

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора,  
профессора Высшей школы технологий искусственного интеллекта федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Большакова Александра Афанасьевича

на диссертационную работу Ву Динь Хиеу

«Модели и алгоритмы экспресс-диагностики технического состояния  
сложных объектов на основе нового интегрального показателя»

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка  
информации, статистика»

### 1. Актуальность исследования

Для обеспечения надежного функционирования производственного оборудования требуются применение высокоэффективных методов контроля технического состояния. Важным аспектом также является использование современных математических методов и алгоритмов обработки данных для анализа и оценки состояния и управления техническими системами.

Используемые методы экспресс-оценки состояния оборудования на основе экспертных оценок связана с субъективным фактором, что снижает их надежность. Поэтому замена экспертных оценок на объективные данные об оборудовании позволит реализовать информационную систему мониторинга состояния технических средств в реальном режиме времени. Это обеспечит оперативное формирование рекомендаций, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций, а также планирование объема работ и требуемых средств для выполнения ремонтно-восстановительных операций

Разработке системы экспресс-диагностики сложных технических объектов на основе оперативной интегральной оценки их состояния посвящена диссертация Ву Динь Хиеу.

Объектом исследования автора является информационная система экспресс-диагностики состояния технических объектов в процессе их эксплуатации

Предметом исследования являются модели и алгоритмы экспресс-диагностики состояния технических объектов в процессе их эксплуатации

Ключевой задачей работы является разработка моделей, методов и алгоритмов, направленных на повышение надежности экспресс-оценок состояния оборудования и остаточного ресурса на основе уменьшения человеческого фактора.

Исследования, проведенные в работе, приняты к использованию во Вьетнамской военной авиационной ремонтной компании «А32», а также в ООО «Окстрон корпоративные решения», о чем свидетельствуют акты, полученные от этих компаний.

Исходя из вышеуказанного, следует, что диссертация Ву Динь Хиеу, посвященная повышению эффективности функционирования сложных технических объектов на основе экспресс-диагностики оперативной интегральной оценки их состояния, является актуальной.



**2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций** является достаточно высокой и подтверждается корректным применением теории алгоритмов, программирования, графов, вероятностей и математической статистики, методов системного анализа и анализа иерархии Томаса Саати.

Сформулированные научные положения подтверждаются также положительными результатами практического использования разработанных автором программных средств, реализующих предложенные методы, модели и алгоритмы на предприятиях:

- Вьетнамская военная авиационная ремонтная компания «А32»: система сбора и обработки данных для формирования базы статистической информации; модели и алгоритмы расчета нового показателя "модифицированный индекс технического состояния" оборудования; алгоритм расчета остаточного ресурса технического объекта;

- ООО «Окстрон: модели и алгоритмы расчета нового интегрального показателя "модифицированный индекс технического состояния" для экспресс-диагностики состояния и определения ремонтпригодности сложного технического объекта.; модель системы непрерывного (циклического) мониторинга и оценки качества технического состояния объекта и автоматического формирования рекомендаций по техническому обслуживанию; метод планирования работ по обслуживанию технических объектов в условиях ограниченных ресурсов.

Полученные научные результаты и практические достижения с использованием методов и алгоритмов экспресс-диагностики сложных технических объектов на основе оперативной интегральной оценки их состояния рекомендуется применять в различных отраслях промышленности в виде проблемно-ориентированных систем поддержки принятия решений (СППР). Полученные научно-технические решения по построению программных средств целесообразно использовать при обучении студентов технических университетов.

### **3. Достоверность и новизна научных положений и рекомендаций**

*Достоверность научных положений и рекомендаций* подтверждается соответствием теоретических положений полученным результатам и практикой их успешного использования предприятиями, а также образовательным учреждением. Это подтверждает, что разработанные автором методы, модели и алгоритмы позволяют успешно решать задачи, связанные с экспресс-диагностикой сложных технических объектов на основе оперативной интегральной оценки их состояния для повышения эффективности их функционирования, следовательно, адекватны.

*Новизна научных положений, значимость для науки и практики* результатов диссертационного исследования заключается в следующем:

- математическая и алгоритмическая модели нового интегрального показателя "модифицированный индекс технического состояния" для экспресс-оценки уровня состояния сложного объекта;
- методы:
  - определения ремонтпригодности сложного технического объекта на основе предложенного интегрального показателя;



- поддержки принятия решений по выбору рациональных вариантов ремонтно-восстановительных работ в условиях наличия ограничений на ресурсы;
- концептуальная модель системы непрерывного (циклического) мониторинга и оценки качества технического состояния сложного объекта.

