На правах рукописи

Сибирев Иван Валерьевич

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОДДЕРЖКИ ПОИСКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (промышленность)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Ульяновск – 2018

Работа выполнена на кафедре «Информационные системы» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Научный руководитель: **Афанасьева Татьяна Васильевна** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные системы» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»

Официальные оппоненты:

Смагин Алексей Аркадьевич – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой телекоммуникационных технологий и сетей, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

Радионова Юлия Александровна – кандидат технических наук, ведущий инженер-программист, Федеральный научно-производственный центр акционерное общество «Научно-производственное объединение «Марс», г. Ульяновск

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

Защита состоится 27 февраля 2019 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.277.01 при ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, Главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет». Диссертация и автореферат размещены на сайте http://www.ulstu.ru

Автореферат разослан 25 декабря 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.277.01,
доктор технических наук, профессор В.И. Смирнов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

При проектировании программного обеспечения (ПО) важной задачей является автоматизированный поиск вариантов предварительных проектных решений из похожих проектов (в дальнейшем, для краткости, поиск проектных решений), удовлетворяющих требованиям технического задания (ТЗ). Эта задача решается, согласно ГОСТ Р 57102-2016, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010, на этапе проектирования архитектуры системы, а по ГОСТ 34.601-90 на этапе эскизного проектирования.

Под проектом будем понимать систему, включающую совокупность процессов, нацеленных на создание уникального продукта и его описаний, выраженных в виде проектных, технических и технологических решений. Согласно ГОСТ 34.003-90, проектное решение определяется как «описание в заданной форме объекта проектирования или его части, необходимое и достаточное для определения дальнейшего направления проектирования».

При поиске проектных решений целесообразно опираться на опыт разработки проектов ПО, накопленный в электронных архивах технической документации проектной организации; в базах данных систем технологической подготовки производства; в репозиториях систем отслеживания и управления проектами GIT, SVN, JIRA, TFS, Bugzilla, Trac, Mantis, Redmine, которые хранят характеристики реализованных проектов и позволяют, в том числе, отслеживать процесс проектирования. В задаче автоматизации поиска проектных решений на основе данных, извлекаемых из репозиториев технической документации, выделим два направления: 1) по текстовым; 2) по числовым характеристикам проекта.

Первое направление реализуется с использованием онтологического подхода, на основе интегрального индекса, вычисляемого по множеству характеристик текстов программных и проектных решений (Н.М. Боргест, Н.В. Лукашевич, Е.В. Биряльцев, А.М. Елизаров, Н.Г. Жильцов, В.В. Иванов, О.А. Невзорова, В.Д. Соловьев, В.В. Грибова, А.В. Иванова, А.М. Наместников, А.А. Филиппов и др.); подходов на основе методов классификации данных и знаний, позволяющих группировать документы по множеству текстовых характеристик (В.В. Курейчик, В.Б. Барахнин, В.А. Нехаева, А.М. Федотов, Д.А. Ткачев, О.В. Пескова, Н.Г. Ярушкина, А.В. Чекина, А.А. Островский и др.). Ограничениями методов поддержки поиска с использованием текстовых характеристик проектов являются неоднозначность терминов естественного языка, смена терминологии, поиск различных документов, в зависимости от выбора раздела документа, содержащего

проектные решения.

Второе направление поддержки поиска проектных решений опирается на количественные характеристики проектов, поскольку техническая документация, представляемая в виде технического задания, эскизного и рабочего проекта, описание конечного продукта и его эксплуатационная документация содержат количественную информацию, которая может быть полезна для повторного использования.

В ряде исследований зарубежных авторов, таких как Sh. Budhkar, Dr. Arpita Gopal, S.A.S. Sadou, H. Sahraoui, R. Fleurquin, Ch. Srinivasa, V. Radhakrishnab, Dr.C.V.Guru Rao и др., рассматриваются методы анализа свойств программных проектов на основе предварительно извлеченных числовых характеристик. Так M.Jureczko, L. Madeyski в задаче прогнозирования дефектов описывают методику поиска похожих проектов с помощью кластеризации векторов, образованных из коэффициентов корреляции между метриками объектно-ориентированного программирования и количеством дефектов в проекте.

Анализ различных направлений исследований показал, что методы кластеризации проектов по статическим числовым характеристикам могут рассматриваться как перспективные средства поддержки поиска проектных решений в области разработки ПО. Необходимость анализа не только статических, но и динамических характеристик программных проектов отмечается в работах M. Shtern, V. Tzerpos, Q. Zhang, Q. Qiu и L. Sun.

Однако вопросы кластеризации программных проектов и по числовым, и по динамическим характеристикам процесса разработки недостаточно исследованы, хотя в последнее время анализу процессов разработки ПО уделяется особое внимание (ГОСТ Р 57102-2016, ГОСТ Р 57193-2016, ГОСТ Р 54869-2011, ГОСТ Р ИСО 10006-2005, ГОСТ Р ИСО 21500-2014, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010). Актуальна также задача восстановления недостающих числовых данных, возникающая в случае пропусков данных или в процессе удаления аномальных значений. При этом сбор, предварительная обработка, проверка, восстановление недостающих данных может занимать до 95% времени в процедуре поиска проектных решений. Это определяет научно-техническую **проблему** в области разработки ПО, связанную с востребованностью автоматизированных средств поддержки поиска проектных решений на основе кластеризации числовых характеристик проектов, хранимых в репозитории.

Цель работы: сокращение временных затрат на этапе архитектурного проектирования ПО за счет разработки методов и средств автоматизированной поддержки поиска проектных решений на основе кластеризации числовых характеристик проектов.

Задачи исследования

1. Разработать формальную модель проектов ПО, включающую числовые статические и динамические характеристики, а также текстовые описания проектных решений.
2. Разработать и исследовать алгоритм восстановления пропущенных значений числовых характеристик проектов.
3. Разработать алгоритм кластеризации проектов по множеству их динамических характеристик.
4. Разработать метод поиска похожих проектных решений по числовым статическим и динамическим характеристикам.
5. Разработать программные средства поддержки поиска проектных решений, включающие средства извлечения, восстановления и кластеризации числовых характеристик проектов ПО.

Методы исследования основаны на использовании положений и методов теории автоматизированного проектирования, кластерного анализа, анализа временных рядов, объектно-ориентированного, функционального, контекстно-ориентированного, компонентно-ориентированного программирования.

На научную новизну претендуют:

1) модель проектов ПО, включающая числовые статические и динамические характеристики, а также текстовые описания проектных решений, предусматривающая, в отличие от известных моделей, возможность совместного анализа числовых статических и динамических характеристик проектов;

2) алгоритм восстановления пропущенных значений числовых характеристик проектов, в основе которого лежат методы нечеткой кластеризации, в отличие от методов, использующих статистические характеристики и распределения;

3) метод кластеризации процессов разработки проектов ПО по динамическим характеристикам, представленным временными рядами (FBC-метод), отличающийся от известных методов применением кластеризации на трех иерархических уровнях (основных тенденций, компонент тренда и колебаний временных рядов);

4) метод поиска похожих проектных решений, отличающийся от аналогов постановкой задачи, методом формирования групп похожих проектов и разделением по времени этапов кластеризации проектов и поиска проектного решения.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке средств автоматизации поддержки поиска проектных решений ПО на этапе архитектурного проектирования ПО, методов и алгоритмов анализа и синтеза числовых характеристик проектов.

