

На правах рукописи



САВОЧКИН Александр Евгеньевич

**МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
И АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ
СОСТОЯНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
ПО КОРОТКИМ ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ**

Специальность 05.13.17 – теоретические основы информатики

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ПЕНЗА – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» на кафедре «Информационные технологии и системы».

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор

Михеев Михаил Юрьевич

Официальные оппоненты:

Громов Юрий Юрьевич,

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Гамбовский государственный
технический университет», директор
Института автоматизации и информационных
технологий.

Мясникова Нина Владимировна,

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
университет», профессор кафедры «Автоматика
и телемеханика»

Ведущая организация – Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Рубин» (АО «НПП «Рубин»), г. Пенза.

Защита состоится 28 декабря 2018 г., в 14 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.337.01 на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» и на сайте www.penzgtu.ru.

Автореферат разослан 16 ноября 2018 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Чулков Валерий Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В работе рассматриваются технические объекты ответственного назначения (ТО ОН), которые характеризуются высокой скоростью развития процессов, приводящих к состояниям, сопряженным с риском аварийных ситуаций. Надежность и безопасность эксплуатации ТО ОН предполагает контроль с помощью специализированных вычислительных систем (СВС) их технического состояния (ТС), которое описывается совокупностью физических параметров, в совокупности определяющих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных условиях эксплуатации.

Множество состояний ТО ОН соответствует набору литеральных ситуаций, возникающих в процессе его эксплуатации. Возможные варианты изменения состояния ТО ОН описываются соответствующей нормативной документацией, которая определяет ТС, отличное от «исправного» или «работоспособного», как «недопустимое», «предаварийное», «аварийное» и пр. В рамках данной работы используется обобщение понятия «литеральная ситуация», под которым понимается ситуация, описываемая литеральной переменной, характеризующей объект на основе выявленных структурных нестабильностей коротких временных рядов (ВР).

Наблюдаемые физические процессы, протекающие в ТО ОН и внешней среде, отображаются в виде ВР, причем требования по быстрдействию, налагаемые оперативностью управления, определяют ограничения на число членов (n) ВР. В данной диссертационной работе, в первую очередь, рассматриваются алгоритмы идентификации литеральной ситуации по результатам анализа структуры ВР с ограниченным числом членов ($7 \leq n \leq 60$) – коротких ВР, исследование которых обусловлено факторами:

1. ограниченная актуальная часть. Фиксация и хранение мониторинговых данных о происходящих изменениях наблюдаемого физического процесса становятся причиной их устаревания;

2. большие участки неинформативных данных. О наступлении лите-
ральной ситуации свидетельствует лишь небольшой, хорошо локализованный
во времени информативный участок ВР из имеющегося в наличии значитель-
ного объема мониторинговых данных, при этом значительный объем уже на-
копленных данных может потерять актуальность ввиду резкого изменения
внешних воздействий или внутренних изменений технического объекта;

3. объективно существуют неустранимые причины, ограничивающие
скорость передачи и анализа информации в СВС. Эти причины заключаются
в ограниченном быстродействии датчика, технологическом ограничении ско-
рости поточной линии, ограничении скорости беспроводной передачи ин-
формации в естественной среде и, как следствие, применении низкочастотной
параметрической аппаратуры. Все это приводит к ограничению числа членов
(размера) ВР, характеризующего физический процесс в техническом объекте.

Возникновение лите-ральной ситуации проявляется в форме нестабиль-
ностей в структуре ВР, выражающих непостоянство дисперсии стохастиче-
ской составляющей ВР (гетероскедастичность), а также мультипликативной и
аддитивной составляющих ВР, описывающих протекающие в ТО ОН физиче-
ские процессы. Сложность идентификации лите-ральной ситуации обусловле-
на недостатком данных, организованных в виде короткого ВР. Малое число
членов короткого ВР, отсутствие априорной информации о протекающих в
ТО ОН физических процессах, необходимость по возможности быстрой
идентификации лите-ральной ситуации определяют ряд специфических тре-
бований на применение известных алгоритмов анализа ВР. Это в свою оче-
редь существенно сужает набор алгоритмов анализа ТС ТО ОН для ком-
плексной процедуры идентификации их состояний.

В этой связи тема диссертационного исследования, посвященного оп-
ределению состояния ТО ОН на основе методов, моделей и алгоритмов ана-
лиза коротких ВР и построения прогнозов, является **актуальной**.

Объект исследования - специализированные вычислительные системы
идентификации состояний технических объектов.

Предмет исследования – информационно-структурные модели прогнозирования и алгоритмы идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам.

Цель настоящей работы – идентификация состояний ТО ОН по короткой актуальной части ВР, отображающего информационный процесс, соответствующий режиму работы ТО ОН.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи**.

– провести анализ современного состояния исследований и разработок моделей прогнозирования и алгоритмов идентификации состояний ТО ОН, которым соответствуют литеральные ситуации, по коротким ВР;

– синтезировать информационно-структурные модели прогнозирования коротких ВР для определения состояний ТО;

– разработать комплексный алгоритм идентификации литеральных ситуаций, соответствующих состояниям ТО ОН, по коротким ВР;

– провести техническую реализацию комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций, соответствующих состояниям ТО ОН;

– провести экспериментальную оценку технической реализации комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций по коротким ВР на реальных данных.

Методы исследования. Для решения поставленных задач были использованы методы математического анализа, теории статистики, теории сигналов, теории информации, а также методы работы в рамках интерактивной системы выполнения инженерных и научных расчетов.

Научная новизна основных научных результатов.

