

АЙРАПЕТОВ ДАВИД АЛЬБЕРТОВИЧ

**АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

Специальность: **05.13.01**

Системный анализ, управление и обработка информации
(промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Системы управления и вычислительная техника» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) «Калининградский государственный технический университет» (КГТУ)

- Научный руководитель: **Арунянц Геннадий Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы управления и вычислительная техника», КГТУ, г. Калининград
- Официальные оппоненты: **Аракелян Сергей Мартиросович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика и прикладная математика» ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), г. Владимир
- Карлов Анатолий Михайлович**, доктор технических наук, профессор, проректор по учебной и научной работе Негосударственного образовательного учреждения ВПО «Балтийский институт экономики и финансов», г. Калининград
- Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение ВПО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», г. Калининград

Защита диссертации состоится 4 декабря 2013 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д212.025.01 при ВлГУ по адресу: г. Владимир, ул. Горького, 87, корпус 1, ауд. 335-1

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ.

Автореферат диссертации разослан 1 ноября 2013 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, направлять по адресу совета университета: 600000, г. Владимир, ул. Горького 87, ВлГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д212.025.01.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.т.н., доцент

Давыдов Н.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Основной проблемой проектирования современных систем управления (СУ) сложными технологическими объектами (ТО) является создание методов, рассчитанных на использование ЭВМ и принципов системного анализа. Системный подход позволяет выделять основные подсистемы исследуемого объекта, формализовать задачи, цели и функции этих подсистем и механизмы связей между ними, разрабатывать альтернативные структуры СУ и намечать последовательность действий по выбору оптимальных вариантов по реализации проектных решений и оценке результатов их использования. Все это определяет необходимость использования новых принципов проектирования и внедрение нового инструментария – системы автоматизированного проектирования (САПР), обеспечивающей эффективную одновременную работу большого количества пользователей, а управление процессом проектирования является задачей, решение которой осуществляется постоянно при условии непрерывной работы коллектива разработчиков СУ конкретными ТО. Процесс в этом случае характеризуется динамическими изменениями, происходящими под воздействием внутренней и внешней среды в различные отрезки времени.

Проектирование с использованием средств автоматизации предполагает наличие управляющего комплекса (УК), отвечающего за соблюдение установленного порядка ведения технологического процесса проектирования. В зависимости от конкретной многопользовательской системы проектирования УК может выполнять различные функции, но при этом является неотъемлемой частью системы.

Своевременность и актуальность решаемых в настоящей работе проблем заключается в том, что в ней поставлена и решена задача системного исследования и выбора метода, разработки алгоритмов и программного комплекса автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО, обеспечивающего параллельный инжиниринг, контроль версий рабочих данных и хода проектирования, реализацию одновременной разработки нескольких независимых проектов и многое другое.

Вопросам проектирования СУ сложными ТО посвящены работы авторов: Арунянца Г.Г., Ланцова В.Н., Норенкова И.П., Рутковского А.Л., Свечинского В.Б., Смилянского Г.Л., Солодовникова В.В., Шестихина О.Ф., Govind R., Morari M., Powers G.I., Stephanopoulos G., Wilson I.D. и др. Вопросам создания систем обработки информации посвящены работы авторов: Аракелян С.М., Зайцев И.Д., Костров А.В., Кравченко Т.К., Краснощеков П.С., Окунев Ю.Б., Садыков С.С., Телков Ю.К. и др.

Объектом исследования являются процессы и методология проектирования систем управления сложными технологическими объектами.

Предметом исследования являются методы и механизмы решения проблемы автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО, ориентированного на условия коллективной работы специалистов-проектировщиков и обеспечения одновременной разработки нескольких независимых проектов.

Цели и задачи. Целью настоящей работы является разработка алгоритмов и программного комплекса, повышающих эффективность автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО в условиях одновременной разработки нескольких независимых проектов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Системный анализ основных принципов, особенностей проектирования СУ сложными ТО и основных проблем его автоматизации; исследование и постановка задачи разработки системы автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО.

