

АДАПТАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕИНЖИНИРИНГА УНАСЛЕДОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Массель Алексей Геннадьевич

к.т.н., с.н.с. отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: amassel@isem.irk.ru

Мамедов Тимур Габилевич

аспирант отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: mamedowtymur@yandex.ru

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130.

Аннотация. В статье рассматривается адаптация методики реинжиниринга унаследованных систем. Приводится обзор подходов к реинжинирингу. Несмотря на то, что термин «реинжиниринг» в первую очередь относится к изменению бизнес процессов, он удачно подходит и к модернизации программного обеспечения. Обосновывается необходимость адаптации методики. В статье описывается применение адаптированной методики на примере реинжиниринга программного комплекса для прогнозных исследований ТЭК. Приведен исторический обзор версий ПК «ИНТЭК» и описаны поэтапно все шаги проведения его реинжиниринга на основе агентно-сервисного подхода.

Ключевые слова: реинжиниринг, унаследованные системы, прогнозное исследование ТЭК, агентно-сервисный подход.

Цитирование: Массель А.Г., Мамедов Т.Г. Адаптация методики реинжиниринга унаследованных программных систем // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 88-99. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.009.

Введение. В ИСЭМ СО РАН активно занимаются прогнозными исследованиями топливно-энергетического комплекса с учетом требований энергетической безопасности. Для этих исследований в свое время был разработан ПК «ИНТЭК», который в настоящее время перешел в категорию унаследованных программ. Выполнен его реинжиниринг, результатом которого стала новая версия ПК «ИНТЭК-А».

В ходе выполнения проектирования и реинжиниринга возникла необходимость, чтобы новый программный комплекс удовлетворял следующим требованиям. Во-первых, необходимо было сделать ПК легко расширяемым, для чего была выбрана многоагентная архитектура. В результате разработан ПК «ИНТЭК-А», который в дальнейшем планируется развить до интеллектуального многоагентного программного комплекса (ИМПК) для поддержки принятия решений в прогнозных исследованиях ТЭК. В основе этого комплекса будут интеллектуальные агенты, в частности, агенты по работе с семантическими моделями, и агенты, поддерживающие методы машинного обучения.

Для разработки ПК ИНТЭК-А использована авторская методика для реинжиниринга унаследованных систем, в статье рассматривается ее разработка на основе адаптации методики, описанной в [1].

К унаследованным системам (legacy systems) относят такие системы, которые по тем или иным причинам перестают удовлетворять изменившимся потребностям применений, но, тем не менее, продолжают использоваться ввиду больших затруднений, возникающих при попытке их замены [2].

Многие программные системы были созданы с расчетом на системную среду, которая со временем изменилась, и эти программные системы устарели. Другие программные

системы претерпели такие изменения в процессе поддержки, что их дальнейшее развитие стало невозможным из-за чрезвычайно сложной и запутанной архитектуры. Третьи программные системы изначально создавались без учета тенденций развития информационных технологий и к моменту своего появления уже содержали устаревшие решения. Подобные программные системы называют «унаследованными программными системами» или просто «унаследованными системами».

В [3, 4] дано описание унаследованных систем через свойства, им присущие. Унаследованными системами могут быть:

- компьютерные системы, которые по тем или иным причинам перестали устраивать пользователей;
- совокупность аппаратного и программного обеспечения, которое успешно выполняло возложенные на него задачи до тех пор, пока не пришла пора заменить его новыми средствами;
- любая морально устаревшая система;
- все вышеперечисленное в совокупности.

Устаревшая система считается потенциально проблематичной по следующим причинам:

- устаревшая система обычно работает на устаревшем оборудовании, и техническое обслуживание технической части такого оборудования со временем будет становиться все более и более сложным;
- устаревшие системы трудно поддерживать;
- совершенствование и расширение системы, а также исправление ошибок часто невозможно из-за непонимания разработчиками внутренней структуры системы и отсутствия по многим причинам (например, уход из организации) непосредственных разработчиков этой системы; такое недоразумение может быть вызвано недостаточной документацией устаревшей системы или полной потерей документации для системы;
- интеграция устаревшей системы с новыми системами также может быть затруднена или невозможна из-за различий в используемых базовых технологиях.