Практическая значимость полученных результатов состоит в разработке комплекса средств поддержки поиска проектных решений по числовым статическим и динамическим характеристикам, включающего:

– архитектуру автоматизированной системы поддержки поиска проектных решений;

– программные средства поддержки поиска проектных решений для проекта «Автоматизированная система балансировки мощностей» системы автоматизированной подготовки производства АО «Авиастар-СП»; для поиска похожих проектов и проектных решений в работе ООО «ЦИТОП», отдела информационных технологий Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Ульяновской области.

Основания для выполнения работы

Исследования выполнены в рамках исполнения грантов:

1) РФФИ № 14-07-0024 «Методология моделирования и прогнозирования локальных тенденций временных рядов в задачах анализа больших данных»;

2) РФФИ № 16-07-00535 «Разработка и исследование алгоритмов интеллектуального анализа организационно-технических систем на основе нечетких моделей»;

3) РФФИ № 16-47-732112 «Исследование и разработка методов прогнозирования временных рядов на основе многомодельного подхода».

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается корректностью использования математического и критериально-оценочного аппарата; результатами вычислительных экспериментов; результатами использования материалов диссертации в работе компаний.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Модель проектов ПО, включающая числовые статические и динамические характеристики, а также текстовые описания проектных решений, позволяет адекватно и комплексно представлять данные о проекте, полезные для поиска проектных решений.
2. Алгоритм восстановления пропущенных значений числовых характеристик проектов позволяет повысить точность восстановления значений в 2 раза по сравнению с заполнением средним арифметическим.
3. Метод кластеризации проектов по динамическим характеристикам (FBC-метод), представленным в виде временных рядов, позволяет выявлять однородные группы проектов со сходной динамикой и повысить качество кластеризации, согласно индексу Ball-Hall, в 2.8 раза по сравнению с поточечной кластеризацией.
4. Средства автоматизации поддержки поиска проектных решений позволяют

сократить время поиска проектных решений за счет разделения этапов кластеризации проектов и поиска проектного решения, в конкретном случае снижение временных затрат составило 67%.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на следующих конференциях, конгрессах, семинарах и симпозиумах: 16th World Congress of the International Fuzzy Systems Association and 9th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology IFSA-EUSFLAT (Gijón, Asturias, Spain, 2015); 17th World Congress of lnternational Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems IFSA-SCIS (Otsu, Shiga, Japan, 2017); VI, VII Международные научно-технические конференции «Open Semantic Technologies for Intelligent Systems» OSTIS (г. Минск, Беларусь, 2016г., 2017 г.); Международная научно-техническая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (г. Коломна, 2015г.); III Международная научно-практическая конференция «Электронное обучение в непрерывном образовании (ЭОНО-2016)» (г. Ульяновск, 2016 г.); Пятнадцатая национальная конференция «Национальная конференция по искусственному интеллекту (КИИ-2016)» (г. Смоленск, 2016г.); VII Всероссийская научно-практическая конференция «Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технологии» (г. С.-Петербург, 2017 г.); VIII Всероссийская научно-техническая конференция «Информатика и вычислительная техника» (г. Ульяновск, 2016г.), IV, V Всероссийские научно-практические конференции с международным участием «Прикладные информационные системы» (г.Ульяновск, 2017,2018г.); I, II Всероссийские научно-практические конференции «Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения», FTI-17,18 (г.Ульяновск, 2017, 2018 г.) Молодежная научно-техническая конференция «Автоматизация процессов управления» (Ульяновск, «Марс», 2018 г.), 52 НТК «Вузовская наука в современных условиях» (УлГТУ, 2018 г.) и др.

Публикации

По результатам работы было опубликовано 22 статьи, среди них: в журналах из списка ВАК – 3 статьи, в изданиях, индексируемых в Scopus – 2 статьи, за рубежом – 4 статьи (Испания, Япония, Беларусь). Получены 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа изложена на 172 страницах, объем с приложениями составляет 211 страниц, содержит введение, четыре главы, заключение, 17 таблиц, 43 рисунка, список литературы из 160 наименований, 5 приложений.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, определены цель и задачи, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе произведен обзор методов и средств автоматизации поддержки поиска проектного решения в задаче разработки ПО. На основе анализа технической документации проектов в области создания программных систем; проектов, связанных с технологической подготовкой производства, выявлена целесообразность решения следующих задач по автоматизации проектной деятельности на этапе архитектурного (эскизного) проектирования ПО: формализация информации о проектах, хранимых в базах данных, репозиториях систем управления и в электронных архивах технических документов; анализ на наличие пропусков числовых характеристик проектов и восстановление недостающих значений.

Обоснована и сформулирована задача автоматизации поиска проектных решений на основе кластеризации проектов по множеству статических и динамических характеристик программных проектов.

Во второй главе разработана и описана формальная модель проектов ПО, включающая числовые статические и динамические характеристики проектных решений; представлено алгоритмическое обеспечение поддержки поиска проектных решений, как поиска технической документации проектов, схожих по числовым характеристикам.

Статические характеристики проектов включают количественные характеристики и описательные, содержащие текстовые или иные описания проектных решений. Динамические характеристики образованы упорядоченными по времени значениями ключевых числовых характеристик. Определены две группы числовых характеристик проекта: известные до этапа архитектурного проектирования ПО (из ТЗ и других источников) и неизвестные до этапа архитектурного проектирования, но известные для завершенных проектов.

Числовые характеристики первой группы рассматриваются как планируемые характеристики проекта: объем финансирования; время выполнения; количество задач (функций); количество основных компонент; количество требований к качеству; технические характеристики; показатели качества для каждого компонента (функции, элемента системы); допустимые отклонения от показателей качества для каждого компонента; численность разработчиков; количество документов и др.

Ко второй группе числовых характеристик отнесем:

1) статические неключевые характеристики (количество открытых веток,

количество закрытых веток, количество релизов, количество изменений в файлах, результативность тестирования, производительность, количество реализованных компонент (выполненных функций), количество недопустимых отклонений от показателей качества и др.);

2) статические ключевые характеристики завершенных проектов: объем финансирования; время выполнения; количество задач (функций); количество основных компонент; количество требований к качеству; технические характеристики; показатели качества для каждого компонента (функции, элемента системы); допустимые отклонения от показателей качества для каждого компонента; количество разработчиков; количество документов и др.;

3) динамические характеристики (изменения во времени статических характеристик проекта, например, производительности по видам работ, качества по видам работ и в целом по проекту и др.).