2. Исследование методологической основы управления процессом оптимального проектирования СУ сложными ТО с использованием эволюционной стратегии синтеза и формирование принципов эффективного взаимодействия средств САПР СУ сложными ТО в условиях ее развития.

3. Исследование и выбор метода, разработка специального алгоритмического обеспечения автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО.

4. Анализ особенностей и реальных возможностей применения ВРМ-систем для управления процессом проектирования СУ ТО. Анализ и выбор методов и средств разработки специального программного обеспечения для автоматизированной системы управления процессом проектирования СУ ТО.

5. Разработка структуры средств, информационного и специального программного обеспечения комплекса **УК-01** автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО.

6. Выбор метода и анализ эффективности функционирования разработанного программного комплекса **УК-01** автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО.

Научная новизна работы:

1. По результатам проведенных системных исследований выполнена декомпозиция процесса проектирования СУ сложными ТО на взаимосвязанные по конечным результатам укрупненные этапы (задачи), соответствующие профессиональным группам проектировщиков, позволившая упростить постановку и решение задачи управления процессом проектирования.

2. Разработаны и реализованы машинные алгоритмы автоматизированного управления (планирования, контроля, учета и принятия решений) процессом проектирования СУ сложными ТО в условиях одновременной разработки нескольких независимых проектов в соответствии с выбранным методом ситуационного управления.

3. По результатам анализа реальных возможностей применения ВРМ-систем для управления процессом проектирования СУ ТО и выбора методологии программирования разработана структура средств, информационное и специальное программное обеспечение комплекса **УК-01** автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО и алгоритмы его функционирования.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Предложенный подход к организации процесса проектирования СУ сложными ТО с использованием результатов его декомпозиции на взаимосвязанные по конечным результатам укрупненные этапы (задачи), соответствующие профессиональным группам проектировщиков, упрощает постановку и решение задачи управления.

2. Разработанные алгоритмы принятия решений повышают степень автоматизации процесса управления проектированием СУ ТО и легко реализуются в рамках разработанного программного комплекса **УК-01**.

3. Разработанный и реализованный программный комплекс **УК-01**, ориентированный на использование в рамках специализированных проектных организаций, обеспечивает повышение эффективности процесса проектирования СУ сложными ТО в условиях одновременной разработки нескольких независимых проектов.

4. Разработанный программный комплекс **УК-01** принят к использованию в ООО «МЦЭ-Инжиниринг» (г. Москва), ООО «КИТ» (г. Калининград), НПК

«Югцветметавтоматика» (г. Владикавказ). Экономический эффект от внедрения разработки для 1 организации в среднем составляет **1 680,0** т. руб. в год.

5. Отдельные теоретические положения, а также алгоритмы и машинные программы, представленные в диссертационной работе, используются в учебном процессе в ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет (КГТУ)» при подготовке специалистов в области проектирования СУ ТО.

Методология и методы исследования. Проводимые исследования базировались на положениях технической кибернетики, методах синтеза и анализа СУ технологическими объектами, методах и приемах исследования сложных технологических объектов: системный анализ, математическое моделирование; совокупность методов и приемов анализа и обработки информации: монографический, сравнительный, динамический, группировок, расчетно-конструктивный, индексный.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты проведенного системный анализ основных принципов, особенностей проектирования СУ сложными ТО и основных проблем его автоматизации; поставленная задача разработки системы автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО и предложенные принципы эффективного взаимодействия средств проектирования СУ ТО в условиях ее эволюционного развития.

2. Подход к организации процесса проектирования СУ сложными ТО с использованием результатов его декомпозиции на взаимосвязанные по конечным результатам укрупненные этапы (задачи), соответствующие профессиональным группам проектировщиков, упрощающий постановку и решение задачи управления.

3. Разработанные алгоритмы принятия решений, реализующие задачи ситуационного управления процессом проектирования СУ сложными ТО, повышающие степень его автоматизации.

4. Разработанный и реализованный программный комплекс **УК-01**, ориентированный на использование в рамках специализированных проектных организаций, обеспечивающий повышение эффективности процесса проектирования СУ сложными ТО в условиях одновременной разработки нескольких независимых проектов.