1. Информационно-структурные модели прогнозирования коротких временных рядов, отличающиеся адаптивностью и минимальной сложностью реализации, позволяющие получить результаты прогноза в условиях малой полноты актуальных данных с учетом структурных нестабильностей коротких временных рядов.

2. Комплексный алгоритм идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам, отличающийся сочетанием инструментов анализа коротких временных рядов, позволяющий выделить из большого объема мониторинговых данных короткую актуальную часть.

3. Техническая реализация комплексного алгоритма идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам, представляющая расширенные математические библиотеки интерактивной системы выполнения инженерных и научных расчетов, отличающаяся консолидацией в своих рамках дискретных математических моделей коротких временных рядов, позволяющая испытать разработанные модели и алгоритмы.

Практическая значимость основных научных результатов.

1. Информационно-структурные модели прогнозирования коротких временных рядов, позволяющие определять дальнейшее развитие короткого временного ряда и составить перспективную оценку возможности достижения нового состояния технического объекта.

2. Комплексный алгоритм идентификации состояний технических объектов, обладающий возможностью программной реализации, позволяющий обрабатывать данные с короткой актуальной частью и проводить на их основе идентификацию литеральных ситуаций, исключая эргатический уровень принятия решения на промежуточных этапах идентификации.

3. Техническая реализация комплексного алгоритма идентификации состояний технических объектов, позволяющая интегрировать его в специализированные вычислительные системы.

4. Экспериментальная оценка технической реализации комплексного алгоритма идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам, позволяющая апробировать предлагаемые разработки на реальных данных, оценить полученные результаты и выработать рекомендации по внедрению.

Соответствие паспорту специальности. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики (технические науки) по следующим областям исследований:

п.1. «Исследование, в том числе с помощью средств вычислительной техники...»;

п.2. «Исследование информационных структур, разработка и анализ моделей информационных процессов и структур»;

п. 5. «Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных...»;

п. 12. «Разработка математических, логических ... моделей взаимодействия информационных процессов, в том числе на базе специализированных вычислительных систем».

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждается:

– результатами экспериментальной оценки комплексного алгоритма идентификации на реальных данных;

– разработкой прикладных программных средств, подтвержденных свидетельствами о государственной регистрации;

– апробацией результатов исследования на научных конференциях различного уровня;

– апробацией разработанных решений на конкретных практических примерах;

– наличием актов внедрения результатов диссертационной работы.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Информационно-структурные модели прогнозирования коротких временных рядов для определения состояний ТО.

2. Комплексный алгоритм идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам.

3. Техническая реализация комплексного алгоритма идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам.

4. Экспериментальная оценка технической реализации комплексного алгоритма идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам.

Реализация и внедрение.

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении базовой части государственного задания высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности № 2.6581.2017/8.9 «Модели и алгоритмы идентификации технического состояния сложных микросистем с использованием данных об изменениях параметров гетерогенных микроструктур» (с 01.01.2017 по 31.12.2018).

Результаты работы внедрены и использованы при выполнении СЧ ОКР «Разработка структуры и программно-алгоритмического обеспечения распределенной информационно-управляющей системы сбора данных на основе модулей поверхностных акустических волн и пьезоэлектрических модулей» по договору 38/24-12 от 01.06.2012г (ОАО НИИФИ, г. Пенза); СЧ ОКР «Участие в разработке ТЗ на программно-алгоритмическое обеспечение (ПАО) СМиК НБ СК-5 для автоматизированного рабочего места оператора наземной безопасности СК 17П32-5. Разработка программно-алгоритмического обеспечения опытного образца СМиК НБ СК-5. Отладка программно-алгоритмического обеспечения опытного образца СМиК НБ СК-5» дог. №6/05-05-13 от 17.12.2012 г (ОАО НИИФИ, г. Пенза). Внедрение результатов подтверждено соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на Международной молодежной научной конференции «Научному прогрессу – творчество молодых» (г. Йошкар-Ола, 2012); Международной научно-технической конференции «Современные информационные технологии» (г. Пенза, 2012, 2018); Межвузовской научной конференции «Молодежь – науке будущего» (г. Ульяновск, 2013); Международном симпозиуме «Надежность и качество» (г. Пенза, 2014, 2015, 2017); VII Меж-

дународной научно-практической конференции студентов, магистров, аспирантов, преподавателей и практиков (г. Пенза, 2016).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 работы, в том числе 7 статей в журналах из перечня рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК; получено 5 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Основные результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Во всех работах, выполненных в соавторстве, автор непосредственно участвовал в постановке задач, выборе методов их решения, анализе результатов. Автор осуществил техническую реализацию алгоритмов.

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 142 наименований и приложения. Текст изложен на 155 страницах, содержит 34 рисунка и 18 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования. Сформулированы цель и задачи исследований в области идентификации состояний ТО ОН, основные положения, выносимые на защиту. Показана научная новизна и практическая значимость основных научных результатов. Дана общая характеристика работы.

В первой главе проведен анализ современного состояния исследований и разработок методов и моделей прогнозирования, алгоритмов идентификации состояний ТО по коротким ВР. В научных трудах проведён анализ границ применимости методов анализа и прогнозирования временных рядов, построения моделей быстропротекающих процессов, что способствовало развитию математического аппарата и инструментальных средств для применения в области коротких ВР. Такими исследованиями занимались У. Госсет, Р. Фишер, С. Карлин, В. Стадден, Дж. Бокс, Г. Дженкинс, Р. Браун, Н. Винер, М. Кендалл, в работах которых разработаны фундаментальные методы анализа и прогнозирования с применением коротких ВР. В нашей стра-

не по данному направлению работали А.Н. Колмогоров, А.А.Петров, Л.Н. Большев, И.Н.Володин, В.М.Глушков, В.С. Степанов и др.