Обозначим $P = \{P_i\}$ множество завершенных проектов, хранимых в проектном репозитории, где i=1,2,…,I, I – количество проектов. Рассматривая проект в виде совокупности свойств, задаваемых статическими, динамическими характеристиками и отношениями между ними, представим P в виде

$$P = \{S, D, O, R_{SDO}, R_{SS}, R_{DD}\}, \quad (1)$$

где $S = \{S_{ij}\}$ $(j = 1,2, \dots, J)$ обозначает множество из J статических числовых характеристик проектов P (ключевых и неключевых); $D = \{D_{ijt}\}$ $(t = 1,2, \dots, T)$ содержит динамические числовые характеристики проектов P, рассматриваемые в виде временных рядов, описывающих изменение во времени $t = 1,2, \dots, T$ статических числовых характеристик S; $O = \{O_{iq}\}$ $(q = 1,2, \dots, Q)$ обозначает множество из Q статических текстовых характеристик, содержащих ссылки на текстовые и графические описания проектных решений в технической документации проектов P; R_{SDO} определяет отношение связи характеристик S, D, O; R_{SS} задает отношение сходства между проектами по S; R_{DD} обозначает отношение сходства между проектами по D.

Предположим, что в проектном репозитории содержатся несколько похожих по своим статическим и динамическим характеристикам проектов. Тогда проекты P можно разделить на следующие группы (кластеры) похожих проектов $Cl_{rw}, Cl_r^{static}, Cl_w^{dinamic}$, при этом выполняется:

$P = \cup\, Cl_r^{static}$ $(r = 1, \dots, R)$, где кластеры Cl_r^{static} объединяют проекты P_i, схожие по их статическим числовым характеристикам S на основе отношения R_{SS}, R обозначает количество таких кластеров;

$P = \cup\, Cl_w^{dinamic}$ $(w = 1, \dots, W)$, где кластеры $Cl_w^{dinamic}$ объединяют проекты P_i, схожие по динамическим числовым характеристикам D на основе отношения

R_{DD}, W обозначает количество таких кластеров;

$Cl_{rw} = Cl_r^{static} \cap Cl_w^{dinamic} (wr = 1, \dots, WR)$, где кластеры Cl_{rw} включают проекты P_i, схожие и по статическим, и по динамическим числовым характеристикам, WR обозначает количество таких кластеров.

Сформулируем постановку задачи поиска проектных решений. Пусть в результате анализа требований к системе были сформулированы $K < J$ числовых ключевых характеристик $S^{new} = \{S_k^{new}\}$ $(k = 1, \dots, K)$ заданного проекта G.

Необходимо определить подмножество проектов $P_m \in cl^*$ $(m = 1, \dots, M)$ из некоторого кластера $cl^* \in \{Cl_{rw}\}, Cl_{rw} \subset P$, и соответствующее им множество проектных решений $O_m \in \{O_i\}$ $(m = 1, \dots, M; i = 1, \dots, I)$, которое определяет множество текстовых описаний и рассматривается как результат поиска проектных решений для заданного проекта G. Множество проектов P_m $(m = 1, \dots, M)$ кластера $cl^* \in \{Cl_{rw}\}$ должно обладать следующими свойствами.

1) Информация о числовых и описательных характеристиках проектов P_m соответствует модели (1).
2) Ключевые числовые характеристики проектов P_m близки по некоторой метрике с ключевыми числовыми характеристиками $S^{new} = \{S_k^{new}\}$ проекта G.
3) Проекты P_m имеют сходство между собой по статическим S и по динамическим D числовым характеристикам.

Иногда не все значения числовых характеристик проектов P из репозитория известны, часто пропуски данных возникают вследствие удаления аномальных числовых значений, которое выполняется с целью повышения качества кластеризации. В этом случае возникает задача восстановления недостающих числовых характеристик проектов. Для решения этой проблемы в диссертации предложен алгоритм восстановления пропущенных значений числовых характеристик проектов (Алгоритм 1).

Множество S статических числовых характеристик проектов $P = \{P_i\}$ представим в виде матрицы X_0. Эта матрица содержит ячейки с пропущенными значениями. Пусть $X_0(i, j)$ – ячейка этой матрицы, соответствующая проекту P_i и его j-той числовой характеристике, i=1,...,I, j=1,...,J, I – количество проектов в репозитории, J – количество числовых характеристик.

Алгоритм 1. Восстановление числовых характеристик проектов P.

Шаг 0. Введем матрицу X_0, удалив полностью не заполненные строки и столбцы.

Шаг 1. Получим числовую матрицу X_1, в которой на месте пропущенных значений запишем средние арифметические значения соответствующей характеристики по множеству проектов P среди заполненных значений:

$$X_1(i, j) = GetMatrixWithValues(X_0).$$

Шаг 2. Проведем первичную кластеризацию проектов одним из четких методов (центроидным, Варда или др.) с использованием критерия нахождения числа кластеров K: количество кластеров должно быть максимально возможным; в каждом кластере для каждого параметра должно быть хотя бы одно заполненное значение: $K = GetK(X_1)$.

Обозначим $C2$ результат кластеризации проектов P_i (i=1,...,I) на K кластеров: $C2 = ClusteringCentroid(X_1, K)$.

Шаг 3. Нечёткая кластеризация FCM-методом на K кластеров для определения степеней принадлежности проектов кластерам (таблица 1):

$$FCM = FCM(C2, X_1).$$

Таблица 1 – FCM – таблица степеней принадлежности проектов кластерам

FCM	$C2_1$	$C2_2$	…	$C2_K$
P_1	1	0	…	0
P_2	0.2	0.3	…	0.1
…	…	…	…	…
P_I	0.5	0.1	…	0.2

Таблица 2 – Таблица среднеарифметических значений j-той числовой характеристики ($j = 1,..., J$) по каждому кластеру

j / кластер	1	2	…	*J*
$C2_1$	1.5	0.3	…	72.4
$C2_2$	3.2	0.7	…	63.1
…	…	…	…	…
$C2_K$	16.1	0.5	…	54.2

Шаг 4. Построение таблицы среднеарифметических значений по каждому кластеру (таблица 2): $CP = CP(C2, X_1)$, результат – матрица $CP = \{CP(i, j)\}$ размерности $K \times J$. Элемент матрицы $CP(i, j)$ – это среднеарифметическое значений j-той числовой характеристики ($j = 1,..., J$) по кластеру $C2_i$ ($i = 1,..., K$).

Шаг 5. Новое значение восстановим в виде взвешенной суммы средних значений по каждому кластеру из таблицы 2 с весовыми коэффициентами из таблицы 1:

$$\tilde{X}_1 = RecoveryMissingQuestionnairesData(X_1, FCM, CP).$$

После расчета $\tilde{X}_1$, для поддержания итеративности процесса полагаем $X_1 = \tilde{X}_1$. Затем переходим к шагу 2. Предложенный алгоритм итеративный, количество итераций составляет обычно от 2 до 5, на каждой итерации ищутся значения $K, \tilde{X}_1$, значение числовой характеристики проекта с индексами (i, j) в матрице X_1 восстанавливается как среднее значение по всем итерациям.

Для решения проблемы кластеризации процессов разработки проектов по динамическим характеристикам *D*, представленным в виде временных рядов (ВР), предлагается FBC-метод кластеризации временных рядов (Fuzzy Behavior Clustering). FBC-метод использует интеграцию методов кластеризации ВР: поточечной, параметрической и на основе моделей, может быть отнесен к методам агломеративной иерархической кластеризации ВР. Выходными данными FBC-метода являются кластеры $Cl_w^{dinamic}$ проектов, имеющих схожие

динамические характеристики.