Несмотря на эти проблемы, у организаций могут быть веские причины продолжать использовать унаследованные системы, например:

- система постоянно используется в работе и не может быть исключена из работы для перепроектирования, а цена создания новой системы со схожей функциональностью и надежностью очень высока;
- принципы работы системы не до конца понятны, такая ситуация может возникнуть, если разработчики системы покинули организацию, а система не была полностью документирована либо документация была с течением времени утеряна.

1. Адаптированная методика реинжиниринга.

Реинжиниринг программных систем тесно связан с реинжинирингом процессов. Основоположники реинжиниринга бизнес-процессов Майкл Хаммер и Джеймс Чампи [5] дают следующее определение:

Реинжиниринг – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения, существенных улучшений в ключевых для современного бизнеса показателей результативности.

В настоящее время это определение раскрывается следующим образом: реинжиниринг бизнес-процессов означает преобразование бизнес-процессов для снижения количества излишних видов деятельности и повышения эффективности делового процесса

или, другими словами, фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов предприятия для достижения максимального эффекта производственно-хозяйственной и финансово-экономической деятельности, оформленные соответствующими организационно-распорядительными и нормативными документами.

Обычно реинжиниринг бизнес-процессов предполагает внедрение новых программ для поддержки деловых процессов или модификацию существующих программ, при этом наследуемые системы существенно зависят делового процесса.

Реинжиниринг унаследованной системы – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование системы с целью снижения излишней функциональности, понижения стоимости ее сопровождения и вероятности возникновения значимых для заказчика рисков, уменьшения сроков работ по сопровождению системы.

Если разложить процесс реинжиниринга на составляющие, то он будет включать в себя: текущее состояние, требуемое состояние, а также, процесс перехода от первого к второму.

Существует два вида реинжиниринга бизнес-процессов – прямой и обратный реинжиниринг.

Обратный реинжиниринг – в данном процессе проводится комплексный анализ компании как единой системы управления, включая диагностику существующих бизнес-процессов. Его целью является подготовка исходных данных для создания новой конкурентной стратегии предприятия, в том числе выполняется формирование новой структуры основных бизнес-процессов предприятия.

Прямой реинжиниринг – в ходе данного процесса осуществляется проектирование новой конкурентной стратегии предприятия, основанной на инновационных процессах. При этом проектируется структура основных бизнес-процессов предприятия, разрабатываются механизмы финансирования.

Вопрос о реинжиниринге программного обеспечения (ПО) возникает, когда используемая программная система перестает удовлетворять современным требованиям пользователей. На первом этапе нужно определить современные системные требования, для этого нужно определить и формализовать цели, направление реинжиниринга и требования пользователей. На втором этапе требуется провести инвентаризацию и анализ существующей(их) систем(ы). Для этого необходимо изучить архитектуру программы и технологии, которые были использованы для разработки, ее функциональные и нефункциональные требования и особенности пользовательского интерфейса.

Если существующая версия системы не удовлетворяет современным требованиям, тогда встает вопрос выбора между прямым и обратным реинжинирингом.

В случаях, когда: в системе высокий процент морально устаревших компонентов и требуется много новых интеграций; замена компонента на новый невозможна из-за конфликта интеграции старой и новой технологии; пользовательский интерфейс абсолютно не отвечает новым требованиям и тесно переплетен с функциональным кодом, отдается предпочтение прямому реинжинирингу. В других случаях стоит попробовать выполнить обратный реинжиниринг.

В связи с вышеизложенным была предложена адаптация методики реинжиниринга, алгоритм которой приведен на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм адаптированной методики реинжиниринга.

Адаптированная методика реинжиниринга включает следующие этапы:

1. Определение цели и направления реинжиниринга и активов унаследованной системы.
2. Определение современных требований к ПК.
3. Инвентаризация и анализ унаследованного ПО.

4. Определение типа реинжиниринга.
5. Разработка нового ПК.
6. Внедрение нового ПК.

2. Пример применения адаптированной методики реинжиниринга.

В первую очередь, прежде чем приступить к первой фазе реинжиниринга, требуется исследовать предметную область и спектр задач, для которых была разработана унаследованная система.

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН ведутся комплексные исследования, важную роль в которых играют исследования направлений развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности. Общая схема исследований представлена на рисунке 2.