Техническое состояние ТО ОН идентифицируется посредством анализа сигналов датчиков параметрической аппаратуры, преобразуемых в дискретизированные ВР. Систематизированы процессы, природа которых характеризуется преобладанием динамичности развития процесса над его инерционностью, приводящие к необходимости использования математического аппарата для коротких участков ВР. В ходе исследования систематизированы ограничения и недостатки, связанные с использованием моделей и алгоритмов прогнозирования применительно к коротким ВР. Для синтеза алгоритмов идентификации состояний ТО ОН использована дискретная математическая модель коротких ВР в виде уравнения решетчатой функции:

$$u[n] = k \cdot n + b + \varepsilon[n]. \quad (1)$$

Проведенный анализ позволил выделить в структуре короткого ВР k – мультипликативную, b – аддитивную и $\varepsilon[n]$ – стохастическую составляющие модели ВР, что целесообразно использовать при идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций, описываемых литеральными переменными. Была сформулирована методическая база литеральных ситуаций, основанная на инструментах анализа коротких ВР (таблица 1).

Проведенное исследование позволило установить возможности применения в качестве инструментария идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций алгоритмы анализа структуры коротких ВР.

В результате анализа современного состояния исследований и разработок моделей прогнозирования коротких ВР и алгоритмов идентификации литеральных ситуаций, предложена единая классификационная схема подходов к прогнозированию. Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости применения алгоритмов анализа структуры коротких ВР для определения дальнейшего развития наблюдаемого физического процесса. Показана необходимость синтеза информационно-структурных моделей для прогнозирования короткого ВР в условиях малой полноты актуальных дан-

ных с учетом структурных нестабильностей коротких ВР. Выявлена необходимость разработки комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций по коротким ВР.

Во второй главе проведены синтез информационно-структурных моделей прогнозирования и разработка комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций, соответствующих состояниям ТО ОН, по коротким ВР. В процессе разработки комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций автором проведена модификация алгоритма Чоу, позволяющая определить структурную нестабильность в мультипликативной составляющей короткого ВР и точку ее начала.

Автором разработан алгоритм выявления аддитивного смещения тренда, принципиальным отличием которого является применение критерия обнаружения аномальных значений ВР для поиска структурной нестабильности в аддитивной составляющей короткого ВР (в качестве одного из шагов алгоритма используется алгоритм Ирвина). Разработанный алгоритм позволяет проверить целесообразность кусочной аппроксимации тренда и определить изменение в аддитивной составляющей ВР. Для его реализации не нужно использование экспертных оценок, и по сравнению с аналогом (методом Гуйяроти) уменьшается число арифметических операций.

Ранее была сформулирована методическая база литеральных ситуаций, основанная на инструментах анализа ВР. Выявлены наиболее важные алгоритмы исследования структуры ВР. В результате проведенного анализа были выделены основные инструменты анализа ВР как основные элементы комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций: модифицированный алгоритм Чоу для выявления структурной нестабильности вида $k \neq \text{const}$; модифицированный алгоритм Ирвина для выявления структурной нестабильности вида $b \neq \text{const}$; алгоритм сравнения средних и алгоритм Фостера-Стюарта для выявления наличия тренда в коротком ВР; алгоритмы Спирмена, Гольдфельда-Квандта, Парка и Глейзера для выявления структурной нестабильности вида $\mathbf{D}[\varepsilon[n]] \neq \text{const}$.

Для установления взаимосвязей между отдельными частными алгоритмами идентификации и разработки концепции комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН построена информационно-структурная модель СВС идентификации литеральных ситуаций на основе анализа структурных нестабильностей коротких ВР в виде нечеткой когнитивной карты (рисунок 1).