Обозначим $Y = \{X_s\}$. множество ВР, характеризующих процесс разработки проектов с точки зрения изменения некоторой числовой характеристики (например, количество коммитов, количество обнаруженных ошибок и др.). Рассмотрим модель основной тенденции ВР в виде:

$$x_t = \alpha * f_t + \beta * \psi_t,$$

где x_t– значение ВР в момент времени t, f_t – компонента тренда, ψ_t – компонента колебаний, $\psi_t = s_t + e_t$, s_t и e_t– регулярные и нерегулярные колебания, соответственно. Если $\alpha = 0$, то трендовая компонента f_t для ВР не выражена, если $\beta = 0$, то компонента колебаний ψ_t отсутствует.

Идея FBC-метода заключается в представлении множества ВР X на трех уровнях иерархии: на уровне основной тенденции gt, на уровне компонент тренда f_t и на уровне компонент колебаний ψ_t: $< gt, f_t, \psi_t >$, где основная тенденция gt трактуется как описание человеком поведения ВР в лингвистических терминах «падение», «стабильность», «рост», «колебания», «колебания с трендом».

Алгоритм 2. Кластеризация процессов разработки проектов (FBC-метод) по динамическим характеристикам, представленным в виде множества ВР $Y = \{X_s\}$.

Шаг 1. Преобразование, ставящее в соответствие ВР X_s лингвистический терм основных тенденций из множества лингвистических термов основной тенденции GT={«падение», «стабильность», «рост», «колебания»}:

$$X_s \to gt_s \in GT, X_s \in Y.$$

Шаг 2. Кластеризация gt_s по основным тенденциям с использованием лингвистического терма из множества GT: GT={«падение», «стабильность», «рост», «колебания»}. При этом множество ВР $Y = \{X_s\}$ разбивается на подмножества – кластеры основных тенденций:$Y = Y_{fall} \cup Y_{growth} \cup Y_{stab} \cup Y_{fluct}$.

Шаг 3. Численная кластеризация ВР X_s из кластеров $Y_{fall}, Y_{growth}, Y_{stab}, Y_{fluct}$ шага 2, основанная на преобразовании каждого ВР $X_s \in Y$ в вектор параметров Z_s.

А) Получение вектора параметров Z_s для каждого ВР $X_s \in Y$.

Группируем значения x_t каждого исходного ВР X_s на N1 кластеров. Затем рассчитываем барицентры и дисперсии кластеров, которые рассматриваются как параметры ВР. Из барицентров, отсортированных в хронологическом порядке, и соответствующих дисперсий стоится ВР параметров Z_s. При этом множество $Z = \{Z_s\}$ векторов, составленных из полученных параметров, в соответствии с разбиением множества Y на подмножества из шага 2, разбивается на кластеры основных тенденций: $Z = Z_{fall} \cup Z_{growth} \cup Z_{stab} \cup Z_{fluct}$, отвечающие исходным

ВР из множеств Y_{fall}, Y_{growth}, Y_{stab}, Y_{fluct}.

В) Кластеризация векторов Z_s из множеств Z_{fall}, Z_{growth}, Z_{stab}, Z_{fluct} на $N2$ кластеров. Отметим, что значения $N1$ и $N2$ необходимо задать экспертно.

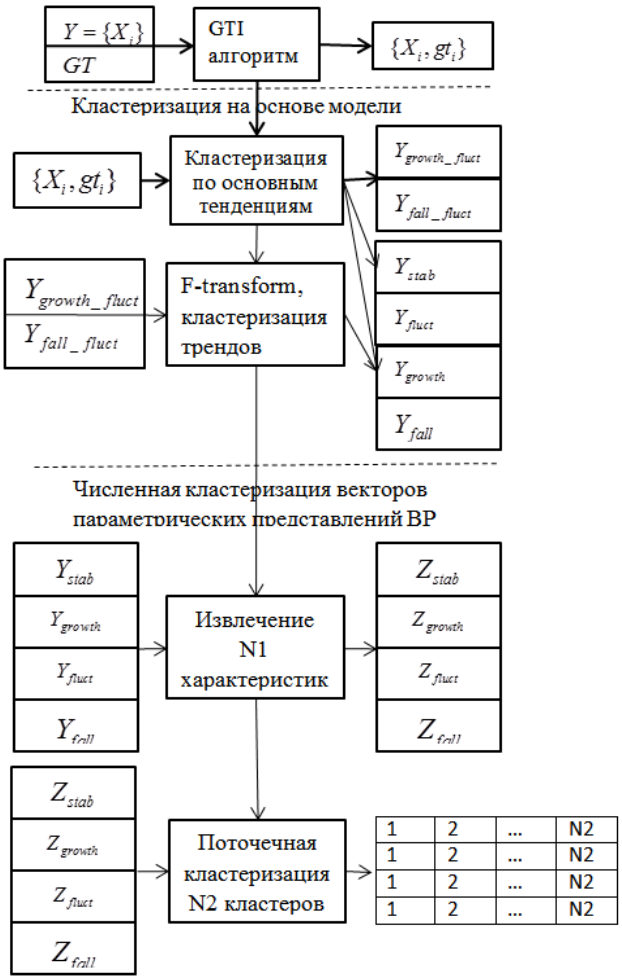


Рисунок 1 – Схема FBC-метода

Разработанные в диссертации Алгоритм 1 и Алгоритм 2 использованы при разработке метода поиска похожих проектных решений по числовым характеристикам. Входными данными предлагаемого метода поиска похожих проектов являются множество ключевых характеристик $S^{new} = \{S_k^{new}\}$ $(k = 1, \dots, K)$ заданного проекта G и множество завершенных проектов $P = \{P_i\}$, представленных согласно модели (1), где i=1,…,I, I – количество проектов, хранимых в репозитории. Выходная информация представлена в виде проектных решений $O_m \in \{O_i\}$ $(m = 1, \dots, M; i = 1, \dots, I)$, соответствующих проектам некоторого кластера $cl^* \in \{Cl_{rw}\}$, которые имеют сходство между собой по статическим S и динамическим D числовым характеристикам и сходны по ключевым характеристикам с проектом G.

На первом этапе поиска похожих проектов в проектном репозитории проводится подготовка данных путем формирования кластеров похожих проектов. Первый этап выполняется однократно и предшествует

непосредственному поиску проектов, схожих с заданным проектом G. Второй этап реализует процедуру определения похожих проектов для проекта G на основе вычисления минимального отклонения ключевых числовых характеристик проекта G от центров полученных кластеров, а также получение соответствующих описаний проектных решений.

Алгоритм 3. Поиск похожих проектных решений.

Этап 1. Работа с репозиторием проектов $P = \{P_i\}$ (i=1,…,I).

Шаг 1.1. Подключение к проектному репозиторию, получение числовых характеристик проектов $S = \{S_{ij}\}$ ($j = 1,2,\dots,J$), согласно модели (1). В случае невозможности получения некоторых значений числовых характеристик – восстановление недостающих числовых характеристик проектов предлагаемым методом восстановления пропущенных значений с помощью Алгоритма 1.