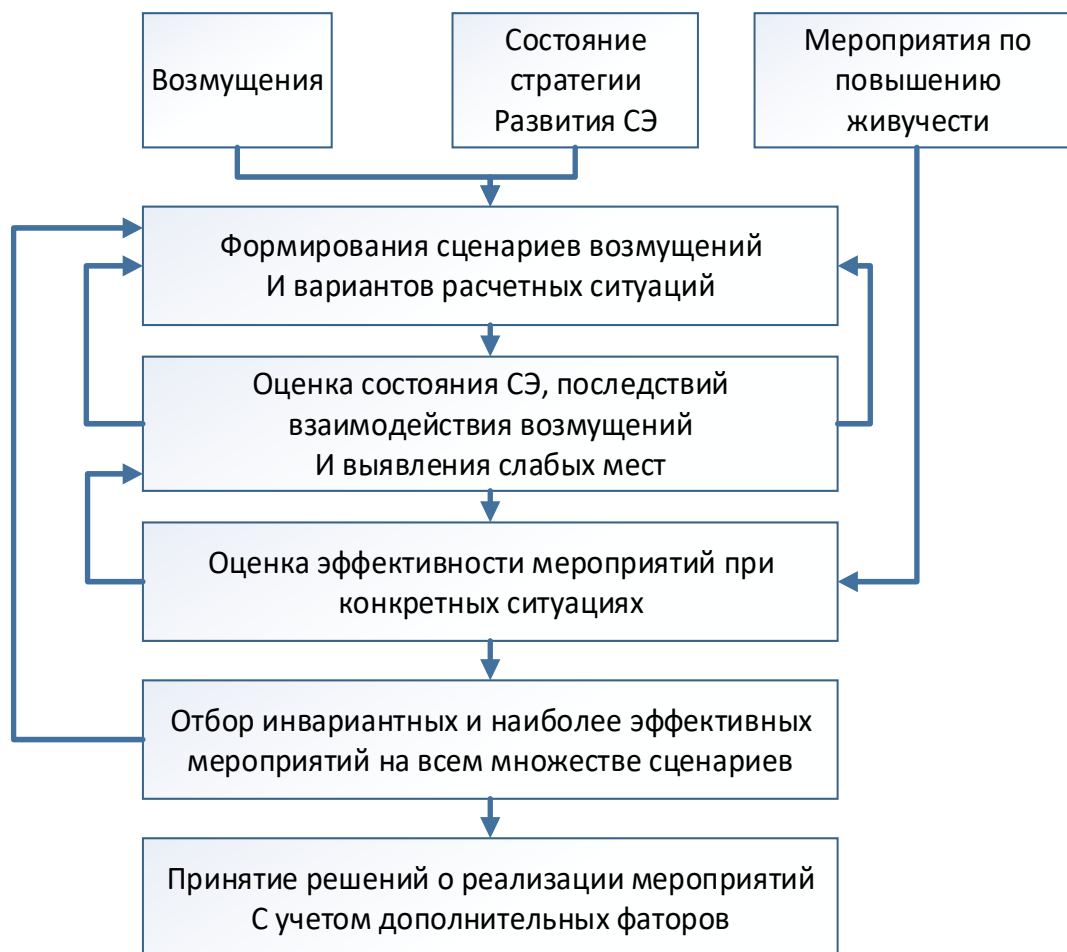


Рис. 2. Взаимосвязь основных задач в исследованиях направлений развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности.

Для этих исследований в ИСЭМ СО РАН разработана и используется модель федеральных округов ТЭК. Модель оптимизации балансов топливно-энергетических ресурсов по регионам России (с выделением субъектов РФ) в условиях возможных возмущений представляет собой в математическом смысле классическую задачу линейного программирования, в содержательном смысле базируется на традиционной территориально-производственной модели ТЭК с блоками электроэнергетики, тепло-, газо- и углеснабжения, а также нефтепереработки – мазутоснабжения. Формализовано ограничения указанной оптимизационной задачи записываются в виде системы линейных уравнений и неравенств. Целевая функция минимизирует сумму приведенных затрат и потерь от дефицита топливно-энергетических ресурсов среди потребителей.

Для описания моделей экспертами-энергетиками была принята система обозначений переменных и неравенств (уравнений). Название переменной (TRV) состоит из 7 символов (XXXYYZZ), где XXX – код объекта (или группы объектов) добычи, производства, транспорта, переработки, и потребления энергоресурсов, YY – код района, ZZ – код технологии, используемой на определенном объекте в определенном районе. Название неравенства/уравнения (IR) содержит 5 символов (QQQYY), где QQQ – код энергетического ресурса, YY – код района.