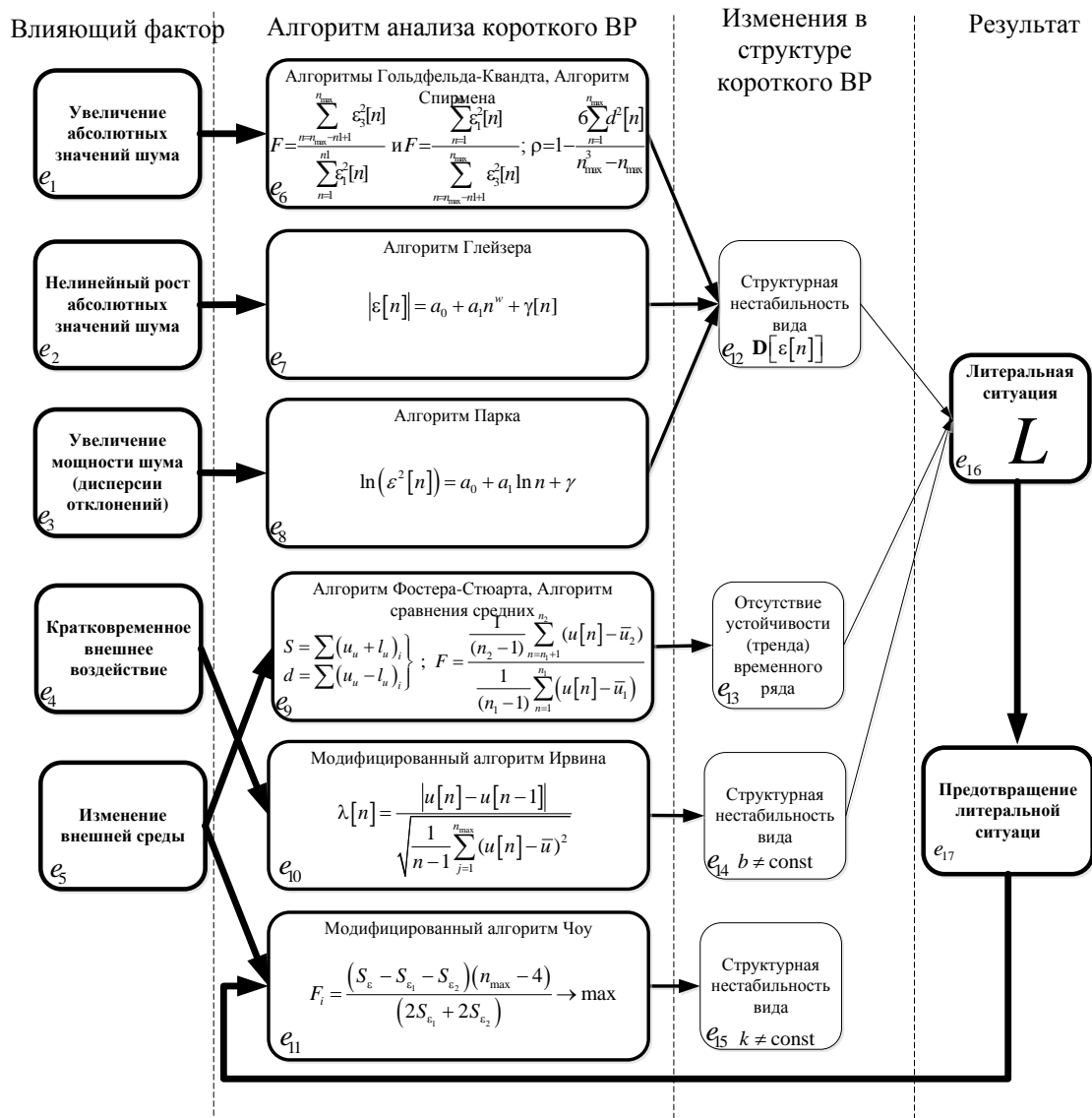


Рисунок 1 – Информационно-структурная модель СВС идентификации литеральной ситуации

Элементами этой модели являются не только физически существующие короткие ВР, но и виртуальные составляющие, например, результаты анализа структуры короткого ВР. Модель служит для обеспечения возможности управления ТО ОН как в режиме поддержки принятия решений, так и в автоматическом режиме, и позволила разработать обобщённую схему комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций по коротким ВР (рисунок 2).