5. Результаты практического применения разработанного программного комплекса **УК-01** при решении различных задач проектирования СУ ТО.

Степень достоверности и апробация результатов. Основные полученные результаты представлены в виде алгоритмов, функциональных, структурных и вычислительных схем, программных кодов. Научные положения, выводы и рекомендации подтверждается результатами экспериментальных исследований; результатами вычислительных экспериментов; соответствием теоретических и экспериментальных исследований; работоспособностью предложенных методов, алгоритмов и разработанного программного комплекса **УК-01**.

Основные результаты проведенных в диссертации исследований были представлены и обсуждены на: VIII Юбилейной Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2010» (КГТУ). – Калининград, октябрь, 2010; Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2011» (КГТУ).– Калининград, октябрь, 2011; Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2012» (КГТУ).– Калининград, октябрь, 2012; Международная заочная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы развития науки и образования».– Москва, апрель, 2013; Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2013»

(КГТУ).– Калининград, сентябрь, 2013; научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов КГТУ в 2010-2013 гг.

Основные научные положения, теоретические выводы и рекомендации, содержащиеся в главах 2...4 диссертационной работы, получены автором самостоятельно. Результаты исследований, приведенные в главе 1, получены автором в соавторстве.

По теме диссертационных исследований опубликовано 12 печатных работ, в том числе 5 научных статей в изданиях, рекомендованных ВАК.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и литературы из 193 наименований. Общий объем диссертации 216 страниц, в том числе 150 страниц основного текста, 54 рисунков, 17 таблиц и 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы научная новизна, цели и задачи исследования, приведены результаты, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ основных аспектов проектирования систем управления сложными технологическими объектами» проведен системный анализ основных аспектов и задач проектирования СУ сложными ТО.

В результате проведенных исследований показано, что цели и критерии проектирования определяют и направляют весь процесс проектирования в условиях накладываемых ограничений на сроки проектирования, стоимость проекта, возможности его физической реализации, материальные и технические ресурсы проектной организации, квалификацию проектировщиков. В главе анализируется место и роль системной методологии с методами анализа и синтеза, ориентированными главным образом на применение современных ЭВМ. Анализируется роль и основные проблемы математического моделирования в проектировании СУ сложными ТО.

Динамическая задача проектирования СУ ТО формулировалась следующим образом. Заданы уравнения управляемого процесса или объекта, например, вида (1):

$$\frac{dx}{dt} = \varphi[x(t), u(t), f(t), t], \quad y(t) = C(t)x(t) + D(t)u(t), \quad (1)$$

где φ – вектор – функция; $x(t)$ – вектор состояния; $u(t)$ – вектор управления; $f(t)$ – вектор возмущений (контролируемых или неконтролируемых); $y(t)$ – вектор выхода; $C(t)$, $D(t)$ – заданные функциональные матрицы соответствующих размерностей.

Заданы глобальный критерий, определяющий цель управления (2):

$$F = F[x(t), u(t), f(t), t], \quad (2)$$

критерии качества управления (3): $J = J[x(t), u(t), f(t), t]$ (3)

и критерии, определяющие основные технические характеристики системы (4):

$$N_j = N_j[x(t), u(t), f(t), t], \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Требуется найти структуру и параметры управляющей системы, вырабатывающей вектор управления $u(t)$ (например, в виде зависимости $u(t) = u[x(t), t]$), таким образом, чтобы функционал F имел экстремальное значение, совместимое с ограничениями, например, в виде неравенств (5):

$$J \leq J_a; \quad N_j \leq N_{ja}; \quad J_a; \quad N_{ja} - \text{фиксированные величины.} \quad (5)$$

Существенные особенности СУ сложными ТО как объектов САПР, влекущие за собой важные следствия – малый объем исходной информации и большая «цена» проектных решений, присущие ранним стадиям проектирования, становятся

предметом особого внимания при развитии методологии автоматизированного проектирования СУ.

Управление самим ходом процесса разработки проектов в рамках САПР является задачей, решение которой должно осуществляться постоянно при условии непрерывной работы коллектива проектировщиков СУ ТО.