Шаг 1.2. По числовым характеристикам S формирование динамических характеристик проектов $D = \{D_{ijt}\}$ ($t = 1,2,\dots,T$) в виде множества ВР.

Шаг 1.3. Кластеризация всех проектов P из проектного репозитория по числовым статическим характеристикам S, формирование R кластеров проектов $Cl_r^{static} \subset P$ ($r = 1,\dots,R$), схожих по статическим характеристикам. Для решения этой задачи могут быть использованы любые методы числовой кластеризации, например, метод Варда.

Шаг 1.4. Кластеризация динамических характеристик проектов D, представленных ВР, формирование W кластеров проектов $Cl_w^{dinamic} \subset P$ ($w = 1,\dots,W$). Для этой цели разработан Алгоритм 2.

Шаг 1.5. Формирование RW кластеров проектов $Cl_{rw} \subset P$, сходных по статическим и динамическим характеристикам:

$$Cl_{rw} = Cl_r^{static} \cap Cl_w^{dinamic}\ (wr = 1,\dots,WR).$$

Этап 2. Определение проектных решений из проектов, схожих с заданным проектом G по ключевым статическим характеристикам.

Шаг 2.1. Получение вектора ключевых характеристик $S^{new} = \{S_k^{new}\}(k = 1,\dots,K)$ заданного проекта G, для которого будет выполняться поиск похожих проектов.

Шаг 2.2. Вычисление векторов центров кластеров $C_{rw} = \{C_k\}$ $(k = 1,\dots,K)$ для ключевых характеристик проектов, образующих кластеры $Cl_{rw}(wr = 1,\dots,WR)$. Длина каждого вектора определяется количеством ключевых характеристик заданного проекта G, то есть равна K.

Шаг 2.3. Вычисление евклидовых расстояний от вектора ключевых характеристик $S^{new} = \{S_k^{new}\}$ $(k = 1,\dots,K)$ проекта G до векторов центров кластеров $C_{rw} = \{C_k\}$ $(k = 1,\dots,K, wr = 1,\dots,WR)$. Нахождение минимального евклидова расстояния.

Шаг 2.4. Вывод информации о M проектах $P_m \in cl^*$ ($m = 1,\dots,M$) из кластера

$cl^* \in \{Cl_{rw}\}$, имеющего минимальное евклидово расстояние по ключевым характеристикам от его центра до $S^{new} = \{S_k^{new}\}$. Проектам P_m, имеющим сходство между собой и сходным по ключевым характеристикам с заданным проектом G, согласно модели (1), отвечает множество проектных решений $O_m \in \{O_i\}$ $(m = 1, \dots, M;\ i = 1, \dots, I)$.

Для оценки снижения временных затрат предложено использовать функцию

$$h = H(t_0,\ t_1), \quad h = 100\% * (t_0 - t_1)/t_0,$$

t_0=$t_0(N)$ – время поиска проектного решения некоторым практикуемым методом, применяемым к множеству N проектов репозитория без применения предложенного в диссертации метода, t_1=$t_1(M)$ – время поиска проектного решения этим же методом, применяемым к множеству M проектов репозитория после применения предложенного в диссертации метода (Алгоритм 3). Отметим, что в этом случае пространство поиска сократится в N/M раз.

В третьей главе разработаны и описаны средства автоматизации поддержки поиска проектных решений: программный комплекс «Автоматизированная кластеризация и поиск проектов разработки ПО (АКПО)» (рисунок 2) и HTTP-сервер для автоматического восстановления пропусков числовых значений справочных таблиц автоматизированного сервиса балансировки производства на базе АО «Авиастар-СП».

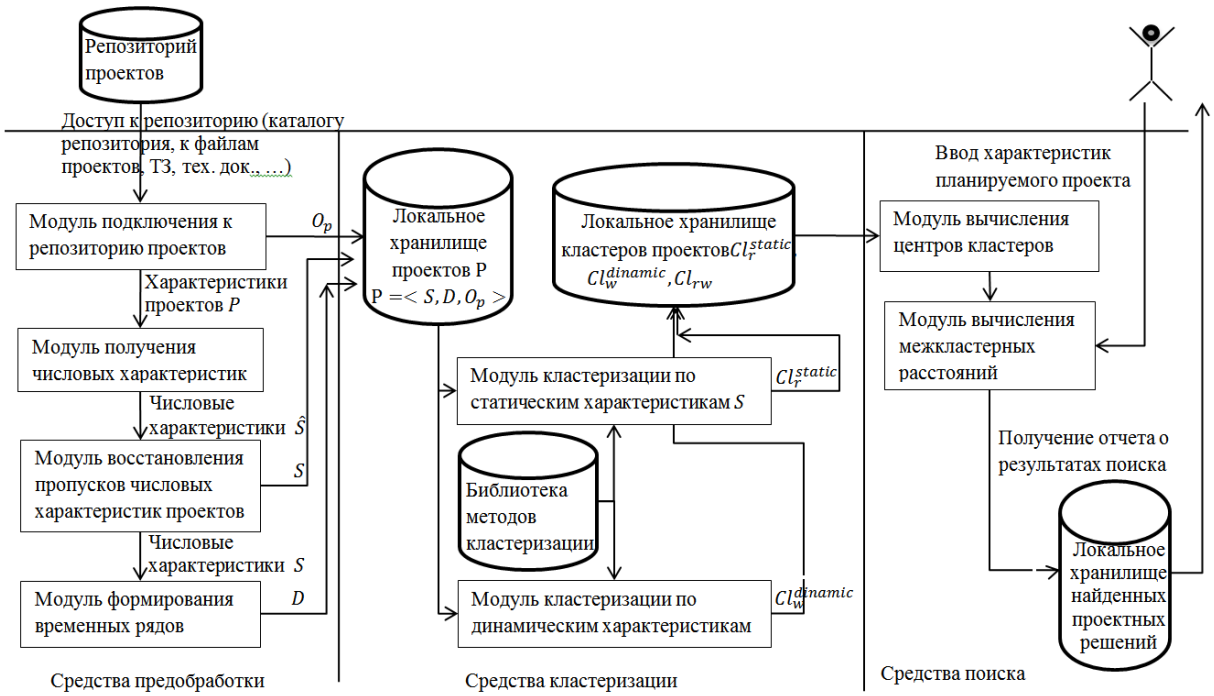


Рисунок 2–Модульная схема средства автоматизации поддержки поиска проектных решений

Программный комплекс АКПО является средством поддержки поиска проектных решений. Он реализует следующие функции: извлечение числовых характеристик проектов из репозиториев ПО; предобработка характеристик

проектов; выбор метрик; представление в виде числовых массивов ключевых характеристик; восстановление недостающих значений; формирование ВР; четкая и нечеткая кластеризация числовых характеристик, представленных в формате числовой таблицы; кластеризация динамических характеристик проектов разработки ПО в виде ВР; присвоение полученным кластерам лингвистических меток; получение числовых характеристик кластеров; оценка качества кластеризации с помощью индексов; поиск текстовых описаний проектных решений.

В четвертой главе проводится анализ эффективности, точностных и временных характеристик средств поддержки поиска проектных решений и разработанных алгоритмов на основе вычислительных экспериментов.