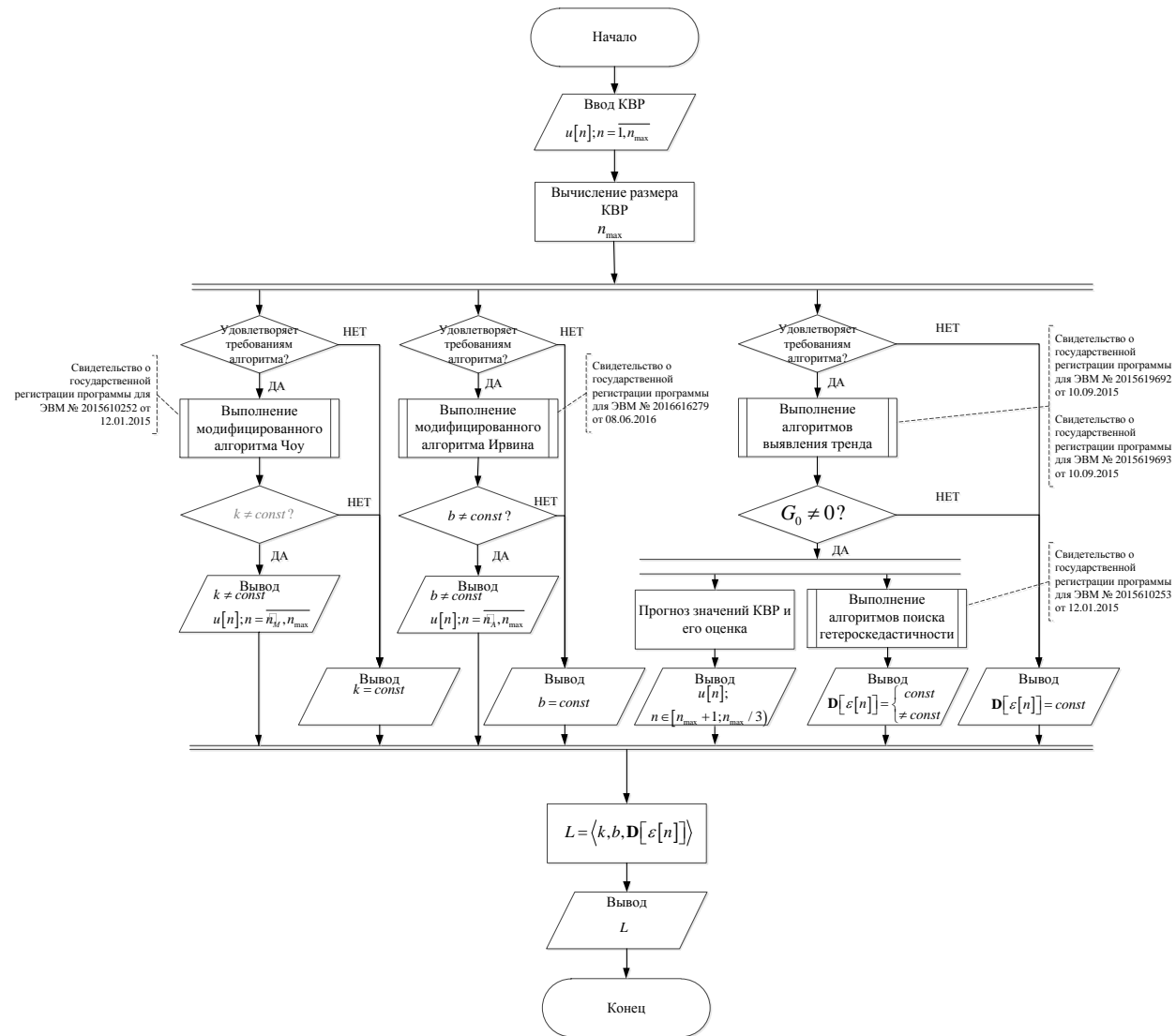


Рисунок 2 – Схема комплексного алгоритма идентификации literalных ситуаций по коротким ВР

В рамках комплексного алгоритма короткие ВР, характеризующие физический процесс, подвергаются исследованию гомоскедастичности, выявлению тренда и структурной стабильности в аддитивной и мультипликативной составляющих. Короткий ВР поступает для анализа, и вначале проходит определение соответствия его требованиям выполнения алгоритмов, которые касаются размеров короткого ВР. У применяемых в данной работе алгоритмов существуют определенные ограничения. Таким образом, исследование короткого ВР проводится только с помощью тех алгоритмов, требованиям которых он отвечает. После параллельного анализа короткого ВР делается вывод о наличии структурной нестабильности в коротком ВР. В зависимости от выявленных нестабильностей определяется конкретный тип литеральной ситуации, соответствующей состоянию ТО ОН.

В третьей главе выполнена техническая реализация комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций, соответствующих состояниям ТО, по коротким ВР, отличающаяся консолидацией в своих рамках дискретных математических моделей коротких временных рядов.

В рамках технической реализации получены расширенные библиотеки интерактивной системы выполнения инженерных и научных расчетов *MATLAB*, на их основе сформирована единая имитационная *Simulink*-модель. Короткий ВР загружается в модель посредством блока *TimeSeries*. Путем обработки короткого ВР в блоках *ChouModel* и *IrvinModel* происходит выявление структурной нестабильности вида $k \neq \text{const}$ и $b \neq \text{const}$ соответственно, а также параллельно проводится проверка наличия тренда в ВР, обеспечивающая выявление структурных нестабильностей вида $\mathbf{D}[\varepsilon[n]] \neq \text{const}$ блоками *SpirmenModel*, *GoldfeldKvandtModel*, *ParkModel*, *GlaizerModel* (рисунок 3).

В рамках решения задачи технической реализации комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций был проведен эксперимент, включающий 8 этапов. В ходе эксперимента проанализирована тестовая база коротких ВР, которая включала 400 ВР с различными законами распределения, длиной от 7 до 60 отсчетов. В результате проведенных экспериментов с тестовой базой коротких ВР установлено, что из 400 тестовых коротких ВР в 73% случаев модель ВР признана статистически адекватной. Проведено про-

гнозирование значений короткого ВР, систематизированы показатели точности прогноза следующего значения ВР в рамках разработанного комплексного алгоритма идентификации литеральной ситуации.

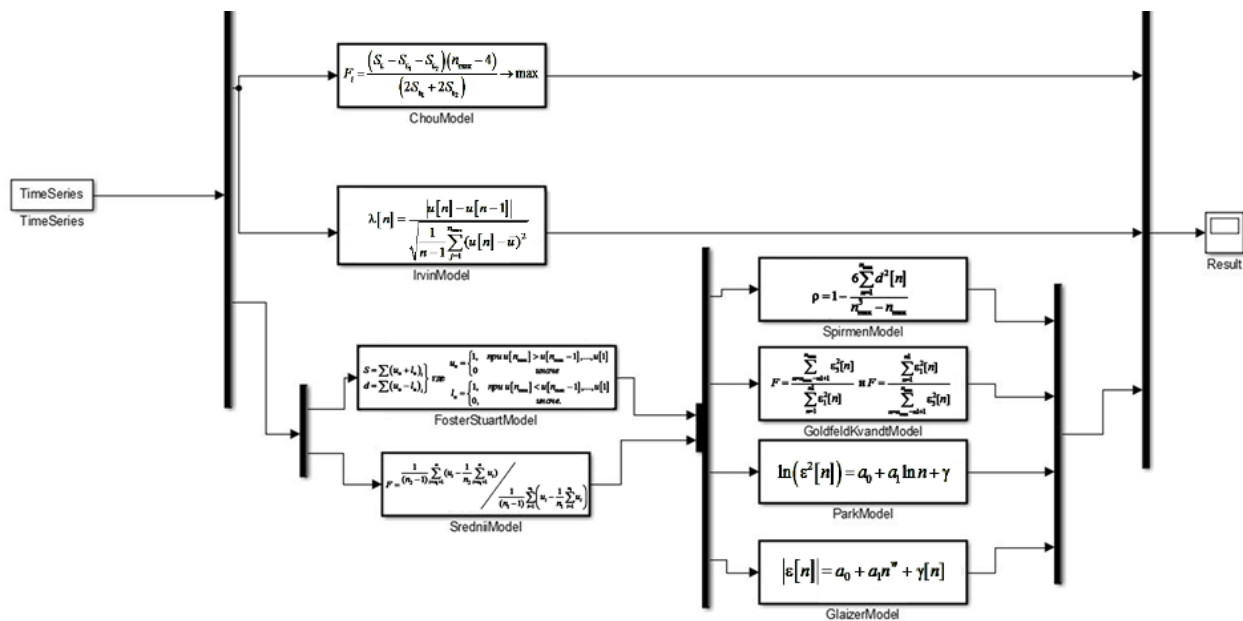
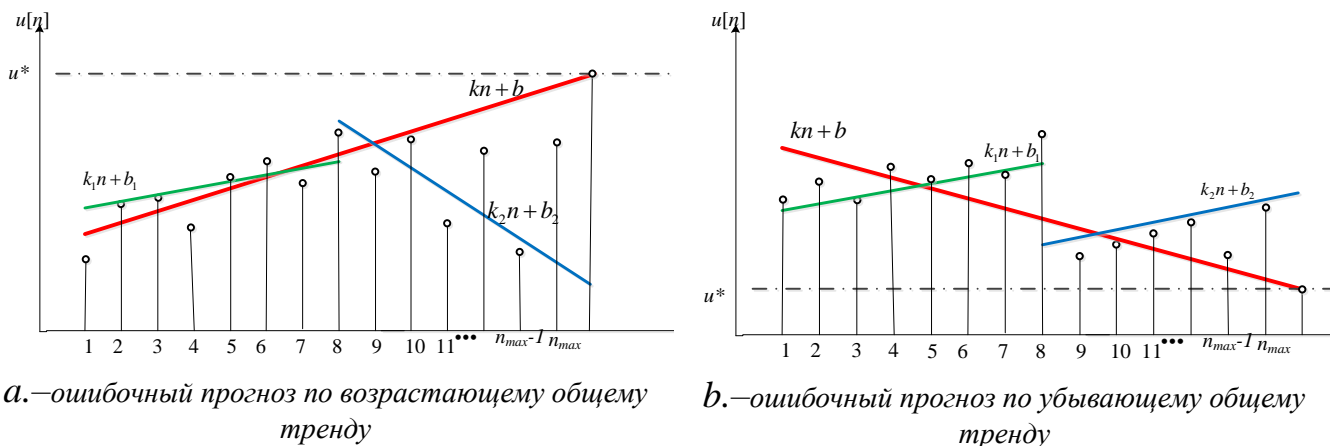


