

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кос Оксаны Игоревны

«Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы» (технические науки).

Проблематика диссертационной работы

В работе Кос О.И. исследуется задача достижения минимума затрат на эксплуатацию, выраженного целевой функцией, при условии обеспечения заданного уровня надежности, выраженного вероятностью безотказной работы. Рассматривается общая постановка задачи управления техническим состоянием сложной технической системы. Для решения этой задачи предлагаются вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы (СТС).

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа является актуальной: разработаны новые методы и алгоритмы, которые позволяют отказаться от подхода планирования частоты обслуживания СТС с постоянным периодом между обслуживаниями, рассчитанным по некоторым усредненным для систем показателям, и перейти к новому подходу с переменным периодом, определяемым на основе оценки фактического состояния системы.

Предлагаемый метод прогнозирования технического состояния СТС позволяет подойти к проблеме надежности более глобально. Вместо того чтобы сосредотачиваться исключительно на оценке надежности в данный конкретный момент эксплуатации - что подразумевает фиксацию текущего технического состояния - внимание акцентируется на прогнозировании этого состояния в будущем, что позволяет управлять техническим состоянием СТС для достижения необходимых показателей надежности.

При этом, в работе показано, что решение, полученное с помощью предложенных методов и алгоритмов, оптимально. Это повышает качество полученных решений в сравнении с другими методами. Предложенные методы и алгоритмы смогут повысить эффективность управления техническим состоянием СТС.

Основное содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения. Полный объем диссертации 184 страницы текста. Список литературы содержит 83 наименования.

Во введении раскрыта актуальность темы диссертационного исследования, установлены цель и задачи исследования, а также раскрыты вопросы научной новизны, теоретической и практической значимости. Кроме того, описаны используемые методы исследования. Определены основные положения, которые подлежат защите, а также подтверждена достоверность полученных результатов, описаны: соответствие паспорту специальности, личный вклад, апробация работы и публикации по теме исследования.

В первой главе описаны основные термины и определения надежности, регламентируемые нормативными документами, приводится анализ современного состояния области, а также обзор существующих методов оценки надежности СТС, который включает в себя как детерминированные способы оценки надежности, так и методы расчета по предельным состояниям, а также вероятностные методы расчета надежности.

В данной работе предложен новый подход, основывающийся на необходимости осуществлять замены или ремонты элементов не по нормируемым срокам, а в соответствии с результатами расчетов по вероятностному методу с учетом фактического технического состояния этих элементов СТС.

Во второй главе представлены математические методы управления техническим состоянием СТС, приведена общая математическая постановка задачи и постановки задач, соответствующие разработанным методам. В этой

главе сформулированы и доказаны математические утверждения для созданных методов, с помощью которых решаются поставленные задачи.

В данной главе решается задача минимизации эксплуатационных затрат на СТС за счет эффективной замены ее элементов, что выражается через целевую функцию, при условии обеспечения заданного уровня надежности, выраженного вероятностью безотказной работы.

Объектом управления выступает СТС, тогда как субъектом управления является организация, осуществляющая эксплуатацию. Управляющий механизм включает в себя проведение замен и ремонтов отдельных элементов конструкции СТС в определенные моменты времени. Эти моменты не определяются на основании нормативных сроков, а вычисляются с использованием математических методов, которые учитывают текущее техническое состояние СТС и всю предшествующую историю ее эксплуатации.

Критерием эффективности управления служит минимизация целевой функции при соблюдении заданных ограничений, что подразумевает снижение затрат на эксплуатацию при обеспечении требуемого уровня надежности.

В данной главе разработан рекуррентный метод расчета надежности на основе оригинальной классификации элементов СТС, позволяющей учитывать взаимосвязи элементов системы.

Далее описывается математический метод управления техническим состоянием элементов сложной технической системы на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами для вычисления оптимального интервала замены (ремонта) каждого элемента.

Третья глава посвящена решению задачи оптимизации эксплуатационных затрат с помощью генетического алгоритма. Совокупность интервалов замен или ремонтов элементов СТС, которые получены с помощью методов, изложенных в предыдущей главе, подвергается дальнейшей оптимизации за счёт сокращения количества выходов на объект.

Автором сформулирована математическая постановка задачи достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию и предложен метод ее решения.