Для проведения вычислительных экспериментов с использованием экономико-математической модели ТЭК были последовательно разработаны: в 1980 году – ПВК «ЭНЕРГИЯ» для исследований направлений развития ТЭК с учетом требований живучести (Г.Н. Антонов) и ПВК «Оптимизация ТЭК» (В.Ф. Аношко, В.Н. Тыртышный) для оптимизации развития ТЭК страны. Эти ПВК стали прототипами ПК «ИНТЭК», разработанного Болдыревым Е.А. для исследований направлений развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности в 2002 г., в 2010 г. его реинжиниринг с применением агентного подхода был выполнен Фартышевым Д.А. (ПК ИНТЭК-М).

Далее опишем этапы, которые иллюстрируют применение адаптированной методики на примере ПК ИНТЭК.

1. Определение цели и направления реинжиниринга и активов унаследованной системы.

Цель. Целью реинжиниринга является разработка интеллектуального многоагентного программного комплекса для поддержки принятия решений в прогнозных исследованиях ТЭК и обоснования рекомендаций по выбору направлений развития ТЭК в условиях цифровой трансформации энергетики, интегрирующего в состав ПК агента семантического моделирования и обеспечивающего включение в будущем агента для использования искусственных нейронных сетей (ИНС) [6].

Направление реинжиниринга заключается в расширении функций ПК и повышении качества исследований направлений развития ТЭК с позиции ЭБ.

Активы унаследованной системы. Защищены две кандидатские диссертации, связанные с реинжинирингом ПК ИНТЭК (2002 и 2010 гг.), опубликованы статьи по реинжинирингу ПК ИНТЭК, и имеются две версии унаследованных ПК (2002 и 2010 гг.)

2. Определение современных требований к ПК.

Были определены следующие функциональные требования к ПК «ИНТЭК-А» (рис. 3):

- формирование информационной модели;
- формирование паттерна информационной модели;
- формирование сценария исследования;
- формирование технологических словарей;
- формирование балансовых таблиц ТЭР;
- формирование поддержки когнитивного моделирования;
- решение задачи поиска оптимального решения.

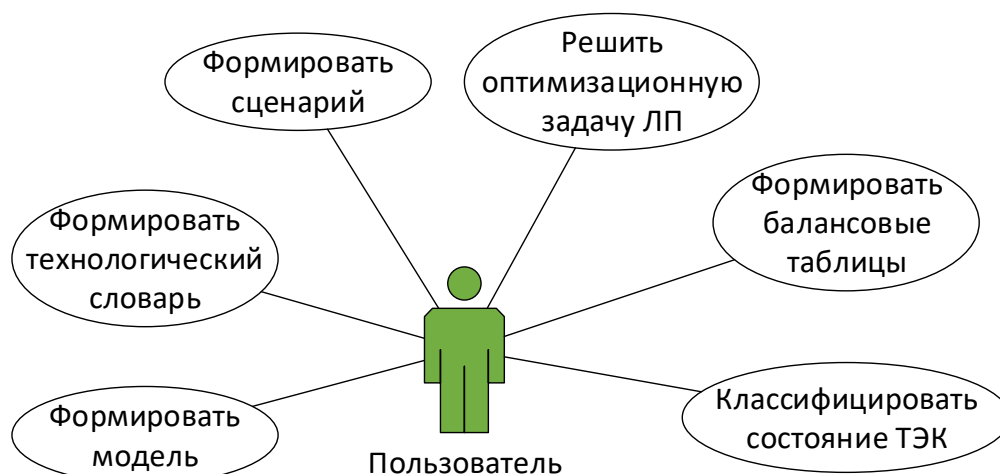


Рис. 3. Функциональные требования к ПК «ИНТЭК-А».

Также были определены следующие нефункциональные требования:

- оптимизация модели за время не более чем 5 секунд;
- сравнение балансовых таблиц разных вариантов решения;
- корректировка сценария исследования и информационных моделей с помощью когнитивных карт;
- возможности интеграции семантического моделирования, искусственных нейронных сетей и инструментов обработки и хранения больших данных [7];
- отделение интерфейса пользователя от логики предметной области и вычислительного ядра;
- возможность сохранения и загрузки информационных моделей, сценариев, словарей;
- обеспечение контроля вводимой информации.

