



Тимина Ирина Александровна

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
НЕЧЕТКИХ ТЕНДЕНЦИЙ МЕТРИК ПРОЕКТНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации
проектирования (промышленность)
05.13.18 – Математическое моделирование,
численные методы и комплексы
программ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2016

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы» Ульяновского государственного технического университета.

Научный руководитель: **Ярушкина Надежда Глебовна**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационные
системы» ФГБОУ ВО «Ульяновский
государственный технический университет»

Официальные оппоненты: **Заболеева-Зотова Алла Викторовна**,
доктор технических наук, профессор, старший
научный сотрудник, ФГБУН Институт
системного анализа РАН, кафедра «Методы и
системы поддержки принятия решений»

Тулупьев Александр Львович,
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий лабораторией теоретических и
междисциплинарных исследований в
информатике, Санкт-Петербургского Института
информатики и автоматике РАН (СПИИРАН)

Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Южный федеральный
университет», г. Ростов-на Дону**

Защита состоится «21» декабря 2016 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.277.01 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета. Также диссертация и автореферат размещены в Internet на сайте УлГТУ – <http://www.ulstu.ru/>

Автореферат разослан «20» октября 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Смирнов Виталий Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

У большинства крупных проектных предприятий имеются значительные архивы различного рода проектов. Наряду с электронными архивами конструкторско-технологической документации при разработке сложных программно-аппаратных комплексов для хранения проектных документов и программного кода широко используется система контроля версий (СКВ). В СКВ регистрируется множество различных событий, которые касаются сущностей и событий проекта. Жизненный цикл сложной системы – продолжительный и включает в себя несколько модернизаций, каждую из которой можно рассматривать как проект. Проекты одной организации обычно взаимосвязаны между собой. В связи с этим в крупной проектной организации массив действующих активных проектов очень большой. Естественным агрегатором сущностей всех проектов является СКВ, так как она вбирает в себя всю информацию о проектных событиях. Поэтому в крупных проектных организациях возникает многоуровневая модель управления. Возникает сложный контур метауправления, который управляет совокупностью проектов на протяжении длительного времени. Появляется проблема мониторинга состояния проектной деятельности для главного инженера (конструктора) сложных проектов. Следовательно, важно иметь инструмент измерения характеристик проектной деятельности, который позволяет отследить динамику совокупности проектов, идентифицировать проблемы и своевременно принять корректирующие регулирующие воздействия, в том числе перераспределение ресурсов между проектами.

Формой представления метрики проекта может являться временной ряд, который будет получаться на основе выделенных характеристик за определенный период времени по каждому проекту.

Одной из задач управления проектом является задача прогнозирования развития проекта. Прогноз с учетом основных задач ведения проекта (например, прогноз получения ошибок) покажет успешность проекта и позволит руководителю проекта обоснованно распределять задания разработчикам.

Для успешной реализации проекта целесообразно использовать аналогию (сходство) проектов. Таким образом, появляется задача создания средства для управления проектом, которое автоматизирует процессы кластеризации по сходству всех имеющихся событий проектов предприятия для последующего прогноза значений.

Зарубежными и российскими учеными, внесшими значительный вклад в область анализа и прогнозирования временных рядов являются Box D., Jenkins G., Chen S.M., Granger C., Herbst G., Novak V., Perfilieva I.G., Батыршин И.З., Ковалев С.М., Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В. и др. Для принятия решений в управлении проектами используются международные (ISO 10006, ISO 21500) и национальные (Россия: ГОСТ Р 54869 – 2011, ГОСТ Р 54870 – 2011, ГОСТ Р 54871 – 2011) стандарты управления. Существенный вклад в анализ проектной деятельности с точки зрения управления внесли Klein G., Charette R., SeungHeonHan, Aucoin B. M., Gold M., Норенков И.П., Тарасенко Ф. П., Дульзон А. А. и др.

Актуальность темы

Для принятия решения в рамках управления большим количеством проектных задач необходимо отслеживать состояние работы по проектам на протяжении всего жизненного цикла. Современные системы контроля версий для проектов создания программно-аппаратных комплексов выполняют функцию индикатора состояния проектной деятельности предприятия, поскольку проекты могут быть завершенными, находится в эксплуатации, в разработке и в других состояниях.

В настоящий момент времени отсутствуют методы прогнозирования метрик сущностей СКВ на основе моделей проектной деятельности. Современные СКВ не ориентированы на анализ и прогнозирование метрик проекта, содержащего неоднородные, нелинейные и разнонаправленные данные и связи. Поэтому возникает задача формирования автоматизированного метода прогнозирования метрик системы управления версиями проектов, в том числе на основе анализа подобия метрик. Следовательно, современный проектный репозиторий, включающий СКВ, должен обладать средствами управления проектными работами на основе метрик событий.

Цель диссертационной работы

Целью работы является построение эффективного средства управления совокупностью проектов крупной проектной организации на основе анализа и моделирования состояния метрик проектов программно-аппаратных комплексов.

Объектом и материалом исследования послужили статистика событий системы контроля версий различных проектов, а именно, статистика деятельности отдела технической документации ФНПЦ АО «НПО «Марс», проектные документы разработки программной системы ООО «Эверест Ресерч», материалы проектов с открытым кодом.

Задачи исследования

1. Выполнить сравнительный анализ методов и средств различных систем контроля версий, средств управления проектами.

2. Выполнить научный обзор методов анализа временных рядов, адекватных для представления и анализа метрик проектных событий.

3. Разработать формализованную модель состояния проектной деятельности на основе метрик проектов, загруженных в систему контроля версий проектного репозитория.

4. Разработать нечеткие модели и алгоритмы прогнозирования временных рядов метрических характеристик проекта.

5. Разработать модели и алгоритмы прогнозирования временных рядов метрик проекта на основании мер сходства.

6. Разработать средство анализа состояния метрик проектов программного обеспечения, загруженных в СКВ, как инструмент управления проектными работами организации.

7. Разработать комплекс программ моделирования как подсистему СКВ.

Методы исследования

Теория нечетких систем и мягких вычислений; методы анализа временных рядов, теория кластеризации; объектно-ориентированный подход при создании комплекса программ.

Научная новизна положений, выносимых на защиту

1. Модель процессов реализации проектных работ на основе обработки временных рядов метрик проектов программно-аппаратных комплексов для крупной проектной организации, отличающаяся встроенными возможностями обработки совокупности временных рядов, является новой.

2. Модель и алгоритмы прогнозирования тенденций временных рядов на основе нечеткого моделирования, отличающиеся использованием численного алгоритма кластеризации для выделения доминирующей тенденции являются новыми (предложены три гипотезы прогноза: гипотеза сохранения тенденции, гипотеза смены тенденции и гипотезы смены тенденции на заданный период).