Полученные вышеописанные результаты позволили разработать информационную систему непрерывного мониторинга состояния технического объекта.

#### **4. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертации**

*Значимость для науки выводов и рекомендаций* диссертационного исследования представляют предложенные математическая и алгоритмическая модели нового интегрального показателя «модифицированный индекс технического состояния» для экспресс-оценки уровня состояния сложного объекта; методы определения ремонтпригодности сложного технического объекта на основе предложенного интегрального показателя и поддержки принятия решений по выбору рациональных вариантов ремонтно-восстановительных работ в условиях наличия ограничений на ресурсы; а также концептуальная модель системы непрерывного (циклического) мониторинга и оценки качества технического состояния сложного объекта..

*Значимость для практики выводов и рекомендаций* диссертационного исследования заключается в том, что предложенные методы, модели и алгоритмы целесообразно использовать в системах контроля уровня технологической безопасности в реальном режиме времени и прогноза остаточного ресурса технического объекта.

Основные результаты и выводы диссертационного исследования автора представлены в 9 статьях, в т.ч. в 4-х опубликованных в рецензируемых научных журналах и изданиях из Перечня, рекомендованного ВАК. Прошли апробацию на различных научных международных и российских конференциях. По результатам диссертационного исследования получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ РФ.

#### **5. Заключение**

##### **5.1 Оценка диссертационного исследования как квалификационной работы**

Диссертационная работа Ву Динь Хиеу является завершенной самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой на основе авторских исследований разработаны новые методы, модель и алгоритмы экспресс-диагностики состояния технических объектов в процессе их эксплуатации, практическое использование которых позволяет существенно повысить эффективность функционирования технических объектов в процессе эксплуатации, т.е. решена научная задача, имеющая важное хозяйственное значение. На основании



вышеуказанного можно утверждать, что работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук и изложенным в Постановлении Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения учёных степеней» (с изменениями и дополнениями) в редакции от 16 октября 2024 г. (пункты 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней»).

## **5.2 Оценка содержания и авторского вклада. Соответствие работы паспорту специальности**

Диссертация соответствует следующим пунктам области исследования специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»:

**ПЗ:** *«Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта».* Новый интегральный показатель "модифицированный индекс технического состояния" (ИТСм) отличается тем, что его расчет основан на фактических параметрах сложного объекта и позволяет получить экспресс-оценку уровня его состояния без использования оценок экспертов. Концептуальная модель системы непрерывного (циклического) мониторинга и оценки качества технического состояния сложного объекта, отличается тем, что введена новая лингвистическая шкала, позволяющая формировать рекомендации по планированию ремонтно-восстановительных работ и поддержанию его работоспособности.

**П4:** *«Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта».* Метод определения ремонтпригодности сложного технического объекта, отличающийся тем, что рассчитывается пороговое значение предложенного интегрального показателя, что позволяет получить экспресс-оценку остаточного ресурса по заданной доверительной вероятности.

**П11:** *«Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов»* Метод поддержки принятия решений по выбору рациональных вариантов ремонтно-восстановительных работ отличается тем, что основан на модели предложенного интегрального показателя и позволяет планировать ремонтно-восстановительные работы в условиях наличия ограничений на ресурсы.

Таким образом, предложены интегральный показатель, методы определения ремонтпригодности сложного технического объекта) и поддержки принятия решений по выбору рациональных вариантов ремонтно-восстановительных работ, а также концептуальная модель системы, обеспечивающие эффективность функционирования технических объектов в процессе эксплуатации на основе предложенной процедуры экспресс-диагностики состояния технических объектов.



## Общая характеристика работы

Диссертация включает введение, 4 главы, заключение, список сокращений и обозначений, список использованных источников из 194 наименования, 3 приложения. Полный объём диссертации составляет 150 страниц.

Во *введении* обоснована актуальность выполненных автором научных исследований. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, информационная база и методы исследования, обоснованность и достоверность полученных в работе результатов. Приведены результаты практической реализации работы. Представленное соискателем обоснование актуальности темы и цели диссертационного исследования выполнено корректно и замечаний не вызывает.