3. Инвентаризация и анализ унаследованной системы.

ИНТЭК-М разработан с применением агентно-сервисного подхода и обладает следующими функциональными возможностями: формирование информационных моделей ТЭК; формирование сценария исследования; оптимизация при помощи экономико-математических моделей; представление результатов расчетов в виде балансовых таблиц. Для разработки использовались следующие инструментальные средства: СУБД Firebird, ЯП JAVA, архитектура – многоагентная, XML – формат обмена файлов между агентами.

Используемые модели для исследования развития ТЭК страны и регионов, а именно: модель ТЭК России, модели отраслевых систем энергетики, модели ТЭК регионов, модель развития ТЭК с учетом требований ЭБ – в математическом смысле используются в задаче линейного программирования с системой неравенств и коэффициентов переменных. Требуется добавить возможность формирования паттернов моделей, используемых в исследованиях, в новый программный комплекс.

Кроме того, у ПК ИНТЭК-М неконфигурируемый интерфейс. Он пока не имеет возможности взаимодействовать с моделями, где паттерны отличаются от TRV, т.к. ПК ИНТЭК-М разработан с функциональным ядром, неотчуждаемым от пользовательского интерфейса. Из-за обязательной интеграции новых агентов, разработанных на основе современных технологий, каждый не замененный, не соответствующий современным требованиям компонент, потенциально ограничивает список альтернатив развития программного комплекса.

Запланирована интеграция средств семантического моделирования и методов машинного обучения, которые будут реализованы в виде агент-сервисов, а именно: средств

когнитивного, онтологического, событийного и вероятностного моделирования, классификатор состояния ТЭК, классификатор требуемых мер для предотвращения возникновения энергодефицита в ТЭК с использованием машинного обучения. Учитывая объем реинжиниринга и возможные ограничения, которые будут им наложены, авторы сделали выбор в сторону прямого реинжиниринга, опираясь на опыт, полученный в результате изучения артефактов и использования существующей версии ПК.

Для разработки новой версии ПК определен список технологий, используемых для реализации ПК, в который входят: языки программирования C# и Python; СУБД PostgreSQL; формат обмена данных между агентами JSON. Для формирования общей архитектуры программного комплекса использован агентно-сервисный подход [8]. Архитектура каждого агента разработана в соответствии с шаблоном проектирования MVVM. На рис. 4 представлена архитектура ПК «ИНТЭК-А».