Эксперимент 1. Исследование точности разработанного в диссертации алгоритма восстановления пропущенных числовых характеристик проектов проводилось на множестве из 50 проектов, каждый проект характеризовался десятью статическими числовыми характеристиками. В серии экспериментов произвольным образом удалялись 10 %, 20 %, …, 80 % значений числовых характеристик проектов. Их значения восстанавливались предлагаемым Алгоритмом 1. Каждый эксперимент повторялся 6 раз, для оценки погрешности использовался RMSE:

$$RMSE = \sqrt[2]{MSE}\ ,\ MSE = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}\left|Z - \hat{Z}\right|^2 ,$$

где Z – фактическое значение рассматриваемой величины, $\hat{Z}$ – восстановленное значение, N – количество восстановленных значений. По 6 повторам эксперимента вычислялось среднее значение оценок RMSE.

На рисунке 3 приведены изменения значений RMSE при различных процентах восстанавливаемых данных в сравнении с восстановлением средними значениями по характеристике.

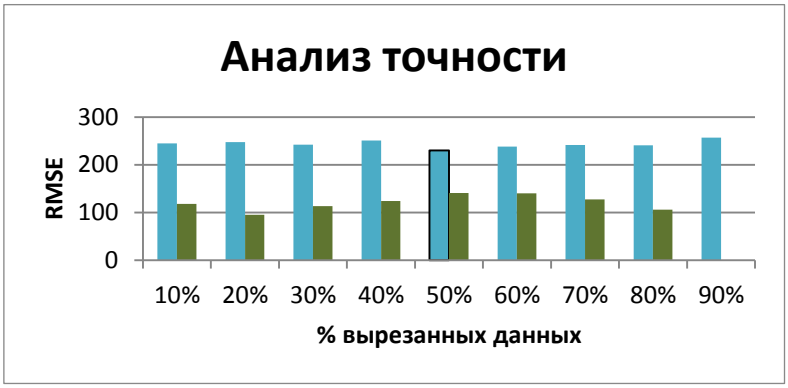
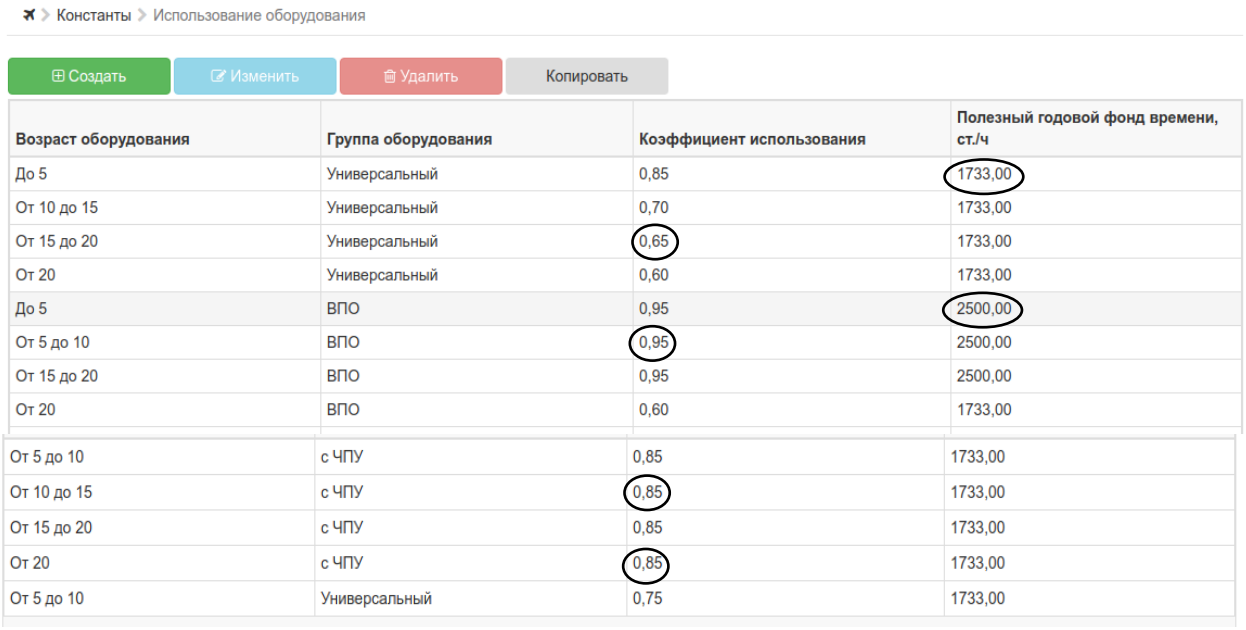


Рисунок 3 – Сравнение значений RMSE (первые столбцы – оценка погрешности при восстановлении пропусков средними арифметическим значениями, вторые столбцы – с использованием предлагаемого алгоритма восстановления пропущенных значений)

Рисунок 3 показывает, что алгоритм восстановления пропущенных значений числовых характеристик проектов даёт результат лучший, чем заполнение пропусков средним арифметическим, улучшение RMSE в среднем – в 2 раза.

Практическое применение Алгоритма 1 выполнено в задаче балансировки мощностей в рамках проекта по автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства АО «Авиастар-СП». Для эффективной работы системы балансировки мощностей необходимы числовые данные производственной программы за несколько предыдущих лет, среди которых некоторые значения могут отсутствовать. Для решения этой проблемы применен разработанный Алгоритм 1, результаты восстановления значений коэффициентов использования оборудования производственной программы представлены на рисунке 4, они выделены овалом.


Константы > Использование оборудования

Создать | Изменить | Удалить | Копировать

Возраст оборудования	Группа оборудования	Коэффициент использования	Полезный годовой фонд времени, ст./ч
До 5	Универсальный	0,85	1733,00
От 10 до 15	Универсальный	0,70	1733,00
От 15 до 20	Универсальный	0,65	1733,00
От 20	Универсальный	0,60	1733,00
До 5	ВПО	0,95	2500,00
От 5 до 10	ВПО	0,95	2500,00
От 15 до 20	ВПО	0,95	2500,00
От 20	ВПО	0,60	1733,00
От 5 до 10	с ЧПУ	0,85	1733,00
От 10 до 15	с ЧПУ	0,85	1733,00
От 15 до 20	с ЧПУ	0,85	1733,00
От 20	с ЧПУ	0,85	1733,00
От 5 до 10	Универсальный	0,75	1733,00

Рисунок 4 – Результат восстановления числовых значений коэффициентов использования оборудования в задаче балансировки мощностей

Эксперимент 2. Исследование эффективности разработанного FBC-метода кластеризации (Алгоритм 2) выполнено на основе 142 временных рядов ежедневных коммитов по проектам, выложенным в свободном доступе на ресурсе github.com в репозиториях: Libvideo (https://github.com/i3arnon/libvideo.git); ProjectUD(https://github.com/Anton7393/ProjectUD.git); MongoDB (https://github.com/mongodb/mongo.git). Визуальный анализ (см. рисунок 5) показывает однородность полученных кластеров. Это подтверждается индексами качества кластеризации, по сравнению с центроидным методом кластеризации значений ВР получен выигрыш FBC-метода по индексу качества Ball-Hall – в 2.8 раза, по индексу Calinski-Harabasz – в 1,8 раз.