3. Модель и алгоритмы, методика прогнозирования тенденций временных рядов на основе нечетких мер сходства временных рядов, отличающиеся предложенными индикаторами сходства и процедурами их построения и внесения поправок в прогноз, являются новыми.

4. Предложенная архитектура СКВ, отличающаяся наличием компоненты анализа временных рядов индикаторов состояния проектной деятельности, является новой.

Достоверность результатов диссертационной работы

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена результатами вычислительных экспериментов, а также результатами использования созданных алгоритмов и методик в практике отдела технической документации ФНПЦ АО «НПО «Марс», в практике работы ООО «Эверест Ресерч» (г. Москва).

Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке: моделей и алгоритмов анализа процессов реализации проектных работ на основе исследования временных рядов показателей состояния проектных событий.

Практическая значимость работы

Разработанный комплекс программ анализа динамики метрик проектной деятельности используется в работе отдела технической документации ФНПЦ АО «НПО «Марс» (г. Ульяновск), в практике работы ООО «Эверест Ресерч» (г. Москва) и позволяет оперативно управлять совокупностью текущих проектов.

Основания для выполнения работы

Исследования выполнены в рамках исполнения:

1) гранта РФФИ №14-01-31092 «Разработка метода интеллектуального анализа многомерных нечетких временных рядов» (руководитель).

2) гранта РФФИ №13-01-00324 «Исследование формальных методов грануляции слабоструктурированных информационных ресурсов на основе онтологии предметной области» (исполнитель).

3) гранта РФФИ №14-07-00247 «Методология моделирования и прогнозирования локальных тенденций временных рядов в задачах анализа больших данных» (исполнитель).

4) гранта РФФИ №15-41-02413 «Интеллектуальный анализ временных рядов на основе нечетких онтологий, извлекаемых из Интернет-ресурсов» (исполнитель).

5) государственного задания №2014/232 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности Минобрнауки России по проекту «Разработка нового подхода к интеллектуальному анализу слабоструктурированных информационных ресурсов» (исполнитель).

Основные положения, выносимые на защиту

1. Модель и методика анализа проектных событий на основе обработки временных рядов метрик проекта являются эффективным инструментом управления совокупностью проектов.

2. Модель и алгоритмы прогнозирования тенденций временных рядов на основе нечеткого моделирования является эффективными для задач управления проектами в системе контроля версий.

3. Модель и алгоритмы прогнозирования тенденций временных рядов на основе нечетких мер сходства временных рядов является эффективными.

4. Архитектура комплекса программ анализа временных рядов метрик проектных событий системы контроля версий является необходимой компонентой автоматизации современных проектных репозиторий.

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертации докладывались: на международной конференции «Interactive systems and technologies: the problem of Human-Computer Interaction», 2011; 4-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2012; Тринадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012; IV Всероссийской школе-семинаре аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП-2012; 5-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2013; VII-й Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», 2013; 48-й научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», УлГТУ-2014; SYRCoSE 2014, The 8th Spring Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering; VI-й Всероссийской научно-практической конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления–2014», (НСМВ–2014); Четырнадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2014); 2-м Международном Поспеловском симпозиуме «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы ГИСИС'2014»; 1-й всероссийской научно-практической конференции «Прикладные информационные системы», УлГТУ-2015; 49-й Научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», УлГТУ-2015; VIII-й Международной научно-практической конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (18-20 мая 2015 г., Коломна). Результаты исследования отмечены сертификатом Европейского общества нечеткой логики и технологий (EUSFLAT), подтверждающим занятое первое место в международных соревнованиях «The International Time Series Competition “Computational Intelligence in Forecasting”» (в соавторстве).

Публикации

По результатам работы было опубликовано 26 статей, в том числе, 7 в журналах из Перечня, рекомендованного ВАК РФ. Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программного обеспечения.

Личный вклад

Все результаты, составляющие содержание диссертации, получены автором самостоятельно.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из 176 страниц машинописного текста, содержащих введение, четыре главы и заключение, 41 таблицу, 33 рисунка, список литературы из 145 наименований, 7 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрена актуальность выполненного исследования, формулируются цель и задачи работы, определяются теоретическая значимость и практическая ценность результатов исследования, а также положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен сравнительный анализ систем контроля версий. Выполнен сравнительный анализ средств управления проектами: рассмотрены основные понятия, структура и участники проектной деятельности, принципы и классификация проектов, группы процессов управления проектом, процессы планирования, исполнения и мониторинга проектов, процессы управления изменениями, общая структура систем управления версиями проектов.

Сделаны выводы, что системы контроля версий не включают анализ метрик состояния разработки проекта, необходимых для управления проектными работами, а так же в них отсутствует возможность обработки совокупности проектов.

Выполнен научный обзор методов анализа временных рядов метрик проектов. Приведено краткое описание основных задач интеллектуального анализа, алгоритмов преобразования нечетких тенденций, кластеризации, аргументирована возможность использования нечеткого моделирования и нечетких методов при прогнозировании состояния проектных событий.

Во **второй главе** предлагается новая архитектура системы управления версиями проекта, включающая компоненту анализа временных рядов индикаторов

состояния разработки проектных решений, в качестве инструмента управления проектом (рис. 1).