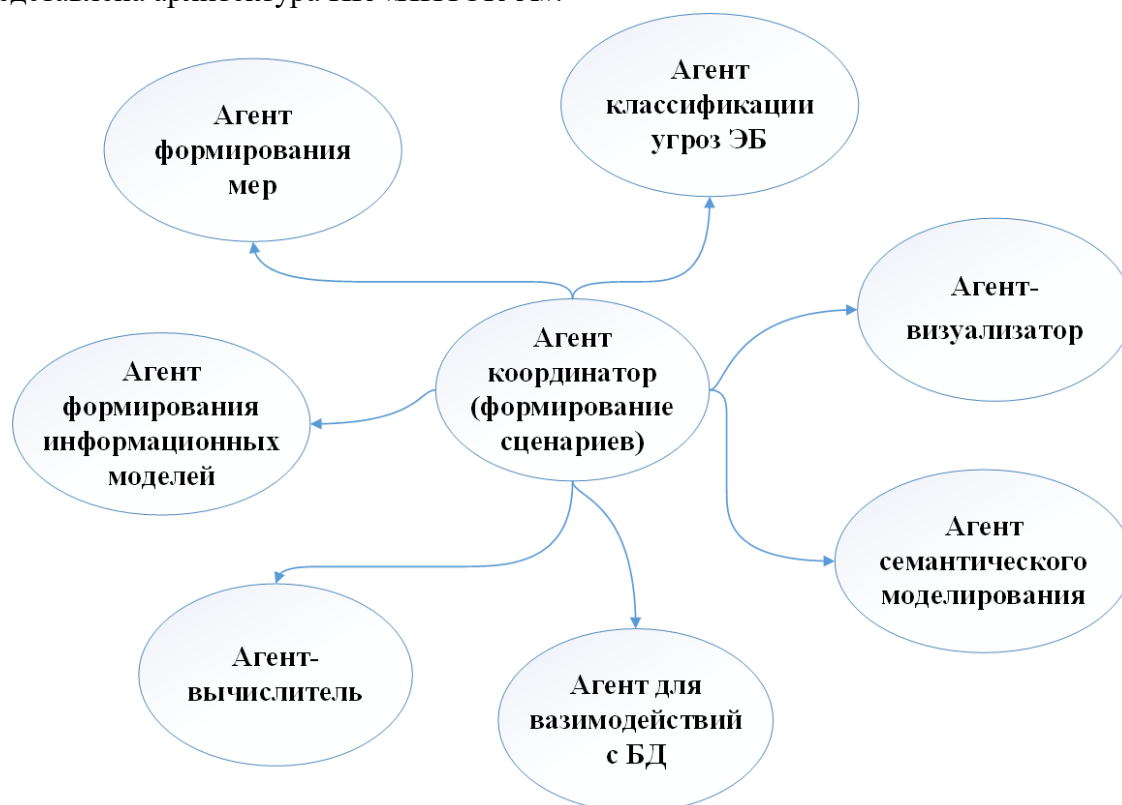


Рис. 4. Многоагентная архитектура ПК «ИНТЭК-А».

Главный агент в ПК «ИНТЭК-А» – это **агент формирования сценариев**. Этот агент выступает в роли агента-координатора. Его задача – задавать различные ситуации и формировать отдельные сценарии путем создания и наполнения технологических словарей, вызывать других агентов, обеспечивать контроль действий пользователя. Словари используются для отображения моделей на естественном языке.

Агент формирования информационных моделей и внесения корректировок способен сформировать информационную модель без применения сценариев посредством использования графического пользовательского интерфейса.

Агент формирования мер предназначен для определения набора оперативных, превентивных и ликвидационных мер (мероприятий), на основе выявленных потенциальных и реализованных угроз. Агент основан на использовании нейро-нечеткой системы.

Агент классификации угроз ЭБ предназначен для определения наборов потенциальных и реализованных угроз, где каждой угрозе соответствует значение в

диапазоне от 0 до 1 включительно. Агент также основан на использовании нейро-нечеткой системы [9-12], где на вход поступает описание состояния ТЭК.

Агент–вычислитель. Назначение агента – поиск оптимального решения задачи линейного программирования (ЛП). Ядро агента – библиотека для решения общей задачи ЛП.

Агент взаимодействия с БД дает возможность обрабатывать сложные запросы и поддерживать базы данных большой размерности, основан на применении многофункциональной СУБД PostgreSQL.

Агент семантического моделирования интегрирует экономико-математические и семантические модели. Агент позволит формировать и отображать экономико-математические модели ТЭК с использованием онтологий и когнитивных карт [13], формировать КС и ЧС при помощи событийного моделирования, использовать байесовские сети для оценки рисков.

Агент визуализации вычислений отвечает за визуализацию расчетов. Основной задачей этого агента является построение различных табличных отчетов и графиков, содержащих интересующие исследователя показатели результатов вычислительного эксперимента, такие, как: балансы топливно-энергетических ресурсов по каждому району, группе районов и стране целом; межрайонные потоки различных видов топлива; оценки эффективности энергетических ресурсов и технологических способов.

В настоящее время активно реализуется этап внедрения ПК «ИНТЭК-А» в эксплуатацию. Результаты этого этапа и примеры интерфейсов рассмотрены в статье [14].

Заключение. В статье приводится адаптация методики реинжиниринга унаследованных систем. Адаптация методики понадобилась в связи с изменениями требований к программному обеспечению, и, в первую очередь, в связи с необходимостью расширения функциональных требований к программному продукту. На примере использования адаптированной методики реинжиниринга в статье рассмотрен реинжиниринг программного комплекса прогнозных исследований «ИНТЭК-А». Процесс реинжиниринга базируется на версиях, которые разрабатывались в 2000-2010 гг..