Множеством решений данной задачи является оптимальная, т.е. эффективная с точки зрения эксплуатации совокупность времен замен (ремонтов) элементов СТС.

Ограничением при решении задачи оптимизации будет требование на совокупность оптимальных интервалов, заключающееся в том, что эти интервалы могут быть уменьшены до ближайшего интервала, но не могут быть увеличены, так как в этом случае не будет обеспечена надежность СТС.

Критерий оптимальности решения задачи выражен целевой функцией, значения которой используют для сравнения решений.

При реализации генетического алгоритма применялись гибридные операторы, такие как гибридная селекция, гибридный кроссинговер и гибридная мутация.

Задача оптимизации эксплуатационных затрат решена с помощью модифицированного генетического алгоритма, что позволяет сократить количество выходов на объект и, следовательно, повысить экономическую эффективность эксплуатации и обеспечить требуемую надежность.

В четвертой главе представлены разработанные автором алгоритмы, основанные на методах, описанных во второй и третьей главах:

- рекуррентный алгоритм, предназначенный для расчета надежности всей сложной технической системы, который основан на классификации ее элементов;
- алгоритм, позволяющий определить оптимальный интервал для замены или ремонта отдельных элементов сложной технической системы;
- алгоритм оптимизации эксплуатационных затрат на СТС, основанный на модифицированном генетическом алгоритме, с помощью которого осуществляется минимизация количества выездов на объект эксплуатации.

В пятой главе диссертационной работы представлен разработанный автором программный комплекс «Надежность СТС», который реализует все методы и алгоритмы, изложенные в предыдущих главах. Данный программный комплекс включает интерактивный графический препроцессор и три модуля, построенных на следующих методах: рекуррентном методе расчета надежности на основе классификации элементов СТС, методе управления техническим состоянием элементов СТС на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами, позволяющий вычислить оптимальный интервал замены (ремонта) каждого элемента СТС, адаптированном генетическом алгоритме для достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект.

Далее строится схема управления техническим состоянием элементов СТС и системы в целом на весь период эксплуатации, которая является одним из основных результатов диссертационной работы.

Таким образом, созданный программный комплекс интегрирует все разработанные автором методы и алгоритмы управления техническим состоянием и служит основой для эффективного управления техническими состояниями СТС в процессе их эксплуатации.

В шестой главе описана технология применения разработанных алгоритмов на высокопроизводительной параллельной вычислительной системе, что может оказаться необходимым для масштабирования задачи управления эксплуатацией, например, для большего количества искусственных сооружений, а также для расчетов в режиме реального времени, например, при принятии решений руководством эксплуатирующих компаний.

В седьмой главе приведены результаты расчетов параметров функций отказов элемента СТС с учетом ранее проведенных ремонтов и обследований, результаты расчетов оптимальных интервалов замен (ремонтов) элементов на основе метода управления техническим состоянием элементов СТС,

результаты расчетов срока эксплуатации СТС и зависимости вероятности безотказной работы СТС от времени на основе рекуррентного метода расчета надежности с учетом созданной классификации.

В этой главе автором построены схемы управления техническим состоянием эксплуатируемых в настоящее время сложных технических систем, рассчитаны зависимости износа, меры повреждения и вероятности безотказной работы от прошедшей нагрузки для элементов СТС.

Полученные результаты расчетов подчеркивают практическую значимость использования разработанных методов и алгоритмов с целью обеспечения надежности и повышения эффективности эксплуатации сложных технических систем.

В заключении диссертационной работы сделаны основные выводы по работе.

Основные результаты и их научная новизна

Все результаты, полученные соискателем, являются новыми.

Основные результаты и их новизна состоят в следующем:

- разработан метод расчета параметров функции отказов любого элемента СТС на основании результатов обследований;
- создана классификация элементов СТС по их влиянию на надежность системы в целом;
- разработан рекуррентный метод расчета надежности на основе классификации элементов СТС для определения вероятности безотказной работы системы в целом в заданный момент времени с учетом всех произведенных замен (ремонтов) элементов этой системы в предшествующие моменты времени;
- создан метод управления техническим состоянием элементов СТС на основе выбранных функций отказов элементов с рассчитываемыми параметрами, позволяющий вычислить оптимальный интервал замены (ремонта) каждого элемента СТС;

- применен адаптированный генетический алгоритм для достижения оптимального уровня затрат на эксплуатацию за счет минимизации количества выходов на эксплуатируемый объект;
- построена схема управления техническим состоянием элементов СТС и СТС в целом на весь период эксплуатации.