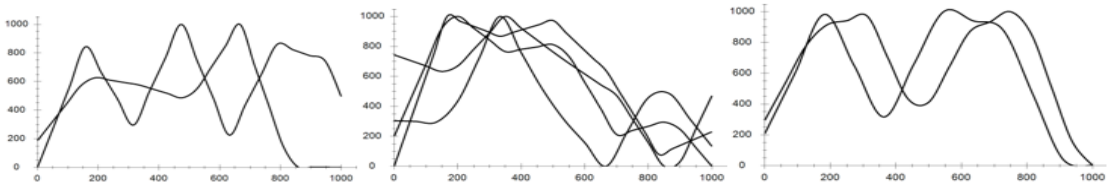


Рисунок 5 – Примеры полученных кластеров временных рядов ежедневных коммитов из репозитория ПО, полученные FBC-методом

Эксперимент 3. Метод поиска похожих проектных решений (Алгоритм 3) апробирован на проектах компании, занимающейся заказной разработкой ПО (ООО «ЦИТОП»). По числовым характеристикам 9 завершенных программных проектов, сходных по тематике с новым проектом G, по его ключевым характеристикам требовалось определить недостающие числовые характеристики, возможные изменения ключевых характеристик и проектные решения, полезные для повторного применения. Числовые статические характеристики проектов включали: длительность разработки (S1), количество новых задач (S2), иерархия (S3), количество библиотек (S4), объем исходного кода (S5), количество функций пользователя (S6), количество замечаний заказчика (S7), количество исполнителей (S8). Динамические характеристики (D) представлены временными рядами, соответствующими ежемесячному изменению числовой характеристики «количество новых задач» (S2). В качестве текстовых характеристик проектов рассматривались: профессиональный уровень исполнителей (O1) и проектные решения (O2) в виде UML-диаграмм (классов, компонентов, прецедентов, взаимодействия, состояний и действий). В результате анализа требований к новому проекту G определены 4 планируемые ключевые характеристики: длительность разработки (S1), количество библиотек (S4), количество функций пользователя (S6), количество исполнителей (S8). Сформулирована задача: по ключевым характеристикам нового проекта G найти похожие проекты из множества $P = \{P_i\}$ $(i = 1,2, \dots ,9)$, из которых определить возможные варианты значений недостающих характеристик проекта G.

На первом этапе метода поиска проектных решений выполнена кластеризация проектов методом Варда на 5 кластеров $Cl_r^{static}(r = 1, \dots ,5)$ и кластеризация FBC-методом на 3 кластера $Cl_w^{dinamic}$ $(w = 1,2,3)$. Результаты совместной кластеризации проектов представлены в таблице 3.

На втором этапе вычислены евклидовы расстояния между вектором ключевых характеристик $S^{new} = \{S_k^{new}\}$ проекта G и векторами центров кластеров $Cl_{rw}(rw = 1, \dots ,7)$.

Таблица 3. Результаты первого этапа метода поиска похожих проектов

Название проекта	Результаты кластеризации проектов методом Варда Cl_r^{static} $(r = 1,\ldots,5)$	Результаты кластеризации проектов FBC-методом $Cl_w^{dinamic}$ $(w = 1,2,3)$	Результаты совместной кластеризации $Cl_{rw}(rw = 1,\ldots,7)$
P1	Cl_1^{static}	$Cl_1^{dinamic}$	Cl_{11}
P2	Cl_2^{static}	$Cl_2^{dinamic}$	Cl_{22}
P3	Cl_1^{static}	$Cl_3^{dinamic}$	Cl_{13}
P4	Cl_3^{static}	$Cl_2^{dinamic}$	Cl_{32}
P5	Cl_4^{static}	$Cl_3^{dinamic}$	Cl_{43}
P6	Cl_1^{static}	$Cl_1^{dinamic}$	Cl_{11}
P7	Cl_2^{static}	$Cl_3^{dinamic}$	Cl_{23}
P8	Cl_5^{static}	$Cl_3^{dinamic}$	Cl_{53}
P9	Cl_5^{static}	$Cl_3^{dinamic}$	Cl_{53}

Евклидово расстояние минимально между проектом G и центром кластера Cl_{53}, по ключевым характеристикам проект G также близок к кластеру Cl_{43}, т.е. проект G наиболее близок по ключевым характеристикам к проектам P8, P9, P5. Отметим, что динамические характеристики этих проектов близки, они принадлежат кластеру $Cl_3^{dinamic}$.

Применение метода поиска похожих проектных решений позволило определить подмножество проектов, сходных между собой и с новым планируемым проектом G. Характеристики проектов P5, P8 и P9 могут быть использованы как варианты для повторного использования в новом проекте G (в таблице 4 они указаны диапазоном или перечислением значений).

Таблица 4. Характеристики нового проекта G, полученные в результате применения предложенного метода поиска похожих проектов, и характеристики похожих проектов

Проекты	**Статические числовые характеристики S**								**Динамические числовые характеристики D**	**Статические текстовые характеристики O**	
	Длительность (лет)	**Кол-во задач**	**Иерархия**	**Кол-во библиотек**	**Объем кода**	**Кол-во функций пользователя**	**Кол-во замечаний от заказчика**	**Кол-во исполнителей**	**Ежемесячное изменение количества задач**	**Уровень исполнителей**	**Описания решений, документация**
	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**	**S7**	**S8**	**D**	**O1**	**O2**
P5	0.5	83	3	1	2514	32	25	2	D5	J,S	O25
P8	3	97	2	1	1746	41	21	2	D8	J,S	O28
P9	0.5	91	3	0	1303	44	20	2	D9	J,S	O29
G	**0.7**	83-97	2-3	**0-1**	1303-2514	**36**	20-25	**2**	D5, D8, D9	J,S	O25, O28,O29

В результате применения Алгоритма 3 среди 9 проектов выявлены 3 проекта, наиболее близкие по ключевым характеристикам проекту G. Полученные статические числовые и текстовые, также динамические характеристики выбранных проектов рекомендованы для использования в разработке проекта G.

Таким образом, применение разработанного метода позволило сократить количество проектов для дальнейшего анализа с целью выбора вариантов проектных решений. При допущении, что на анализ каждого проекта проектировщик может затратить около 1 часа, рассмотрение девяти проектов займет приблизительно 2 рабочих дня, а рассмотрение 3 найденных проектов займет 3 часа, что составляет 67%, согласно введенной теоретической оценке.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате диссертационного исследования все поставленные задачи достигнуты и получены следующие результаты.