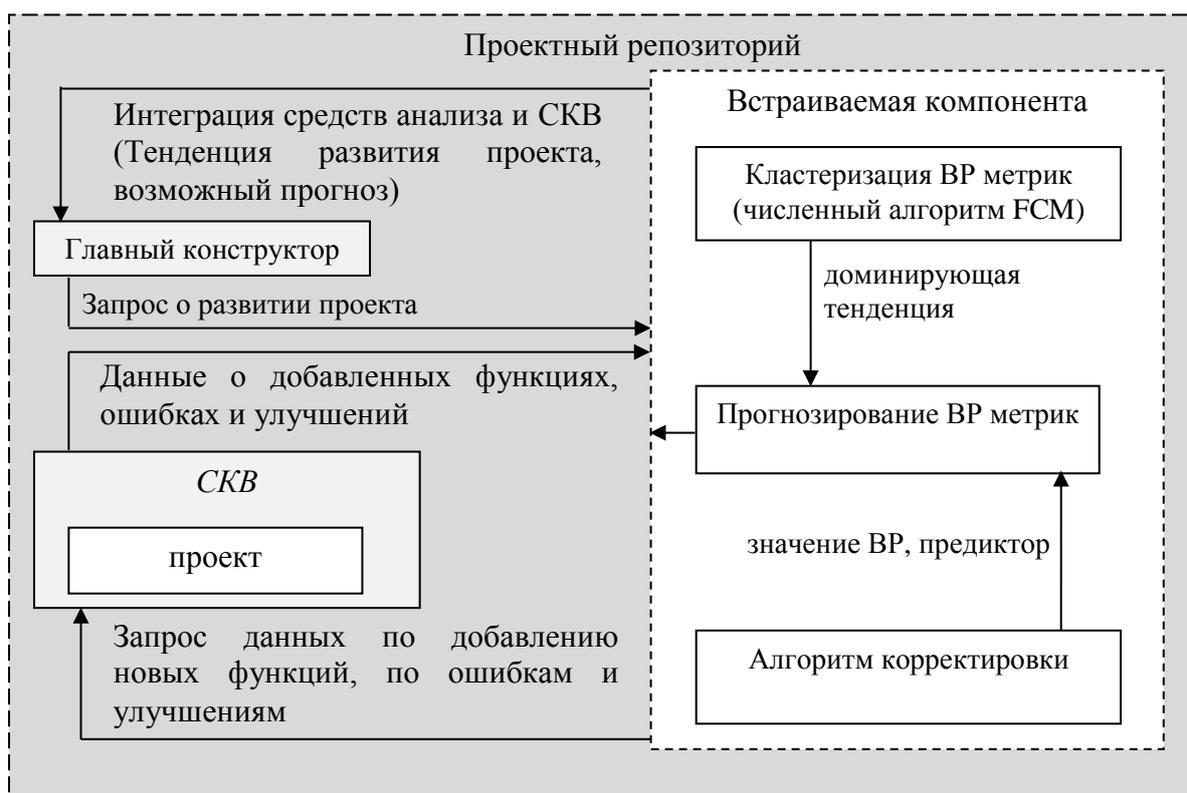


Рисунок 1 – Архитектура СКВ с компонентой анализа метрик

Для обработки совокупности проектов разработана модель процесса проектной деятельности с точки зрения управления проектами.

Модель анализа и управления проектами представляет восьмерку объектов:

$$\{C_t, R_t, B_t, I_t, F_t, R^{BI}, R^{IF}\},$$

где C_t – временной ряд завершенных транзакций (*commits*),

R_t – временной ряд версий (*release*),

B_t – временной ряд количества ошибок (*bugs*),

I_t – временной ряд усовершенствований (*improvement*),

F_t – временной ряд новых функциональных свойств (*NewFeature*),

R^{BI} – зависимость количества ошибок от реализации усовершенствований (*bugs om improvements*),

R^{IF} – зависимость новых функциональных свойств от количества усовершенствований (*New Features om improvements*).

Предлагаемый подход реализует представление временных рядов проектных событий разрабатываемого проекта в виде нечеткого временного ряда значений и временного ряда нечетких тенденций¹. Каждая нечеткая тенденция представляется в виде кортежа отношения:

$$\tau = \langle \tilde{v}, \tilde{a}, \Delta t, \mu \rangle,$$

где τ – наименование нечеткой тенденции из множества \mathfrak{T} , $\tau \in \mathfrak{T}$;

\tilde{v} – тип нечеткой тенденции (тип изменений) $\tilde{v} \in \tilde{V}$ выражает основные качественные зависимости временных рядов {*Падение, Рост, Стабильность*}.

\tilde{a} – интенсивность нечеткой тенденции, $\tilde{a} \in \tilde{A}$, которое выражается лингвистически, например, значениями из множества {*Сильное, Среднее, Слабое*};

Δt – продолжительность нечеткой тенденции, $\Delta t \in \Delta T$;

μ – функция принадлежности участка нечеткого временного ряда, ограниченного интервалом Δt нечеткой тенденции τ .

Тенденция называется элементарной, если $\Delta t = 1$.

Для выделения доминирующей нечеткой тенденции адаптирован численный алгоритм нечеткой кластеризации или *FCM*-алгоритм (*Fuzzy Classifier Means, Fuzzy C-Means*), который предполагает, что объекты принадлежат всем кластерам с определенной функцией принадлежности. Результатами данного метода будет являться доминирующая тенденция, которая образует самый многочисленный кластер.

Для выявления сходства между рядами метрик двух проектов, вычисляется коэффициент подобия. Чтобы установить степень сходства временных рядов (ВР) нечетких элементарных тенденций (НЭТ) предложен критерий оценки соответствия поведения исследуемого ВР поведению ВР, предполагаемого предиктора.

В ходе исследований разработан коэффициент сходства проектов, который определяется расстоянием между одновременными нечеткими элементарными тенденциями (НЭТ) ВР метрик:

¹Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева, И.Г. Перфильева. Интеллектуальный анализ временных рядов. М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2012. – 160 с.

$$\rho(\tau_1, \tau_2) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\rho(\tilde{v}_i^{\tau_1}, \tilde{v}_i^{\tau_2}) \cdot \rho(\tilde{\alpha}_i^{\tau_1}, \tilde{\alpha}_i^{\tau_2}) \cdot \sqrt{\rho(\mu_i^{\tau_1}, \mu_i^{\tau_2})^2} \right),$$

где

$$\rho(\tilde{v}_i^{\tau_1}, \tilde{v}_i^{\tau_2}) = \begin{cases} 0, & \tilde{v}_i^{\tau_1} = \tilde{v}_i^{\tau_2} \\ 1, & \tilde{v}_i^{\tau_1} \neq \tilde{v}_i^{\tau_2}, \tilde{v}_i^{\tau_1}, \tilde{v}_i^{\tau_2} \neq C \\ 0,5, & \tilde{v}_i^{\tau_1} \neq \tilde{v}_i^{\tau_2}, \tilde{v}_i^{\tau_1} \text{ or } \tilde{v}_i^{\tau_2} = C \end{cases},$$

$$\rho(\tilde{\alpha}_i^{\tau_1}, \tilde{\alpha}_i^{\tau_2}) = \begin{cases} 1, & \tilde{\alpha}_i^{\tau_1} \neq \tilde{\alpha}_i^{\tau_2} \\ 0, & \tilde{\alpha}_i^{\tau_1} = \tilde{\alpha}_i^{\tau_2} \end{cases},$$

$$\rho(\mu_i^{\tau_1}, \mu_i^{\tau_2}) = |\mu_i^{\tau_1} - \mu_i^{\tau_2}|,$$

$$0 \leq \rho(\tau_1, \tau_2) \leq 1.$$

Предиктор выбирается экспертом.

В настоящей работе предложено выполнять прогноз на основе одной из трех гипотез:

1. Гипотеза сохранения/смены тенденции.
2. Гипотеза устойчивости/неустойчивости тенденции.
3. Прогнозирование на заданный период на основе НЭТ.