Достоверность полученных результатов

Теоретические результаты диссертационной работы Кос О.И. сформулированы в виде доказанных утверждений. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, являются обоснованными и подкреплены необходимыми математическими утверждениями.

Достоверность подтверждается публикациями результатов диссертационного исследования в рейтинговых российских и зарубежных журналах, а также докладами на многих российских и международных конференциях по управлению техническим состоянием сложных технических систем и искусственному интеллекту.

Достоверность результатов диссертационного исследования Кос О.И. обусловлена использованием признанных и надежных математических методов, включая методы теории вероятностей и математической статистики.

Достоверность полученных результатов подтверждается также воспроизводимостью результатов исследований, результатами практического применения и согласованностью результатов расчетов, полученных в разработанном программном комплексе, с данными результатов обследований СТС, практическим использованием результатов работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается детальным анализом и описанием разработанных алгоритмов и методов, апробацией полученных научных результатов на международных и всероссийских конференциях, а также публикацией в рецензируемых научных изданиях.

Выводы по главам и всей работе в целом логически следуют из основного содержания диссертации.

**Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным «Положением о присуждении ученых степеней»**

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной на достаточно высоком научном уровне. Работа соответствует пунктам 1, 6, 8, 16 паспорта специальности 2.3.8. «Информатика и информационные процессы».

Диссертация является самостоятельным исследованием, содержащим совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты. Все основные результаты достаточно полно отражены в 17 рецензируемых научных изданиях.

Диссертационная работа отличается внутренним единством. Результаты соискателя являются новыми. Работа в целом написана грамотно, доходчиво и оформлена в соответствии с требованиями. В тексте работы даны корректные ссылки на авторов и источники. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Кос О.И. демонстрирует глубокие знания не только в области управления техническим состоянием сложных технических систем, но и во многих других областях науки и техники. На основе этих разработок было впервые предложено управление техническим состоянием СТС, которое делает возможным не только прогнозирование их состояния, но и динамическое управление им. Это достигается благодаря перерасчету временных интервалов для замены или ремонта элементов СТС после каждого обследования, ремонта или замены. Такой подход открывает новые возможности для оптимизации управления техническим состоянием СТС, обеспечивая при этом заданный уровень надежности. В частности, он позволяет осуществлять скользящее планирование замен и ремонтов сложных технических систем в условиях неопределенности на больших временных

промежутках и решать практические задачи, связанные с управлением техническим состоянием эксплуатируемых СТС.

Апробация работы и публикации

Основные научные результаты диссертации Кос О.И. докладывались на российских и международных конференциях и были опубликованы в 17 рецензируемых научных изданиях, в том числе 9 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ и в изданиях, включенных в международную реферативную базу данных Scopus.

Замечания

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. не раскрыта возможность использования разработанного программного комплекса в других предметных областях;
2. не описана возможность применения созданных методов и алгоритмов для других типов искусственных сооружений;
3. сведения о результатах и методике обследований искусственных сооружений, эксплуатирующихся в настоящее время, представлены недостаточно полно.

Указанные замечания носят рекомендательный характер, не являются принципиальными и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертационной работы Кос О.И.

Заключительная оценка

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, имеющее научную ценность и возможность практического применения, обладающее внутренним единством, содержащее решение задачи, обладающей актуальностью, новые научные результаты, полученные автором лично, и свидетельствующее о личном вкладе автора в науку.

Диссертационная работа «Вероятностные методы и алгоритмы управления состоянием сложной технической системы» удовлетворяет требованиям ВАК РФ (п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней»),

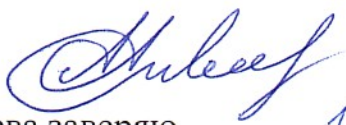
утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы» (технические науки), а ее автор, О. И. Кос заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по данной специальности.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела № 55 Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН).

Адрес: 119333, Москва, 119333, ул. Вавилова, д. 44/2,

Тел.: +7(905)-711-44-27

Эл. почта: aidiveev@mail.ru



Дивеев Асхат Ибрагимович

Подпись А.И. Дивеева заверяю

17.01.2025

