез моделей и алгоритмов, основанных на достоинствах аппарата теории нечетких множеств и нечеткой логики, которые позволяют разработать модели интерпретации результатов АРГ в масле СТ, и реализовать метод ИЕС, методы интерпретации с учетом отношений Дорненбурга и треугольника Дюваля. Выполнена верификация разработанных нечетких предиктивных моделей интерпретации типа дефектов в СТ.

В третьей главе «Разработка базовых моделей для управления состоянием трансформаторов на основе метода статистической классификации» приведен подход по совершенствованию моделей

статистической Байесовской классификации дефектов в СТ и их интеграции с оценкой остаточного ресурса. Представлена базовая методика формирования статистических моделей для оперативной и предиктивной оценки состояния СТ на основе Байесовских решений и результатов АРГ. Методика позволяет совершенствовать Байесовские модели в направлении повышения их адаптивности, которая реализована через настройку границы раздела классов состояний СТ. Выполнено исследование достоверности разработанных статистических моделей для оперативной оценки технического состояния СТ.

Четвертая глава «Информационно-аналитическая поддержка принятия решений по эксплуатации трансформаторного оборудования энергообъектов» посвящена реализации разработанных моделей и алгоритмов в составе информационно-аналитической системы (ИАС) поддержки принятия решений по эксплуатации СТ. На основе анализа задач управления эксплуатацией СТ в ЭЭС сформулированы ключевые принципы разработки ИАС, предложена ее базовая структура и набор функций. Рассмотрены принципы системы поддержки принятия решения по надежной эксплуатации СТ – информативность контроля параметров, адаптивность математических моделей, достоверность предиктивных оценок, эффективность эксплуатации.

В пятой главе «Разработка прикладного программного продукта «Программа распознавания дефектов в трансформаторах по результатам анализа растворенных в масле газов»» представлен разработанный прикладной программный продукт для распознавания дефектов в СТ на основе моделей Байесовской классификации и математического аппарата нечеткой логики в качестве экспертной системы для прогнозирования неисправностей. Программа предназначена для автоматизации процесса оценки технического состояния СТ 110 кВ и выше. В качестве входной информации используется информация от системы АРГ в масле СТ. В качестве выходной информации программа формирует отчет о текущем техническом состоянии каждого СТ, а также рекомендации о необходимости (целесообразности) проведения оперативных либо плановых мероприятий для поддержания (восстановления) его надежной эксплуатации. Приводятся результаты тестирования разработанной программы на СТ Новосибирской ТЭЦ-5, а также на сопоставлении с результатами других авторов, опубликованных в изданиях, индексируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus.

В заключении представлены обобщающие выводы по диссертационной работе, где показано, что разработанные подходы по совершенствованию математических моделей оценки технического состояния СТ и алгоритмов принятия решений по их эксплуатации в составе энергообъектов ЭЭС содействуют повышению надежности и эффективности их функционирования.

7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом Яхья Аммар Абдулазиз Яхья возникли следующие вопросы и замечания:

1. Из Главы 1 диссертации неясно, каким образом получена математическая модель (1.7) определения вероятности отказа отдельных функциональных узлов и СТ в целом с учетом фактических значений его ИТС, приведенная на стр. 36 диссертации?

Требуется также пояснить, учитывает ли эта математическая модель техническое состояние каждого функционального узла СТ, изменение вероятности отказа после выполнения ремонтного воздействия, а также каким образом получены количественные значения весовых коэффициентов для группы контролируемых параметров и для каждого функционального узла?

2. В Главе 1 диссертации представлено выделение функциональных узлов СТ, в том числе определен функциональный узел – «изоляция система», что не соответствует выделению функциональных узлов СТ в методике Минэнерго по расчету ИТС. Для СТ 35 кВ такой функциональный узел вообще не выделяется, а входит в функциональный узел – «обмотки трансформатора».

Также в методике Минэнерго нет функционального узла – «бумажная изоляция». Кроме того, помимо указанных в диссертации ресурсопределяющих функциональных узлов для обмоток СТ в зависимости от класса напряжения есть и другие ресурсопределяющие узлы и параметры.

Требуется пояснить почему имеет место такое отличие от действующего документа Минэнерго?

3. В Главе 2 разработаны цифровые модели и алгоритмы предиктивной оценки типа развивающихся в СТ дефектов, которые были подвергнуты верификации на большом массиве статистических данных АРГ с целью сравнительной оценки достоверности, получаемых с их помощью результатов, во-первых, по отношению друг к другу (сравнение друг с другом методов интерпретации), а, во-вторых, по отношению к некоторому эталонному независимому решению. Необходимо пояснить насколько обоснованно, правильно и возможно применять разработанные модели к различным СТ объектов ЭЭС, если в качестве эталонного решения принимались данные из практики эксплуатации лишь одного СТ типа ТДН-250000/220 Новосибирской ТЭЦ-5, возраст, качество системы ТОиР, и уровень технического состояния которого может существенно отличаться от других рассматриваемых СТ даже такого же типа и мощности?

4. Следует пояснить (объем выборки, ее однородность и репрезентативность), каким образом в Главе 3 автор по данным только метода АРГ определил, что дискриминантная весовая функция Φ в классах состояний

П1 («норма») и П2 («отклонение от нормы»), характеризующая границу раздела этих классов состояний СТ подчиняется одному из законов: нормальному, логарифмически-нормальному, гамма? Какой конкретно закон распределения из этих трех необходимо применять при интерпретации результатов АРГ по методам ИЕС, Дорненбурга, треугольника Дюваля?

5. Необходимо пояснить почему в Главе 4 (стр. 119) при расчете текущего значения ресурса по формуле (4.2) используется экспоненциальный закон, применение которого в диссертации не обосновано? При этом на графической интерпретации поддержания остаточного ресурса СТ в процессе эксплуатации (рис. 9 автореферата, стр. 17) показана линейная функция изменения ресурса.