Если подтверждается подобие между двумя временными рядами метрик событий проекта, то используется алгоритм корректировки прогноза, в котором на первом этапе выполняется корректировка прогноза временного ряда на основе результатов кластеризации доминирующей тенденции. На втором шаге откорректированная гипотеза прогноза адаптируется под доминирующую тенденцию временного ряда предиктора, то есть ряда, который имеет влияние на прогнозируемый временной ряд. Полученные значения гипотез прогноза оцениваются с помощью квадрата среднеквадратичной ошибки (*MSE*) и средней квадратичной ошибки (*RMSE*).

Алгоритм коррекции прогноза на основе ряда-предиктора включает в себя следующую последовательность действий:

1. Прогнозируются НЭТ ВР Y : $\tau_{t+1}^Y = f(\tau_t^Y)$, где τ_{t+1}^Y – прогнозная НЭТ ВР Y , τ_t^Y – текущая НЭТ ВР Y , f – зависимость в НЭТ ВР Y .

2. Прогнозная НЭТ ВРУ корректируется с учетом компонент основных тенденций исследуемого ВР $G\tau_Y$ и ВР предиктора $G\tau_Z$ соответственно: $\hat{\tau}_{t+1}^Y = r(\tau_{t+1}^Y, G\tau_Y, G\tau_Z)$, где τ_{t+1}^Y – прогнозная НЭТ ВР Y , $\hat{\tau}_{t+1}^Y$ – прогнозная НЭТ ВР Y после корректировки, $G\tau_Y$ – основная нечеткая тенденция (НТ) Y , $G\tau_Z$ – основная НТ ВР Z , r – правила корректировки.

3. Для получения оценки прогнозного значения числового ВР Y используются оценки MSE и $RMSE$.

Разработанный коэффициент сходства между нечеткими временными рядами, образованными на основе метрик событий системы управления версиями проекта и его сравнение с угловым коэффициентом аппроксимации описаны в первом разделе второй главы.

Во втором разделе представлена адаптация численного алгоритма кластеризации *Fuzzy Classifier Means (FCM)* к задаче определения доминирующей гипотезы.

В третьем разделе изложены гипотезы прогнозирования в терминах нечетких тенденций и применение F -преобразования² в задаче определения сходных временных рядов.

Четвертый раздел представляет алгоритм выбора гипотез прогнозирования и описывает формирование правил.

В пятом разделе рассматривается способ решения задачи поиска наиболее схожей с экспертным шаблоном нечеткой тенденции с помощью предложенного коэффициента сходства. Учитывая поведение временного ряда в прошедшие промежутки времени, эксперт может оценить влияние наличия шаблона поведения нечетких тенденций на прогноз. Вычисляется степень сходства экспертного шаблона нечетких тенденций с исследуемым временным рядом нечетких элементарных тенденций. Степень подобия определяет сходство найденной последовательности нечетких тенденций с выбранным шаблоном. На

² I. Perfilieva, Fuzzy transforms: Theory and Applications // Fuzzy Sets and Systems, V. 157 (2006), 993-1023.

основе результатов поиска шаблона эксперт делает предположение о выборе наиболее перспективной гипотезы.

В **третьей главе** изложено описание структурно-функционального решения программной системы, осуществляющей моделирование и прогнозирование временного ряда метрик проекта с учетом взаимного влияния метрик предиктора (рис. 2).

В **четвертой главе** представлено применение методики прогнозирования временных рядов индикаторов состояния проекта в системе контроля версий. Исследованы временные ряды проектных событий трех проектов: во-первых, проект с открытым кодом *MongoDB*, а именно главная его программная часть *CoreServer*; во-вторых, были рассмотрены данные поступления отчетов по изделиям в архив отдела технической документации ФНПЦ АО «НПО «Марс»; проект по разработке автоматизированной системы «Разработка нечетких моделей и реализация нечетких методов прогнозирования временных рядов» по заказу ООО «Эверест Ресерч».

MongoDB (jira.mongodb.org) – документо-ориентированная система управления базами данных (СУБД) с открытым исходным кодом. Написана на языке C++. ВР были взяты за период, начиная с декабря 2014 до августа 2015. В таблице 1 представлены результаты анализа сходства временных рядов метрик проектных событий.

Поступления технической документации в архив ФНПЦ АО «НПО «Марс» по данным экспертной оценки изделия можно охарактеризовать следующим образом: изделия 42 и 54 поставляются на экспорт; 275 и 220 – опытные образцы; изделия (3,41,180) и (142,14,54) являются подобными, в них достаточное количество заимствованных документов и примерно похожая конфигурация приборов.

Для проекта «Разработка нечетких моделей и реализация нечетких методов прогнозирования временных рядов», выполненного по заказу ООО «Эверест Ресерч» представлены ВР ошибок «*Bug*» и появления новых функциональных свойств «*Feature*».

По полученным результатам анализа метрик событий проекта *MongoDB* и ООО «Эверест Ресерч» можно сделать следующие выводы: сходство значительно для переменных «усовершенствования» и «новые функции», «ошибки» это говорит о влиянии появления задач на усовершенствование результатов проекта на количество ошибок.