Архитектура ПК «ИНТЭК-А» реализована с использованием агентно-сервисного подхода, что, в свою очередь позволит подключать агенты, реализующие другие функции без особых затруднений с точки зрения разработчика. Так, в ближайшее время, планируется расширить ПК «ИНТЭК-А» агентами, реализующими семантическое моделирование и методы машинного обучения.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWEU2021-0001 № АААА-А21-12101209007-7 программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг.), при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 19-07-00351, 20-07-00994.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Массель Л.В, Подкаменный Д.В. Системный анализ и реинжиниринг унаследованного программного обеспечения // Наука и образование (электронное научно-техническое издание МГТУ им. Баумана, эл. № ФС 77 – 30569. Гос. рег. № 0421000025). №4. 2011. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru> (дата обращения: 02.12.2021).
2. Брюхов Д.О., Задорожный В.И., Калиниченко Л.А., Курошев М.Ю., Шумилов С.С. Интероперабельные информационные системы: архитектуры и технологии // СУБД 1995. № 4.

3. Bisbal J., Lawless D., Wu B., Grimson J. Legacy Information System Migration: A Brief Review of Problems, Solutions and Research Issues. // IEEE Software. 16. 1999. Pp.103-111.
4. Макквори Э. Что такое унаследованные системы? // Computerworld. 1998. № 14.
5. Хаммер М., Чамп Д. Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе. М.:Манн, Иванов и Фербер. 2007. 288 с.
6. Массель Л.В., Массель А.Г. Цифровая трансформация энергетики: методы и интеллектуальные технологии научного обоснования стратегических решений // Тр. VII Всерос. конф. с междунар. уч. «Информационные технологии и системы». Ханты-Мансийск: ЮНИИТ. 2019. Научн. эл. изд. С.101-106. Режим доступа: <https://itis.uriit.ru/#projects> (дата обращения: 02.12.2021).
7. Копайгородский А.Н., Мамедов Т.Г. Архитектура интеллектуальной информационной системы для поддержки экспертных решений по стратегическому инновационному развитию энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 4(20). С. 168-176. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.015.
8. Massel A., Galperov V., Kuzmin V. Agent-service Approach for Development of Intelligent Decision-making Support Systems // Proceedings VIth International Workshop “Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security” (IWCI 2019). Part of series Advances in Intelligent Systems Research. Pp. 211-215. DOI: 10.2991/iwci-19.2019.37.
9. Horikawa S.I., Furuhashi T., Uchikawa Y. A new type of fuzzy neural network based on a truth space approach for automatic acquisition of fuzzy rules with linguistic hedges // Int. J. of Approx. Reasoning. 1995. Vol.13. Pp. 249-268.
10. Jang J.-S.R., Sun C.T., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice-Hall International. 1997.
11. Kosko B. Fuzzy Engineering. New Jersey: Prentice-Hall. 1997.
12. Wang Li-Xin. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River, NJ. 1997.
13. Массель А.Г., Аршинский В.Л. Применение когнитивного моделирования для ситуационного анализа проблемы энергетической безопасности // Современные технологии. Системный анализ. Иркутск: ИрГУПС. 2008. Спецвыпуск. С. 75-80.
14. Массель А.Г., Мамедов Т.Г., Пяткова Н.И. Технология вычислительного эксперимента в исследованиях работы энергетических отраслей при реализации угроз энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 3 (23). С. 62-73. DOI: 10.38028/ESI.2021.23.3.006.

REENGINEERING TECHNIQUE ADAPTATION OF LEGACY SOFTWARE SYSTEMS

Aleksei G. Massel

Ph.D., senior researcher of Department “Artificial Intelligence Systems in Energy”

e-mail: amassel@isem.irk.ru

Timur H. Mamedov

Postgraduate student of the department “Artificial Intelligence Systems in Energy”

e-mail: mamedowtymur@yandex.ru

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS,

664033 Irkutsk, Lermontov str., 130.

Abstract. The article presents an adaptation of the legacy systems reengineering technique. An overview of approaches to reengineering is given. Although the term “reengineering” primarily refers to changing business processes, it is well suited to software development. The necessity of adapting the method has been substantiated. The article describes the application of the described methodology on the example of software complex reengineering for predictive research of the fuel and energy complex. A historical overview of the current problem is given and all stages of INTEC PC reengineering are described step by step.

Keywords: reengineering, legacy systems, predictive studies of the fuel and energy complex, agent-service approach

Acknowledgments: The research is carried out within the framework of the project under the state order of the MESI SB RAS, topic № FNEU-2021-007, project № AAAA-17-117030310444, with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 19-07-00351, 20-07-00994.