В *первой главе* осуществлен системный анализ современного состояния исследований в области методов оценки состояния технических объектов. Показано, что основным фактором, влияющим на нарушение параметров технического состояния, является процесс износа, который определяет возможность выполнения ремонтно-восстановительных работ или вывода объекта из эксплуатации. Поэтому оценка технического состояния СТО, а также остаточного ресурса с точки зрения возможной эксплуатации является задачей актуальной. Выполнен анализ существующих моделей, методов для решения задачи оценки технического состояния объекта. Несмотря на наличие большого числа критериев оценки состояния СТО отмечена тенденция использования интегрального критерия, называемого "Индекс технического состояния" (ИТС), который основан на методе анализа иерархий (методе Т. Саати). Системный анализ использования при вычислении ИТС субъективных оценок экспертов, а также единой шкалы для оценки возможности эксплуатации СТО позволили сделать вывод о необходимости совершенствования интегрального показателя ИТС. Выполнен обзор программных продуктов для оценки СТО, который показал, что сохраняется трудность исключения субъективного фактора при выполнении расчетов экспресс-оценок ИТС, разработки концепции информационной системы мониторинга состояния СТО в реальном режиме времени и расчета остаточного ресурса. Сформулированы задачи диссертационного исследования

Во *второй главе* разработаны математическая и алгоритмическая модели модифицированного индекса технического состояния для экспресс-оценки СТО. При этом показатели ИТС узлов технического объекта определяются на основе объективных данных, включающих информацию о графической модели СТО и статистические характеристики рабочих параметров узлов объекта. Разработан метод определения параметров модели, т.е. их весов, участвующих в процессе экспресс-оценки состояния СТО, на основе статистических характеристик рабочих параметров объекта. Предложен метод определения весов основных функциональных узлов технического объекта, участвующих в процессе оценки его технического состояния, на основе конструктивных данных объекта. Разработан метод обработки статистической информации о параметрах объекта для мягкой оценки качества его технического состояния на основе лингвистической шкалы. Этот метод отличается от существующих обоснованным выбором достоверной



вероятности и позволяющий оценивать остаточный ресурс оборудования. Предложена база рекомендаций на основе уровней соответствующей лингвистической шкалы, необходимых для планирования и выполнения работ по восстановлению или выводу оборудования из эксплуатации на основе расчета ИТСм. Разработан метод поддержки принятия решений по выбору рациональных вариантов ремонтно-восстановительных работ в условиях наличия ограничений на ресурсы.

В *третьей главе* разработана концептуальная модель информационной системы непрерывного мониторинга состояния технического объекта. Она позволяет контролировать состояние технического объекта в режиме реального или периодического времени, исключая влияние субъективного фактора на результаты оценки технических показателей состояния. Система способна формировать предложения по приоритетному порядку ТОиР, а также рекомендации по использованию технического объекта и его функциональных узлов. Разработана концептуальная модель базы данных информационной системы для хранения оперативных и статистических данных о функционировании СТО, узлов и рабочих параметрах. Приведено описание программной системы оценки технического состояния СТО на примере турбореактивных двухконтурных двигателей по данным NASA. Построенная на разработанных моделях информационная система позволяет осуществлять мониторинг состояния технического объекта, формировать рекомендации по эксплуатации технического объекта и его узлов, что исключает субъективный фактор в результатах.

В *четвертой главе* описаны результаты проведенных экспериментальных вычислений по методикам определения весов узлов и рабочих параметров оцениваемого оборудования. Показана возможность определения весов на основе конструктивных данных сложного технического объекта и статистических характеристик рабочих параметров. Предложенная модель и алгоритм экспериментально проверены для оценки ИТС 3-х двигателей из экспериментального набора данных. Выполнена оценка эффективности и анализ применимости предложенной модели и алгоритма проводились сравнением с методикой расчета индекса технического состояния, утвержденной Минэнерго РФ. Результаты сравнительного анализа показали, что предложенный метод оценки технического состояния оборудования позволяет получать плавно изменяющиеся во времени значения показателя, постепенно снижающиеся в течение наработки ИТСм оборудования, что соответствует непрерывному процессу износа деталей технического оборудования. На основе предложенного метода можно прогнозировать ИТС оборудования с использованием предыдущих значений ИТС. Сравнительный метод не позволяет этого сделать. Выполнены экспериментальные вычисления по определению порогового значения ИТСм оборудования, имеющего большое значение при определении остаточного ресурса. Результаты испытаний показали, что пороговое значение ИТС может быть определено на основе набора данных испытаний однотипных технических объектов с использованием допустимого значения вероятности безотказной работы технического объекта. Выполнено определение прогнозируемого значения интегрального показателя с использованием полиномиальной регрессии 2-го порядка. Скорректированный коэффициент детерминации составил 0.98, что свидетельствует о высокой степени адекватности регрессии.



В заключении обобщены полученные в процессе диссертационного исследования научные и практические результаты.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Оформление диссертации и автореферата соответствует Национальному стандарту РФ ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». М.: Стандартинформ, 2018, а также Приказу Минобрнауки России от 7 июня 2021 г. № 458 «О внесении изменений в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени кандидата наук, утвержденное приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093». В целом представленные материалы диссертационной работы позволяют достаточно полно оценить объём, сложность и актуальность проведённого исследования.