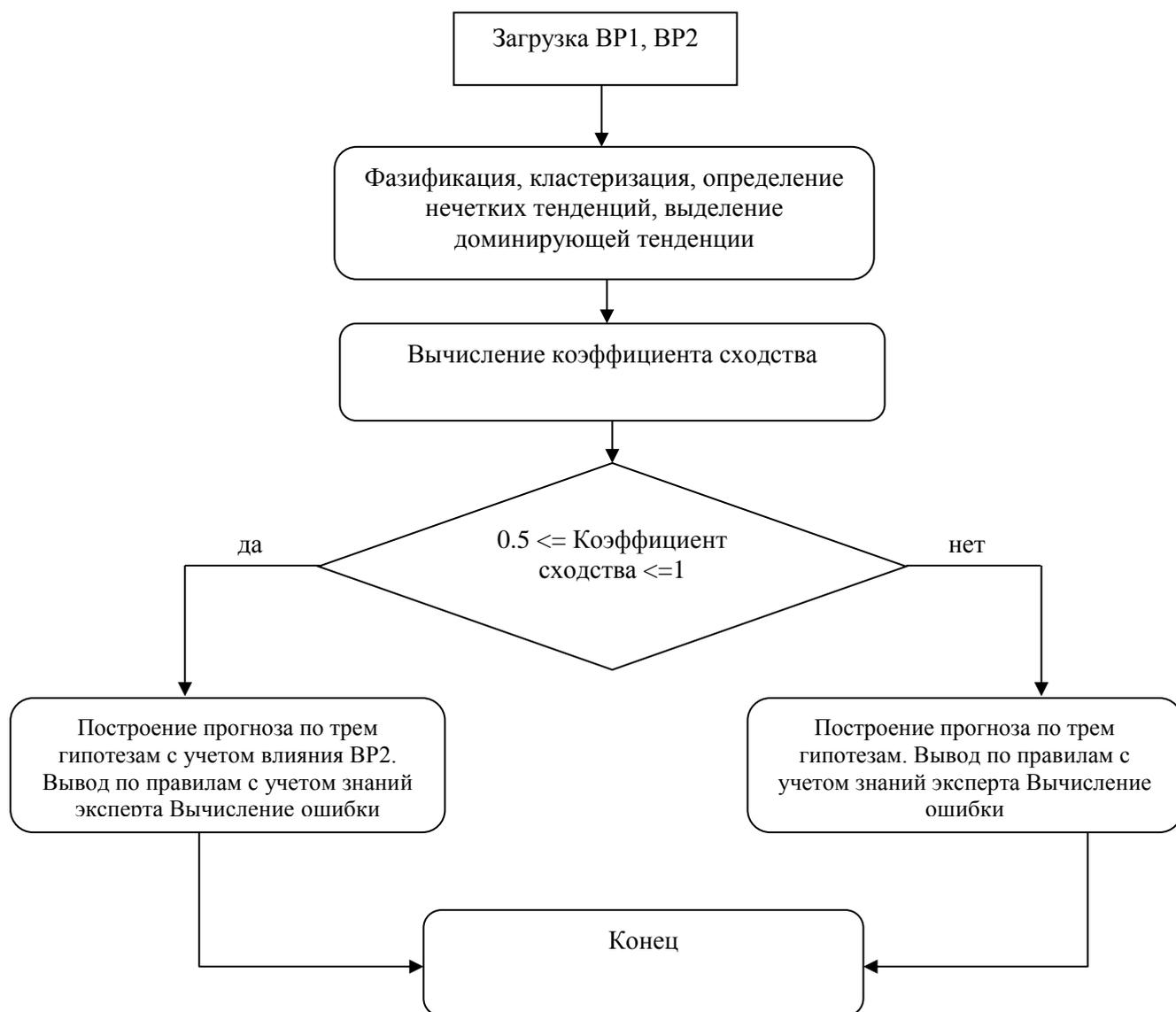


Рисунок 2 – Алгоритм анализа и прогнозирования VP с учетом VP-предиктора

Согласно результатам анализа данных по поступлениям документов в архив подведены следующие итоги: по статистике поступления документов в архив изделий 14 и 54 сходство и корреляция значительны, это говорит о влиянии результатов разработки изделия с кодом 54 на процесс разработки изделия с кодом 14. Аналогичные выводы по изделиям 275-142, 220-14, 220-54, 180-41. Так же можно добавить, что результаты разработки изделий 142, 14 и 54 влияют на процесс разработки экспортных образцов изделий 275 и 220.

Таблица 1 – Анализ метрик событий проектов *MongoDB*, ФНПЦ АО «НПО «МАРС», ООО «Эверест Ресерч»

Проект	Тип метки / Коды изделий	Общая тенденция	Доминирующая тенденция	Мера сходства	Корреляция	Интерпретация корреляции
<i>MongoDB</i>	<i>Improvement</i>	Рост	Рост Слабый	0,61	0,5581	Средняя
<i>MongoDB</i>	<i>New Feature</i>	Рост	Рост Сильный			
<i>MongoDB</i>	<i>Bug</i>	Падение	Рост слабый	0,57	-0,4693	Умеренная
<i>MongoDB</i>	<i>Task</i>	Рост	Стабильность			
<i>MongoDB</i>	<i>Improvement</i>	Рост	Рост Слабый	0,52	-0,2377	Слабая
<i>MongoDB</i>	<i>Bug</i>	Падение	Рост Слабый			
«НПО «МАРС»	14	Рост	Стабильность	0,94	0,5511	Средняя
«НПО «МАРС»	54	Рост	Стабильность			
«НПО «МАРС»	220	Рост	Стабильность	0,89	0,3402	Умеренная
«НПО «МАРС»	54	Рост	Стабильность			
«НПО «МАРС»	220	Рост	Стабильность	0,91	0,2681	Слабая
«НПО «МАРС»	14	Рост	Стабильность			
«НПО «МАРС»	275	Падение	Стабильность	0,81	0,2442	Слабая
«НПО «МАРС»	142	Рост	Стабильность			
«НПО «МАРС»	41	Рост	Стабильность	0,93	0,1749	Очень слабая
«НПО «МАРС»	180	Рост	Стабильность			
«Эверест ресерч»	<i>Bug</i>	Рост	Рост слабый	0,59	0,4903	Умеренная
«Эверест ресерч»	<i>New Feature</i>	Рост	Рост слабый			

Выявленные зависимости между ВР проектных метрик позволили получить прогнозы развития проекта (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты прогнозирования метрик событий с учетом влияния ВР-предиктора

Проект	ВР зависимый	ВР-предиктор	Гипотеза 1	Гипотеза 2	Гипотеза 3
<i>MongoDB</i>	<i>Improvement</i>	<i>New Feature</i>	Рост средний	Рост сильный	Рост сильный
<i>MongoDB</i>	<i>Bug</i>	<i>Improvement</i>	Стабильность	Падение сильное	Стабильность
<i>MongoDB</i>	<i>Bug</i>	<i>Task</i>	Падение среднее	Рост средний	Рост средний
«НПО «МАРС»	14	54	Стабильность	Стабильность	Стабильность
«НПО «МАРС»	142	275	Стабильность	Стабильность	Рост слабый
«НПО «МАРС»	14	220	Стабильность	Стабильность	Стабильность
«НПО «МАРС»	54	220	Стабильность	Стабильность	Падение сильное
«НПО «МАРС»	180	41	Стабильность	Стабильность	Стабильность
«Эверест ресерч»	<i>Bug</i>	<i>New Feature</i>	Падение сильное	Падение сильное	Падение среднее

Графически корректировка прогноза тенденций с учетом влияния временного ряда предиктора представлена на рис. 3 (по метрикам событий проекта *Improvement – NewFeature*), на рис. 4 (по поступлениям документации в архив кодов изделий 14 и 54), на рис. 5 представлен прогноза количества ошибок с учетом частоты модернизаций.

На рисунках представлен вариант прогнозирования с использованием гипотезы, где ось x – значение ВР, ось t – время; «◆◆» обозначает ВР Y ; «----» обозначает ВР Z ; «●» обозначает прогноз без учета корректировки; «*» обозначает прогноз τ_{t+1}^Y после корректировки ВР Y по основной тенденции ВР Y ; «■» обозначает прогноз \hat{t}_{t+1}^Y после корректировки ВР Y по основной тенденции ВР Z .