REFERENCES

1. Massel L.V. Podkamenny D.V. Sistemnyj analiz i reinzhiniring unasledovannogo programmnoho obespecheniya [Systems analysis and reengineering of legacy software]. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and education: scientific edition of MSTU im. N.E. Bauman. 2011. No. 4. (in Russian).
2. Bryukhov D.O., Zadorozhny V.I., Kalinichenko L.A., Kuroshv M.Yu., Shumilov S.S. Interoperabel'nye informacionnye sistemy: arhitektury i tekhnologii [Interoperable information systems: architecture and technology]. DBMS. 1995. No. 4. (in Russian).
3. Bisbal J., Lawless D., Wu B., Grimson J. Legacy Information System Migration: A Brief Review of Problems, Solutions and Research Issues. // IEEE Software. 16. 1999. Pp. 103-111.
4. McCrory A., CHto takoe unasledovannye sistemy? [What are legacy systems?]. Computerworld = Computerworld. 1998. No. 14. (in Russian).
5. Hammer M., Champ D. Reinzhiniring korporacii. Manifest revolyucii v biznese [Corporation reengineering. Manifesto for a revolution in business]. M.:Mann, Ivanov i Ferber = M.: Mann, Ivanov and Ferber. 2007. 288p.
6. Massel L. V., Massel A. G. Cifrovaya transformaciya energetiki: metody i intellektual'nye tekhnologii nauchnogo obosnovaniya strategicheskikh reshenij [Digital transformation of energy: methods and intelligent technologies for scientific substantiation of strategic decisions]. // Tr. VII Vseros. konf. s mezhdunar. uch. «Informacionnye tekhnologii i sistemy» = Tr. VII All-Russia. conf. with int. uch. “Information technologies and systems”.

- Khanty-Mansiysk: UNIIT. 2019. Scientific. el. ed. Pp.101-106. Available at: <https://itis.uriit.ru/#projects> (accessed 02.12.2021) (in Russian).
7. Копайгородский А.Н., Мамедов Т.Г. Архитектура интеллектуальной информационной системы для поддержки экспертных решений по стратегическому инновационному развитию энергетики [The architecture of an intelligent information system to support expert decisions on the strategic innovative development of energy] // Информационные и математические технологии в науке и управлении = Information and mathematical technologies in science and management. 2020. No. 4(20). Pp. 168-176. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.015. (in Russian)
 8. Massel A., Galperov V., Kuzmin V. Agent-service Approach for Development of Intelligent Decision-making Support Systems // Proceedings Vth International Workshop “Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security” (IWCI-2019). Part of series Advances in Intelligent Systems Research. Pp. 211-215. DOI: 10.2991/iwci-19.2019.37 (in Russian).
 9. Horikawa S.I., Furuhashi T., Uchikawa Y. A new type of fuzzy neural network based on a truth space approach for automatic acquisition of fuzzy rules with linguistic hedges // Int. J. of Approx. Reasoning. 1995. Vol.13. Pp. 249-268.
 10. Jang J.-S.R., Sun C.T., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice-Hall International, 1997.
 11. Kosko B. Fuzzy Engineering. New Jersey: Prentice-Hall. 1997.
 12. Wang Li-Xin. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River, NJ. 1997.
 13. Massel A.G., Arshinsky V.L. Primenenie kognitivnogo modelirovaniya dlja situacionnogo analiza problemy jenergeticheskoj bezopasnosti [Application of cognitive modeling for situational analysis of the problem of energy security] // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz = Modern technologies. System analysis. Irkutsk: IrGUPS. 2008. Special issue. Pp. 75-80. (in Russian).
 14. Massel A.G., Mamedov T.G., Pyatkova N.I. Tehnologija vychislitel'nogo eksperimenta v issledovanijah raboty jenergeticheskix otraslej pri realizacii ugroz jenergeticheskoj bezopasnosti [Computational experiment technology in researching the work of energy industries in the implementation of threats to energy security] // Information and mathematical technologies in science and management = Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. No. 3 (23). Pp. 62-73. DOI: 10.38028/ESI.2021.23.3.006.

Статья поступила в редакцию 12.12.2021; одобрена после рецензирования 18.12.2021; принята к публикации 24.12.2021.

The article was submitted 12.12.2021; approved after reviewing 18.12.2021; accepted for publication 24.12.2021.