### **Общие замечания по диссертационной работе**

1. Целью диссертационного исследования является повышение эффективности функционирования технических объектов в процессе эксплуатации. Предложенная соискателем экспресс-диагностика технического состояния на основе разработанных методов и моделей является средством ее достижения. Желательно в явном виде сформулировать количественный показатель эффективности или результативности. К ним можно отнести введенный индекс технического состояния (ИТС), время расчета показателей остаточного ресурса, оборудования, время принимаемых решений.

2. Сформулирована задача 5 по программной реализации предложенных методов и алгоритмов экспресс-диагностики технического состояния сложных объектов и анализ их эффективности. Однако отсутствует сформулированный новый научный результат, который соответствует п. 9 паспорта научной специальности «Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов», а также соответствующий пункт в Положениях, выносимых на защиту, который описан в п. 3.4 диссертации.

3. Для сравнения предложенного метода используется методика, утвержденная Минэнерго РФ. Желательно привести обоснование выбранного метода для его усовершенствования. Интерес представляет также его сравнение с другими, например, методами машинного обучения.

4. Используются понятия непрерывного и циклического мониторинга. Целесообразно привести основные отличия этих подходов, а также результатов их использования.

5. Применяется метод декомпозиции сложного объекта на определенные компоненты, которые названы узлами. При этом используемый принцип декомпозиции не описан, отсутствуют данные о границах процесса декомпозиции. Желательно показать степень влияния важности технического состояния отдельной детали при оценке состояния всего объекта.

6. Не рассмотрено влияние объема статистических данных на результат оперативную оценку состояния технического объекта.

7. Рекомендации по оформлению диссертации и автореферата.



Полученный новый научный результат обычно относят к одному из пунктов паспорта научной специальности. В соответствии с этим рекомендуется следующее соотнесение полученных научных результатов пунктам паспорта научной специальности 2.3.1:

- 1. *Новый интегральный показатель "модифицированный индекс технического состояния" (ИТСм) ... (п.п. 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»);*

- 2. *Метод определения ремонтпригодности сложного технического объекта ... (п.п. 4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»);*

- 3. *Концептуальная модель системы непрерывного (циклического) мониторинга и оценки качества технического состояния сложного объекта (п.п. 3 «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта»).*

- 4. 4. *Метод поддержки принятия решений по выбору рациональных вариантов ремонтно-восстановительных работ (п.п. 11 «Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов.»).*

При этом полученные 4 новых научных результата соответствуют в порядке их указания 4-м аспектам паспорта научной специальности 2.3.1:

- системный анализ (интегральный показатель);
- управление (метод определения ремонтпригодности сложного технического объекта);
- обработка информации (концептуальная модель системы);
- статистика (метод поддержки принятия решений по выбору рациональных вариантов ремонтно-восстановительных работ).

В списке опубликованных работ в автореферате (стр. 19, 20) указано 9, однако в описании на стр. 6 – 8.

«Лучше» не использовать термин «наилучший», достаточно «лучший» (автореферат: с. 7, 11; диссертация: с. 60)

Отмеченные замечания и рекомендации не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

### 5.3 Опубликование основных результатов

По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в т.ч. 2 статьи в журналах из Перечня, рекомендованного ВАК; 1 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, 4 – публикаций в других изданиях.



#### 5.4 Характеристика источников результатов работы

В диссертационной работе и автореферате содержатся необходимые обязательные ссылки на источник заимствования.

Таким образом, работа в целом соответствует пункту 14 «Положения о присуждении ученых степеней».

#### ОБЩИЙ ВЫВОД

Считаю, что диссертация Ву Динь Хиеу «Модели и алгоритмы экспресс-диагностики технического состояния сложных объектов на основе нового интегрального показателя», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», отвечает формуле и пунктам области исследования специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, изложенным в Постановлении Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (пункты 9, 10, 11, 13, 14), в Положении о порядке присуждения степеней ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор Высшей школы технологий искусственного интеллекта  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого»

Большаков Александр Афанасьевич  
23 октября 2025 года

Специальности, по которым защищена докторская диссертация:

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в промышленности);

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах.

Адрес места работы: Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, корп. 4, ауд. 306  
Тел. каф.: +7 (812) 552-65-21, моб.: +7 (931) 541-41-59; e-mail: aabolshakov57@gmail.com

Подпись официального оппонента А.А. Бс

Ю  
Большаков А.А.  
ЗВЕРЯЮ  
Лист  
Ширшов  
2025 г.