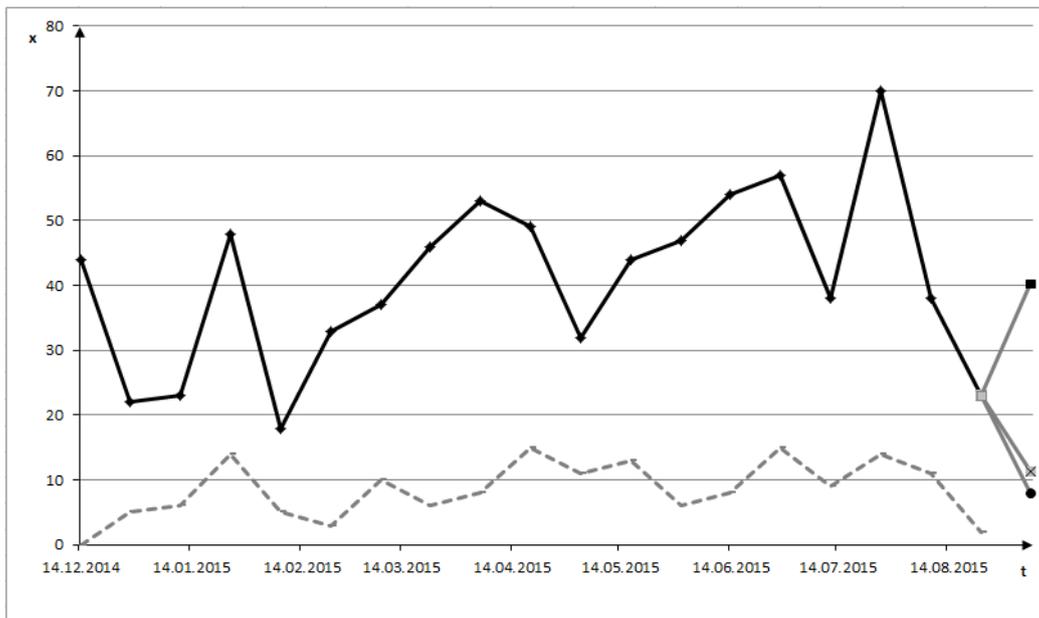


Рисунок 3 – Прогнозирование *Improvement* в проекте *MongoDB* с учетом влияния *NewFeature* в проект (сохранения тенденции)

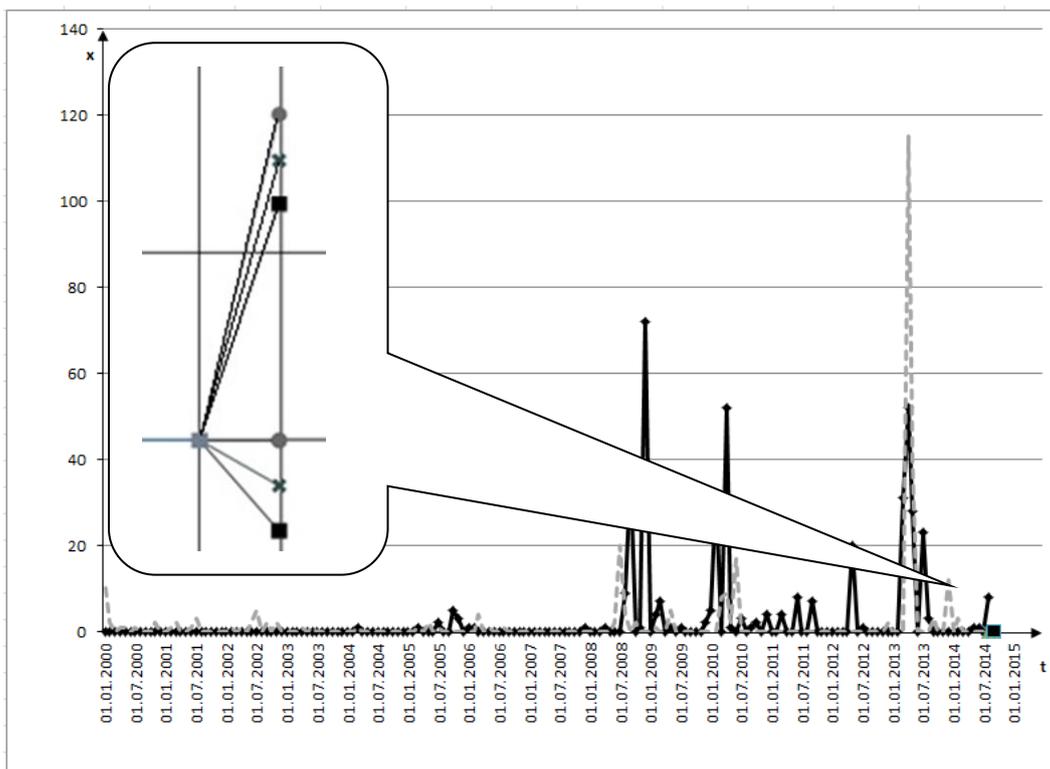


Рисунок 4 – Прогнозирование поступления документации изделия с кодом 14 с учетом влияния изделия с кодом 54