Рисунок 3 – Единая имитационная Simulink-модель комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН

Показано, что вне зависимости от формы структурной неустойчивости, вне зависимости от значения смещения и угла наклона тренда учет структурных изменений в мультипликативной и (или) аддитивной составляющих модели короткого ВР, выявленных с помощью комплексного алгоритма, при прогнозировании следующих значений ВР позволяет иметь преимущество по достоверности, выраженное в количестве отсчетов. При прогнозировании значения ВР по общему тренду полученные результаты прогноза зачастую не только не совпадают, но и опровергаются результатами прогноза по кусочным трендам (рисунок 4).



а. – ошибочный прогноз по возрастающему общему тренду

б. – ошибочный прогноз по убывающему общему тренду

Рисунок 4 – Преимущества анализа структурных неустойчивостей короткого ВР при прогнозировании следующих значений ряда на примере линейного тренда

Техническая реализация комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН позволила интегрировать его в СВС (рисунок 1).

В четвертой главе представлены результаты экспериментальной оценки технической реализации комплексного алгоритма идентификации состояний ТО по коротким ВР. Для оценки устойчивости функционирования комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций, проведен анализ результатов испытаний акселерометра ВТ-51. Для анализа были взяты короткие ВР, характеризующие выходное напряжение акселерометра (рисунок 5).

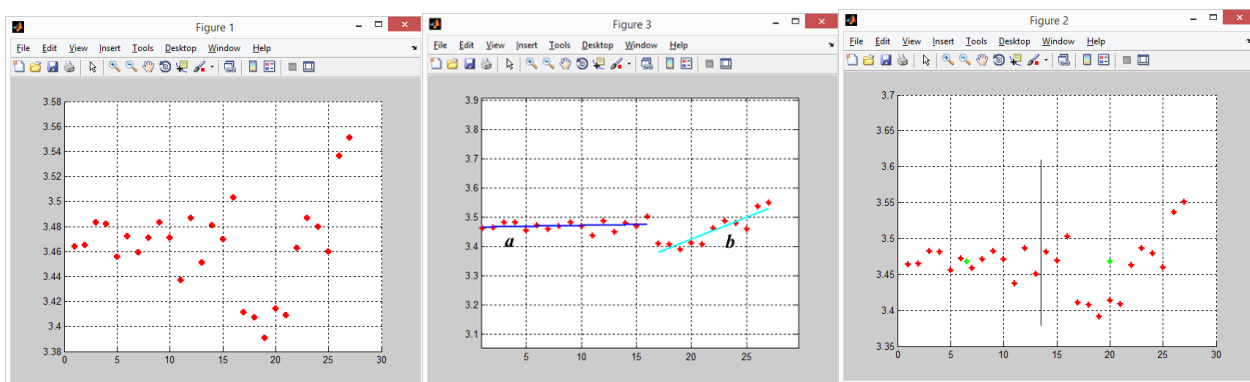


Рисунок 5 – Анализ короткого ВР выходного напряжения акселерометра ВТ-51 в среде MATLAB

Проведенный анализ результатов испытаний акселерометра ВТ-51 показал, что из всех рассмотренных коротких ВР гетероскедастичность обнаружена в 61% ВР, тренд в 72% ВР, структурная нестабильность короткого ВР вида $k \neq \text{const}$ или $b \neq \text{const}$ в 55% ВР. Для каждого короткого ВР было определено соответствующее значение литеральной переменной, подтверждающее результаты испытаний акселерометра ВТ-51. На основе реальных данных проведена оценка устойчивости функционирования комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций, оригинальность которых подтверждена свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научные результаты, полученные в диссертации, использованы при выполнении базовой части государственного задания высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности, внедрены в учебный процесс, а также использованы и внедрены в процессе выполнения ОКР, что подтверждается актами о внедрении и использовании.