1. Предложена новая модель проектов, включающая в отличие от известных моделей, числовые статические и динамические характеристики, а также текстовые описания проектных решений. Модель позволяет адекватно и комплексно представлять данные о проекте, полезные для автоматизации поиска проектных решений по ключевым числовым характеристикам проектов на этапе архитектурного (эскизного) проектирования.
2. Разработан и исследован новый алгоритм восстановления пропущенных значений числовых характеристик проектов, отличающийся применением метода нечеткой кластеризации. Алгоритм позволяет повысить точность восстановления значений в среднем в 2 раза по сравнению с заполнением средним арифметическим.
3. Разработан метод кластеризации проектов по их динамическим характеристикам, представленным временными рядами (FBC-метод), отличающийся от известных методов применением кластеризации на трех иерархических уровнях (основных тенденций, компонент тренда и колебаний временных рядов). Предложенный метод позволяет повысить качество кластеризации проектов, согласно индексу Ball-Hall, в 2.8 раза по сравнению с поточечной кластеризацией временных рядов.
4. Предложен новый метод поддержки поиска проектных решений, отличающийся от аналогов постановкой задачи, методом формирования групп похожих проектов и разделением по времени этапов кластеризации проектов и поиска проектного решения, что обеспечило в конкретном случае снижение временных затрат на анализ с двух рабочих дней до 3 часов, что составило 67%.
5. Разработаны архитектура и программные средства поддержки поиска проектных решений, автоматизирующие деятельность проектировщика, отличающиеся реализацией методов и алгоритмов, предложенных в диссертационной работе, позволяющие снизить временные затраты на этапе архитектурного (эскизного) проектирования.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных Перечнем ВАК РФ:

1. Афанасьева Т.В., Заварзин Д.В., Сибирев И.В. Алгоритм поиска и удаления аномалий временных рядов на основе применения кластеризации // Радиотехника. – 2015. – №6 . – С. 59-62 .
2. Афанасьева Т.В., Сибирев И.В., Заварзин Д.В. Применение нечетких моделей в анализе процессов в организационно-технических системах // Автоматизация процессов управления. – 2018. –№ 1(51). – С. 83-90.
3. Афанасьева Т.В., Сибирев И.В. Исследование точности алгоритма восстановления данных на основе нечеткой кластеризации // Радиотехника. – 2018. – № 6. – С. 50-53.

индексируемые в системе Scopus:

4. Afanasieva T., Yarushkina N., Toneryan M., Zavarzin D., Sapunkov A., Sibirev I. Time series forecasting using fuzzy techniques //in Proc. Of Joint 16th World Congress of the International Fuzzy Systems Association and 9th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology IFSA-EUSFLAT 2015, Gijón, Asturias, Spain, 2015. – pp. 1068-1075.
5. Afanasieva T., Yarushkina N., Sibirev I. Time Series Clustering using Numerical and Fuzzy Representations //in Proc. Of Joint 17th World Congress of lnternational Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems IFSA-SCIS 2017, Otsu, Shiga, Japan, June 27-30,2017.

в иных изданиях:

6. Афанасьева Т.В., Сапунков А.А., Заварзин Д.В., Сибирев И.В., Морозов А.А. Сервис Прогнозирования на основе комбинирования моделей нечетких временных рядов и ARIMA // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016: труды конференции. – Смоленск: Универсум, 2016.–Т.1.–С.229-236.
7. Афанасьева Т.В., Сибирев И.В. Программа «Сегментация рынка IT» // Инновации в науке. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014.– С. 46-53.
8. Сапунков А.А., Сибирев И.В. Модификация программного обеспечения fuzzyforecast // Прикладные информационные системы: вторая Всероссийская научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – С. 90-96.
9. Сибирев В.В., Сибирев И.В. Кластеризация общеобразовательных организаций ульяновской области по использованию информационно-коммуникационных технологий // Поволжский педагогический поиск. – 2015. –№ 1 (11). – С. 64-68.
10. Сибирев И.В. Автоматизация группировки процессов разработки программного обеспечения из репозиториев с использованием нечеткой

тенденции // 52 НТК ППС «Вузовская наука в современных условиях». Ч.2. – Ульяновск: УлГТУ, 2018. – С. 112-115.
11. Сибирев И.В. Быстродействие программной реализации алгоритма «восстановление данных» // Информатика и вычислительная техника: VIII Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2016 . – Ульяновск: УлГТУ, 2016.–С.227-231.
12. Сибирев И.В. Индексы оценки результатов кластеризации // Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технология (НСМВИТ-2017): труды VII Всероссийской научной-практической конференции. – СПб.: Политехника-сервис, 2017. – Т. 1. – С. 129-138.
13. Сибирев И.В. Исследование эффективности FBC-кластеризации, как средства автоматизации анализа процессов//Молодежная научно-техническая конференция «Автоматизация процессов управления». – Ульяновск: «Марс», 2018. –С. 97-107.
14. Сибирев И.В. Предобработка данных в интеллектуальном анализе на основе восстановления пропущенных анкетных значений // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2016): труды конференции. – Смоленск: Универсум, 2016. – Т 1. – С. 378-386 .
15. Сибирев И.В. Применение FBC–кластеризации временных рядов к анализу динамики оценок персонала // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения (FTI-2017): Первая Всероссийская научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – С. 149-158.
16. Сибирев И.В. Программа генератор исходных данных для кластеризации // Нечеткие системы и мягкие вычисления. Промышленные применения: IV Всероссийская научно-практ. мультиконференция с международным участием «Прикладные информационные системы (ПИС-2017)». –Ульяновск: УлГТУ, 2017. –С.171-174.
17. Сибирев И.В., Афанасьева Т.В. Алгоритм предобработки и восстановления анкетных данных // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных Систем (OSTIS-2016): материалы VI Международная научно-практическая конференция – Минск: БГУИР, 2016. – С. 271-274.
18. Сибирев И.В., Афанасьева Т.В. Анализ эффективности алгоритма восстановления анкетных данных// Электронное обучение в непрерывном образовании 2016: III Международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2016. – С. 367-373.
19. Сибирев И.В., Афанасьева Т.В. Исследование F-TRANSFORM для извлечения основной тенденции временного ряда // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: 8-я Международная научно-

техническая конференция: сборник научных трудов. – М.: Физматлит, 2015. – С. 356-360.
20. Сибирев И.В., Афанасьева Т.В. Описание программного продукта «Кластеризация данных» // Прикладные информационные системы: вторая Всероссийская научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – С. 90-96.
21. Sibirev I., Afanasyeva T. Development and Study of a Combined Algorithm for Temporal Series Clustering // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2017): материалы Международная научно-практическая конференция – Минск: БГУИР, 2017.– С. 121-126.
22. Sibirev I.V., Afanasieva T.V. Application of The Clustering In Software Development Analysis // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference “Fuzzy Technologies in the Industry – FTI 2018”, Ulyanovsk, Russia, October 23-25, 2018. – pp. 445-454.

Свидетельства о регистрации программного продукта:

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611839. Упорядочение объектов, характеризуемых набором числовых параметров, в соответствии с предпочтениями пользователя / Сибирев И.В., Афанасьева Т.В.; правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»; – № 2016664078, заявл. 20.12.2016; зарегистр. 09.02.2017. – М.: Роспатент, 2017.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611649. Кластеризация анкетных данных / Сибирев И.В., Афанасьева Т.В.; правообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет»; – № 2016664135, заявл. 20.12.2016; зарегистр. 07.02.2017. – М.: Роспатент, 2017.

Сибирев Иван Валерьевич
Методы и средства поддержки поиска проектных решений в автоматизированном проектировании
Автореферат
Подписано в печать 19.12.2018. Формат 60x84/16.
Усл. печ. л. 1,17. Тираж 100 экз. Заказ №1126.

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