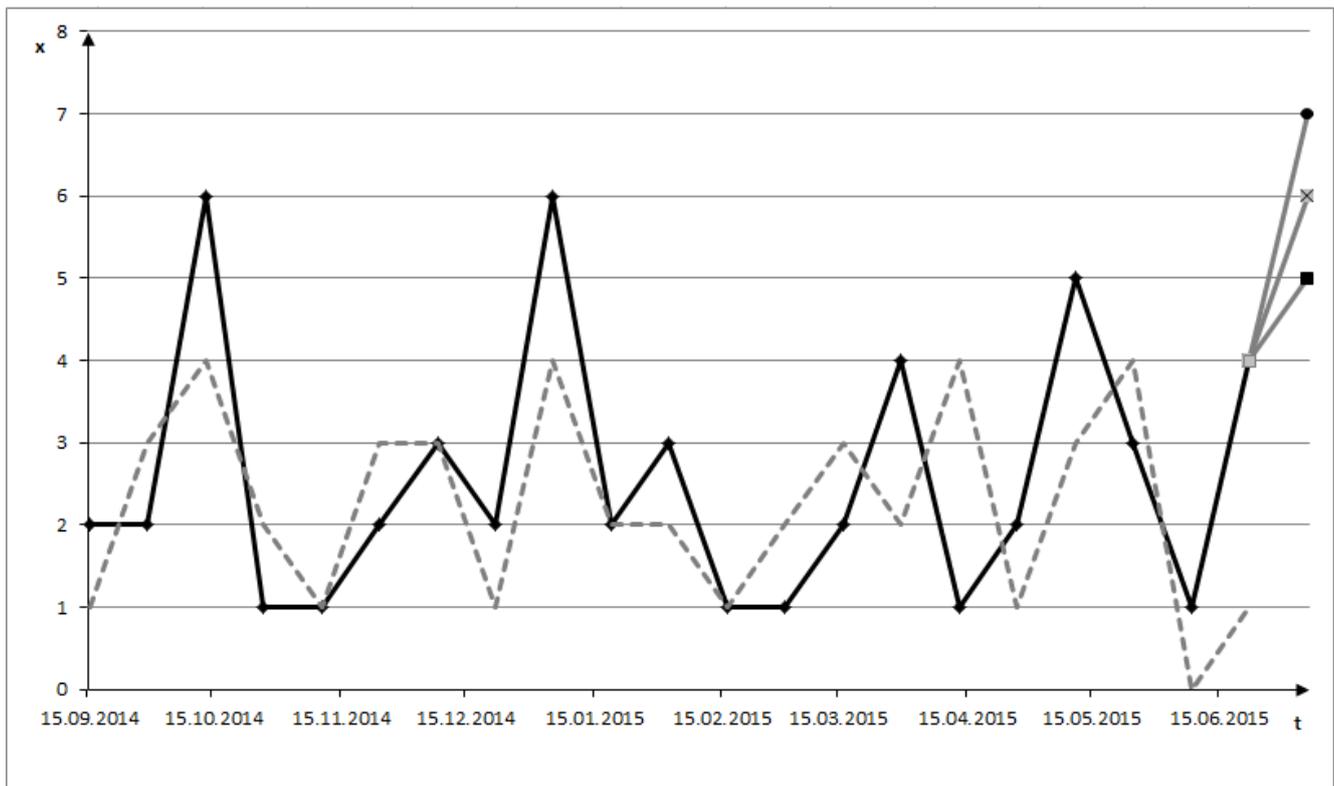


Рисунок 5 – Прогнозирование появления ошибок проекта «Эверест ресерч» с учетом влияния добавления новых функциональных возможностей в проект (гипотеза сохранения тенденции)

Результаты проведенных экспериментов сравнивались с прогнозом посредством метода *ARIMA*. Итоги сравнения представлены в таблице 3.

По итогам проведенных измерений метрик проектных событий в ходе управления проектом реализации программного комплекса «Эверест Ресерч» был использован предложенный в работе метод прогнозирования, в результате руководителем были приняты управленческие решения, в связи с чем произошло улучшение метрики ошибок на 10 % на втором этапе, что позволило выполнить проект в срок.

Полученные результаты показывают, что предложенный подход, реализующий модифицированный метод прогнозирования НЭТ может быть использован для краткосрочного прогнозирования ВР в ситуации, когда имеется экспертное предположение о существовании ВР предиката.

Проведенные вычислительные эксперименты по исследованию эффективности предложенных методов и алгоритмов показали, что предложенный подход показывает улучшение качества прогнозирования по сравнению с моделями

класса *ARIMA* по критерию *MSE*, которое составляет не более 1-2% от среднего значения метрик прогноза.

Таблица 3 – Сравнение оценок *MSE* прогноза метрик проектов с *ARIMA*

Проект	ВР метрик	ВР-предиктор	Гипотеза 1			Гипотеза 2			Гипотеза 3			ARIMA	Среднее значение метрик
			τ_{t+1}	τ_{t+1}^Y	$\hat{\tau}_{t+1}^Y$	τ_{t+1}	τ_{t+1}^Y	$\hat{\tau}_{t+1}^Y$	τ_{t+1}	τ_{t+1}^Y	$\hat{\tau}_{t+1}^Y$		
<i>Mongo DB</i>	<i>Improvement</i>	<i>New Feature</i>	0,0051	0,0051	0,1725	0,1961	0,1961	0,6189	0,059	0,059	0,3442	0,4623	41,37
<i>Mongo DB</i>	<i>Bug</i>	<i>Improvement</i>	0,0017	0,0158	0,0019	0,0247	0,0053	0,0239	0,0055	0,0252	0,0059	0,0059	61,89
<i>Mongo DB</i>	<i>Bug</i>	<i>Task</i>	0,0017	0,0158	0,0327	0,0247	0,0053	0,0003	0,0055	0,0252	0,0457	0,0059	61,89
«НПО «МАРС»»	14	54	0,00022	0,00018	0,0072	0,00081	0,00074	0,0069	0,0001	0,00061	0,0055	0,0094	1,67
«НПО «МАРС»»	142	275	0,0007	0,0008	0,0008	0,0127	0,0123	0,0122	0,0344	0,0338	0,0336	0,0269	10,85
«НПО «МАРС»»	14	220	0	0,0002	0,0009	0	0,0019	0,0093	0,0001	0,0001	0	0,1342	1,67
«НПО «МАРС»»	54	220	0,0002	0,0002	0,0002	0	0,00001	0,00003	0	0,0001	0,00003	0,9232	2,48
«НПО «МАРС»»	180	41	0,00002	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0	0	0,00001	0,00001	0,0685	5,11
«Эверест Ресерч»	<i>Bug</i>	<i>New Feature</i>	0,1111	0,0275	0,0275	0,25	0,4455	0,4455	0,4444	0,6957	0,6957	0,5397	2,57

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В ходе диссертационного исследования были получены следующие результаты:

1. Главным итогом диссертационной работы является создание моделей, алгоритмов анализа и средств управления проектной деятельностью на основе метрик проектных событий.

2. Выполнен сравнительный анализ современных систем контроля версий, средств управления проектами, а также научный обзор методов анализа временных рядов.

3. Разработана формализованная модель состояния проектной деятельности на основе метрик проектов, загруженных в систему контроля версий проектного репозитория.

4. Разработаны модели и алгоритмы прогнозирования нечетких временных рядов метрик проекта.

5. Разработаны модели и алгоритмы прогнозирования временных рядов метрик проекта на основании мер сходства.

6. Разработан комплекс программ моделирования как подсистема автоматизации СКВ.

7. Проведены вычислительные эксперименты по прогнозированию ВР метрик проектов. По сравнению с методом *ARIMA* получена лучшая оценка *MSE* 1-2 % в среднем.

8. Внедрение разработанного комплекса программ прогнозирования и моделирования состояния проекта позволило получить в конкретном проекте сокращение ошибок на 10 % и обеспечить выполнение проекта в срок.