В процессе выполнения СЧ ОКР «Байконур НКИ - ПГТА» с использованием результатов испытаний акселерометра ВТ-51 из тракта преобразования СВС установлены соответствия литеральных ситуаций, описываемых литеральными переменными, и состояний ТО ОН (таблица 1: столбец 3).

Таблица 1. – Соответствие литеральных ситуаций, описываемых литеральными переменными, состояниям ТО ОН

Обозначение литеральной ситуации	Значения параметров-составляющих короткого ВР	Состояние ТО ОН
$L_{0,0,0}$	$k = \text{const}; b = \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] = \text{const}$ (Структурные нестабильности короткого ВР не выявлены)	Исправное работоспособное состояние ТО ОН
$L_{0,0,1}$	$k = \text{const}; b = \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] \neq \text{const}$ (Структурная нестабильность в стохастической составляющей короткого ВР)	Исправное рабочее состояние ТО ОН
$L_{0,1,0}$	$k = \text{const}; b \neq \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] = \text{const}$ (Структурная нестабильность в аддитивной составляющей короткого ВР)	
$L_{1,0,0}$	$k \neq \text{const}; b = \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] = \text{const}$ (Структурная нестабильность в мультипликативной составляющей короткого ВР)	
$L_{1,0,1}$	$k \neq \text{const}; b = \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] \neq \text{const}$ (Структурная нестабильность в мультипликативной и стохастической составляющих короткого ВР)	Предотказное состояние ТО ОН
$L_{1,1,0}$	$k \neq \text{const}; b \neq \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] = \text{const}$ (Структурная нестабильность в аддитивной и в мультипликативной составляющей короткого ВР)	
$L_{0,1,1}$	$k = \text{const}; b \neq \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] \neq \text{const}$ (Структурная нестабильность в аддитивной и стохастической составляющих короткого ВР)	
$L_{1,1,1}$	$k \neq \text{const}; b \neq \text{const}; \mathbf{D}[\varepsilon[n]] \neq \text{const}$ (Структурная нестабильность в аддитивной, мультипликативной и стохастической составляющих короткого ВР)	Неработоспособное состояние ТО ОН

В заключении сформулированы основные результаты работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ современного состояния исследований и разработок моделей прогнозирования и алгоритмов идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций по коротким временным рядам. В результате показана необходимость синтеза информационно-структурных моделей прогнози-

рования коротких ВР, позволяющих идентифицировать литеральную ситуацию в условиях малой полноты актуальных данных с учетом структурных нестабильностей коротких ВР.

2. Синтезированы информационно-структурные модели прогнозирования коротких ВР для определения состояний ТО ОН, отличающиеся возможностью адаптивной настройки к изменениям в структуре временного ряда, возможностью работы с коротким участком ВР, содержащим совокупность последних наблюдений, которые обладают наибольшей информационной ценностью.

Информационно-структурные модели прогнозирования коротких ВР позволяют определять дальнейшее их развитие и дать перспективную оценку возможности достижения нового состояния технического объекта.

3. Разработан комплексный алгоритм идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций по коротким ВР, отличающийся сочетанием стандартных и разработанных автором инструментов анализа коротких ВР, позволяющий выделить из большого объема мониторинговых данных короткую актуальную часть. Комплексный алгоритм обладает возможностью программной реализации с исключением эргатического уровня принятия решения на промежуточных этапах идентификации.

В основе комплексного алгоритма положена совокупность модернизированных автором алгоритмов анализа структуры коротких ВР. Проведена модификация алгоритма Чоу, позволяющая выявить структурные нестабильности в мультипликативной составляющей короткого ВР. Проведена модификация алгоритма Ирвина, позволяющая выявить структурные нестабильности в аддитивной составляющей короткого ВР.

Для установления взаимосвязей между отдельными частными алгоритмами идентификации состояний ТО ОН и разработки концепции комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН построена проблемно-целевая модель построения СВС идентификации литеральной ситуации по коротким ВР в виде нечеткой когнитивной карты.

4. Проведена техническая реализация комплексного алгоритма идентификации литеральных ситуаций, включающая расширенные математические библио-

теки интерактивной системы выполнения инженерных и научных расчетов, отличающаяся консолидацией в своих рамках дискретных представлений стандартных и разработанных автором алгоритмов прогнозирования и анализа коротких ВР, позволяющая протестировать разработанные алгоритмы и интегрировать их в специализированные вычислительные системы.

5. Результатом реализации стали расширенные математические библиотеки интерактивной системы выполнения инженерных и научных расчетов, представленные в виде функциональных блоков единой имитационной модели. Модель состоит из 10 блоков, 8 из которых являются расширенными математическими библиотеками интерактивной системы выполнения инженерных и научных расчетов *MATLAB*, реализующими элементы комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций по коротким ВР.

6. Проведена экспериментальная оценка технической реализации комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций по коротким временным рядам, позволяющая апробировать предлагаемые разработки на реальных данных и оценить полученные результаты. Установлены соответствия литеральных ситуаций возможным состояниям ТО ОН.

7. На основе реальных данных проведена оценка устойчивости функционирования комплексного алгоритма идентификации состояний ТО ОН и соответствующих литеральных ситуаций, оригинальность которого подтверждена свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ, разработанными при непосредственном участии автора.