6. Вывод 3 в Главе 4 (стр. 131 - 132) требует дополнительного пояснения о том, какие «иные» типы диагностических моделей выявления отклонений от «нормы» в функциональных узлах СТ используются в диссертационной работе для установления соответствия между признаком возникшей неисправности и состоянием функционального узла? Кроме того, также отсутствует пояснение и о том, как были получены корреляционные зависимости параметров базовой модели от признаков дефектов в различных функциональных узлах СТ, реализующие принцип дифференциальной диагностики?

7. Прикладное программное обеспечение, разработанное в Главе 5 диссертации, и представляющее собой вычислительное ядро системы поддержки принятия решений по эксплуатации СТ на объектах ЭЭС и реализующее предложенные модели и алгоритмы на единой вычислительной платформе, построено на основе следующих программно-вычислительных компонентов и приложений: Lab View 2018; Fuzzy Logic; Simulation; Node Formula Programming. Применение такого программного обеспечения на энергообъектах требует гарантии обеспечения кибербезопасности, и исключения внешнего вмешательства через него в работу энергообъекта. В диссертации об этом информация отсутствует. Как предполагается решать эту задачу?

Приведенные замечания и вопросы не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, поскольку существенно не влияют на основные выводы, а также полученные научные и практические результаты.

8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертационная работа Яхья Аммар Абдулазиз Яхья является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей как актуальностью и научной новизной, так и практической значимостью полученных результатов. В диссертационной работе решена важная научная и практическая задача совершенствования моделей предиктивной диагностики и оценки технического состояния силовых маслonaполненных

трансформаторов объектов энергетики, разработки системы поддержки принятия решений по обеспечению их надежной эксплуатации в составе информационно-аналитической системы, а также создания программного обеспечения для реализации предложенной предиктивной модели определения типа прогнозируемого дефекта, что имеет существенное значение для электроэнергетической отрасли.

Результаты, полученные соискателем в диссертационном исследовании, базируются на глубоком анализе и корректном использовании основных разделов теорий надежности, методов Байесовской теории принятия решений, методов теории распознавания образов и нечеткие логики, что позволяет сделать вывод о достоверности и обоснованности разработанных моделей, сделанных выводов и рекомендаций.

Содержание диссертационной работы соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Текст диссертационной работы изложен доступным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы диссертационного исследования представлены в объеме, достаточном для понимания, доступно и репрезентативно. Сделанные в диссертационной работе выводы и сформулированные рекомендации аргументированы.

Автореферат диссертации Яхья Аммар Абдулазиз Яхья соответствует диссертационной работе по основным квалификационным признакам: цель, задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, актуальность, научная новизна, практическая значимость полученных результатов.

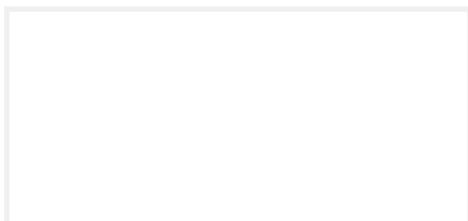
Основные научные и практические результаты диссертационной работы Яхья Аммар Абдулазиз Яхья изложены с достаточной полнотой в 21 научной публикации, в том числе: 5 статей в изданиях из перечня российских рецензируемых научных журналов ВАК РФ по специальности 05.14.02; 5 статей – в научных изданиях, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science; 11 публикаций в прочих изданиях. В совместных публикациях доля автора составляет не менее 60%.

В целом диссертационная работа Яхья Аммар Абдулазиз Яхья на тему «Совершенствование моделей предиктивной диагностики и оценки состояния трансформаторного оборудования энергообъектов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук является актуальной, обладает научной новизной и практической значимостью, соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы». Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно критериям пунктов 9-14 «Положения о

присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), а ее автор Яхья Аммар Абдулазиз Яхья заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

профессор кафедры «Электроэнергетика и электромеханика»
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»,
доктор технических наук, профессор



Александр Николаевич Назарычев

15 марта 2022 г.

Тел. (моб): +7(921) 961-41-34

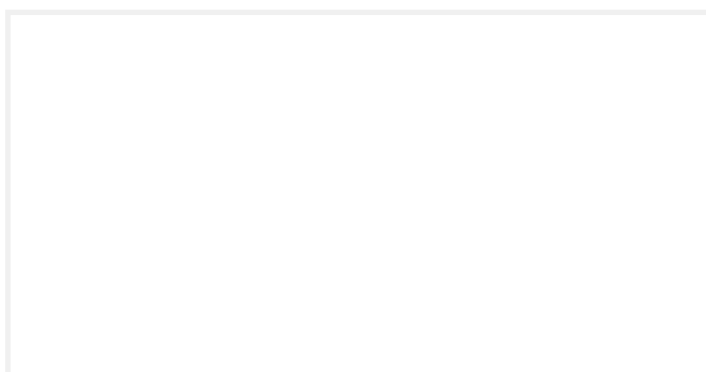
E-mail: Nazarychev_AN@pers.spmi.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургского горного университета» (ФГБОУ
ВО СПбГУ)

Адрес: 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21-я линия,
дом 2.

Телефоны: +7 (812) 328-41-34, +7 (812) 328-86-38.

E-mail: rectorat@spmi.ru, 3288281@spmi.ru, Web-сайт: <https://www.spmi.ru/>



Е.Р. Яновицкая

29.03.2022 г.

Озвоб получил 29.03.2022 г. Софт / Яновицкая Е.Р. /

Сотзывом ознакомлен 29.03.2022 г. Яхья А.А.