Таким образом, в диссертации решена актуальная научно-техническая задача, имеющая важное значение для развития и применения в системах автоматизированного проектирования средств математического моделирования, численных методов, а именно: построение эффективного средства управления совокупностью проектов крупной проектной организации на основе анализа и моделирования состояния метрик проектов программно-аппаратных комплексов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных Перечнем ВАК России:

1. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Тимина И.А. Нечеткая грануляция в моделировании и прогнозировании объема телекоммуникационного трафика // Научно-технические проблемы. – 2013. – №5. – Т.14. – С. 67-73.

2. Тимина И.А. Нечеткая зависимость как метод решения задач интеллектуального анализа временных рядов // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 3(33). – С. 39-44.

3. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Романов А.А., Тимина И.А. Извлечение знаний о зависимостях временных рядов для задач прогнозирования // Радиотехника. – 2014. – №7. – С. 141-146.

4. Тимина И.А., Радионова Ю.А., Ярушкина Н.Г., Эгов Е.Н. Анализ временных рядов в задачах управления архива конструкторской технологической документации // Радиотехника. – 2015. – №6. – С. 83-88.

5. Артюхов М.В., Ярушкина Н.Г., Романов А.А., Гуськов Г.Ю., Тимина И.А. Прогнозирование временных рядов коллективами методов // Радиотехника. – 2015. – №6. – С. 48-54.

6. Ярушкина Н.Г., Тимина И.А. Модель и средства управления проектированием автоматизированной системы на основе динамики метрик программного кода // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 3(41). – С. 73-81.

7. Ярушкина Н.Г., Воронина В.В., Тимина И.А., Эгов Е.Н. Прогнозирование состояния технической системы с применением меры энтропии для нечетких временных рядов // Автоматизация процессов управления. – 2015. – № 3(41). – С. 49-58.

В прочих изданиях:

8. Timina I.A. Time series clusterization // Interactive systems and technologies: the problem of Human-Computer Interaction: collection of scientific papers. – Ulyanovsk: UIGTU, 2011. – Pp. 390-393.

9. Тимина И.А. Кластеризация временных рядов // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов 4-й Всероссийской научно-технической конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – Т. 2. – С. 292-298.

10. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Тимина И.А. К вопросу о прогнозировании многомерного гетерогенного временного ряда // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012: труды конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – Т. 1. – С. 149-155.

11. Тимина И.А. Кластеризация многомерных временных рядов // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов IV Всероссийской школы-семинара. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – С. 374-378.
12. Тимина И.А. Прогнозирование нечетких временных рядов на основе гипотез о поведении тенденций // Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 47-й научно-технической конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – Т. 2. – С. 262-265.
13. Тимина И.А. Нечеткая зависимость временных рядов в моделировании и прогнозировании состояния организации // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов 5-й Всероссийской научно-технической конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – С. 228-234.
14. Тимина И.А. Анализ и прогнозирование многомерных временных рядов // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2013. Аннотация докладов. – 2013. – Т.2. – С. 318.
15. Афанасьева Т.В., Тимина И.А. Интеллектуальный анализ нечетких тенденций временных рядов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сборник научных трудов VII-й Международной научно-практической конференции. – М: Физматлит, 2013. – Т.3. – С. 474-483.
16. Тимина И.А. К вопросу о степени сходства нечетких тенденций в интеллектуальном анализе временных рядов // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. Аннотация докладов. – 2014. – Т.3. – С. 120.
17. Тимина И.А. Прогнозирование зависимых нестационарных временных рядов на основе нечетких элементарных тенденций с учетом регулирования гипотезы устойчивости тенденции // Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 48-й научно-технической конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – Т. 2. – С. 182-185.
18. Yarushkina N., Afanasieva T., Timina I. Predicative analytics for developing software // The 8th Spring / Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering. – Saint Peterburg, Russia, 2014. – Pp. 154-158.

19. Ярушкина Н.Г., Тимина И.А. Коэффициент подобия как способ оценки влияния наличия нечетких тенденций шаблона на прогноз // Нечеткие системы и мягкие вычисления: VI-я Всероссийская научно-практическая конференция. – СПб.: Политехника-сервис, 2014. – Т. 1. – С. 90-98.

20. Тимина И.А. Корректировка гипотез прогноза для извлечения знаний о временных рядах // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014: труды конференции. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. – Т.3. – С. 68-76.

21. Афанасьева Т.В., Гуськов Г.Ю., Перфильева И.Г., Романов А.А., Ярушкина Н.Г., Тимина И.А. Интеллектуальный веб-сервис экспресс-анализа экономического состояния предприятия // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014: труды конференции. – Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. – Т.2. – С. 213-221.

22. Ярушкина Н.Г., Тимина И.А. Алгоритм адаптации прогноза зависимых временных рядов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы II международного Пospelовского симпозиума. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. – С. 398-403.

23. Воронина В.В., Тимина И.А. Разработка модуля анализа многомерных временных рядов для системы оценки финансового состояния предприятия // Прикладные информационные системы: первая Всероссийская научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – С. 4-10.

24. Тимина И.А., Радионова Ю.А. Предикативное прогнозирование поступления электронной технической документации в проектной репозитории на основе нечетких тенденций // Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 49-й научно-технической конференции. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – Т. 2. – С. 194-197.

25. Артюхов М.Ю., Ярушкина Н.Г., Романов А.А., Гуськов Г.Ю., Тимина И.А. Построение массива методов для прогнозирования временных рядов //

Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции. – М.: Физматлит, 2015. – Т.1. – С. 332-341.

26. Тимина И.А., Радионова Ю.А., Эгов Е.Н. Мера энтропии в решениях задач управления архива конструкторской технологической документации // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции. – М.: Физматлит, 2015. – Т.1. – С. 361-370.

Свидетельства о регистрации программного продукта:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612213. Интеллектуальный экспресс-анализатор сходства нечетких тенденций временных рядов / Ярушкина Н.Г., Тимина И.А.; правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»; заявл. 25.12.2013; зарегистр. 21.02.2014. – М.: Роспатент, 2014.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617046. Интегрированная система нечетких методов прогнозирования временных рядов / Ярушкина Н.Г., Романов А.А., Гуськов Г.Ю., Тимина И.А.; правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»; заявл. 12.05.2015; зарегистр. 29.06.2015. – М.: Роспатент, 2015.

Тимина Ирина Александровна

Автоматизированное проектирование на основе
модели прогнозирования нечетких тенденций метрик проектной деятельности

Автореферат

Подписано в печать 19.10.2016. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 1,63. Тираж 100 экз. Заказ 160

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, Северный Венец, 32.