Научные результаты, полученные в диссертации, внедрены и использованы в процессе выполнения ОКР, что подтверждается актами о внедрении и использовании, использованы при выполнении базовой части государственного задания высшим учебным заведениям и научным организациям в сфере научной деятельности, а также внедрены в учебный процесс.

Таким образом, в рамках диссертационного исследования, основанного на комплексном применении инструментов анализа коротких ВР для идентификации состояний ТО ОН, которым соответствует набор литеральных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации ТО ОН, решена актуальная научная задача раз-

работки и исследования моделей прогнозирования и алгоритмов идентификации состояний технических объектов по коротким временным рядам.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Савочкин, А.Е. Модели прогнозирования технического состояния сложных объектов по коротким временным рядам / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев // Телекоммуникации. – 2016. – № 10. – С. 10 – 15.

2. Савочкин, А.Е. Математические и информационно-структурные модели прогнозирования состояния технически сложных объектов / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев, М.А. Линкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4 (32). – С. 232 – 249.

3. Савочкин, А.Е. Алгоритмизация работы системы мониторинга и контроля для решения задач идентификации степени повреждения технически сложных объектов / А.Е. Савочкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2014. – № 2 (26). – С. 23 – 35.

4. Савочкин, А.Е. Применение нейросетевого подхода при проектировании информационно-измерительных систем для определения степени повреждения технически сложных объектов / А.Е. Савочкин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 2 (22). – С. 151 – 160.

5. Савочкин, А.Е. Методы, модели и алгоритмы автоматизированной проверки свойств временного ряда контролируемого процесса / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев, И.Ю. Семочкина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 4 (26). – С. 48 – 59.

6. Савочкин, А.Е. Алгоритмическая модификация теста Чоу для автоматизированной проверки гипотезы о структурной стабильности тренда / А.Е. Савочкин, О.В. Прокофьев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 3 (19). – С. 183 – 188.

7. Савочкин, А.Е. Исследование изменения дисперсии остаточного компонента временного ряда / А.Е. Савочкин, О.В. Прокофьев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 10 (14). – С. 135 – 144.

Публикации в других изданиях

8. Савочкин, А.Е. Моделирование системы обнаружения предаварийной ситуации на основе нечеткой когнитивной карты / А.Е. Савочкин, О.В. Прокофьев // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 73 – 79.
9. Савочкин, А.Е. Прогнозирование литеральных ситуаций по коротким временным рядам / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 1. – С. 320 – 324.
10. Савочкин, А.Е. Модернизация алгоритма обработки больших данных для прогнозирования коротких временных рядов / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 1. – С. 53 – 55.
11. Савочкин, А.Е. Методы прогнозирования предаварийной ситуации сложного технического объекта / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев // Сборник: Управление реформированием социально-экономического развития предприятий, отраслей, регионов сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции студентов, магистров, аспирантов, преподавателей и практиков. – 2016. – С. 341 – 343.
12. Савочкин, А.Е. Комплекс взаимосвязанных алгоритмов прогнозирования технического состояния ТСО по результатам параметрического мониторинга быстропротекающих процессов / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2015. – Т.2. – С.75 – 77.
13. Савочкин, А.Е. Техническая и технологическая реализация моделей и алгоритмов прогнозирования технического состояния технически сложных объектов по результатам параметрического мониторинга быстропротекающих процессов / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев // Современные информационные технологии. – 2015. – №21. – С.98 – 104.
14. Савочкин, А.Е. Автоматизированная проверка гипотезы о структурной стабильности тренда посредством модификации теста Чоу / А.Е. Савочкин // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 350 – 353.

15. Савочкин, А.Е. Применение нейронных сетей при проектировании систем мониторинга / А.Е. Савочкин // Современные информационные технологии. – 2013. – № 17. – С. 160-162.

16. Савочкин, А.Е. Идентификация закономерностей в дисперсии остаточного компонента временного ряда / А.Е. Савочкин, А.Г. Дмитриенко, О.В. Прокофьев // Современные информационные технологии. – 2013. – № 18. – С. 59-63.

17. Савочкин, А.Е. Разработка системы мониторинга и контроля высотного сооружения / А.Е. Савочкин, М.Ю. Михеев // Современные информационные технологии. – 2012. – № 15. – С. 24-28.

18. Савочкин, Ал.Е. Моделирование нейронной сети для определения состояния технически сложных объектов / Ал.Е. Савочкин, Ан.Е. Савочкин // Современные информационные технологии. – 2012. – № 16. – С. – 104-110.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

19. Программа для ЭВМ «Адаптивное обнаружение излома тренда в процессе формирования временного ряда»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Савочкин А.Е., Михеев М.Ю., Прокофьев О.В. — № 2016616279. Дата регистрации 08.06.2016.

20. Программа для ЭВМ «Выявление гетероскедастичности временного ряда»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Савочкин А.Е., Прокофьев О.В. — № 2015610253. Дата регистрации 12.01.2015.

21. Программа для ЭВМ «Выявление трендовой составляющей во временном ряду методом проверки разностей средних уровней»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Савочкин А.Е., Михеев М.Ю., Прокофьев О.В. — № 2015619693. Дата регистрации 10.09.2015.

22. Программа для ЭВМ «Выявление трендовой составляющей во временном ряду методом Фостера-Стюарта»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Савочкин А.Е., Михеев М.Ю., Прокофьев О.В. — № 2015619692. Дата регистрации 10.09.2015.

23. Программа для ЭВМ «Проверка гипотезы о структурной стабильности тренда»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Савочкин А.Е., Прокофьев О.В. — № 2015610252. Дата регистрации 12.01.2015.