В составе современных систем проектирования (особенно в рамках САПР) предполагается наличие управляющего комплекса (УК), отвечающего за соблюдение установленного порядка ведения технологического процесса проектирования. На основе результатов проведенных системных исследований была подтверждена целесообразность и возможность дальнейшей интенсификации работ по его автоматизации. Приведены основные выводы и поставлена задача исследования.

Во второй главе «Разработка методологии управления процессом проектирования СУ сложными ТО» приведены результаты исследования и разработки методов и алгоритмического обеспечения управления процессом проектирования СУ ТО. Показано, что одним из условий автоматизации является представление СУ в виде сложной системы. Центральным моментом при проектировании СУ сложными ТО является системная методология, позволяющая исследовать систему и её поведение в целом, как единого объекта, выполняющего определенную функцию в конкретных условиях. С позиций системного подхода процесс проектирования СУ ТО, как процесс принятия решения представлялся в форме трех связанных этапов: *«внешнее проектирование»*, *«формирование облика»* системы и *«внутреннее проектирование»*. В главе рассматриваются основные проблемы и особенности реализации указанных этапов проектирования СУ сложными ТО в предположении 2-х уровневой их организации.

По результатам проведенных исследований особенностей проектирования СУ ТО сделано заключение о необходимости направления усилий на решение трех основных задач: 1) создание и объединение ресурсов проектирования (модули и подсистемы для анализа и синтеза задач проектирования); 2) разработка информационной базы системы; 3) разработка средств взаимодействия проектировщика с системой. Анализируются аспекты взаимодействия человека с ЭВМ в процессе проектирования СУ ТО.

Проведенный анализ методологии проектирования СУ позволили выявить структуру средств САПР СУ сложными ТО. Среди ее компонентов особое место занимает программное обеспечение (ПО), поскольку в нем находят отражение все идеи и методы проектирования СУ. Основным блоком системы является управляющая программа, обеспечивающая последовательность выполнения этапов обработки и координации информационного обмена между компонентами системы.

Принцип системной организации программ проектирования определяет необходимость использования единого информационного хранилища системы, что является непременным условием организации сквозного процесса проектирования в системе. Этим единым хранилищем является банк данных (БНД) проектирования, представляющий собой совокупность баз данных (ЛБД) под управлением СУБД и служебных программ для их обслуживания.

Необходимость применения диалогового режима при работе прикладных программ определяется особенностями их использования в рамках САПР СУ ТО (возможны прерывания, вызванные особенностями реализуемых ими алгоритмов, и др.). Предложена многоуровневая архитектура, обеспечивающая высокую эффективность взаимодействия человека с системой. Показано, что обеспечение требований переносимости и расширяемости САПР СУ ТО в условиях эволюционного развития во многом связано с решением вопроса создания единых

правил взаимодействия всех прикладных программ с БД проектирования, программная реализация которых предусматривает создание единого объектного интерфейса (драйвера) ввода-вывода. Рассмотрены особенности реализации такого подхода. Принятая концепция позволяет не только повысить эффективность системы проектирования СУ ТО в целом, но и создать необходимые условия для ее развития.

На основе результатов проведенных исследований по выбору концепции распределения и использования ресурсов проектирования СУ сложными ТО, анализа особенностей реализации и использования различных вариантов облачной концепции, был сделан вывод о целесообразности и возможности использования для таких систем смешанной (гибридной) облачной концепции функционирования для ее использования при организации САПР как в ЛВС проектной организации, так и в облаке. Проанализированы различные платформы построения и реализации облачных приложений, что позволило сделать вывод о преимуществах платформы Microsoft Hyper-V и ее больших возможностях для реализации систем типа САПР. Особое внимание уделялось таким характеристикам платформы, как простота использования, потребление ресурсов, масштабируемость и др. Здесь САПР представляет собой распределенную систему, к которой организации-разработчики получают доступ посредством Интернета (рисунок 1). Для каждой организации существует свой сервер (виртуальная машина) с установленным специальным ПО, а сотрудники организации используют для работы с ним терминалы, которые, осуществляют только ввод-вывод информации.

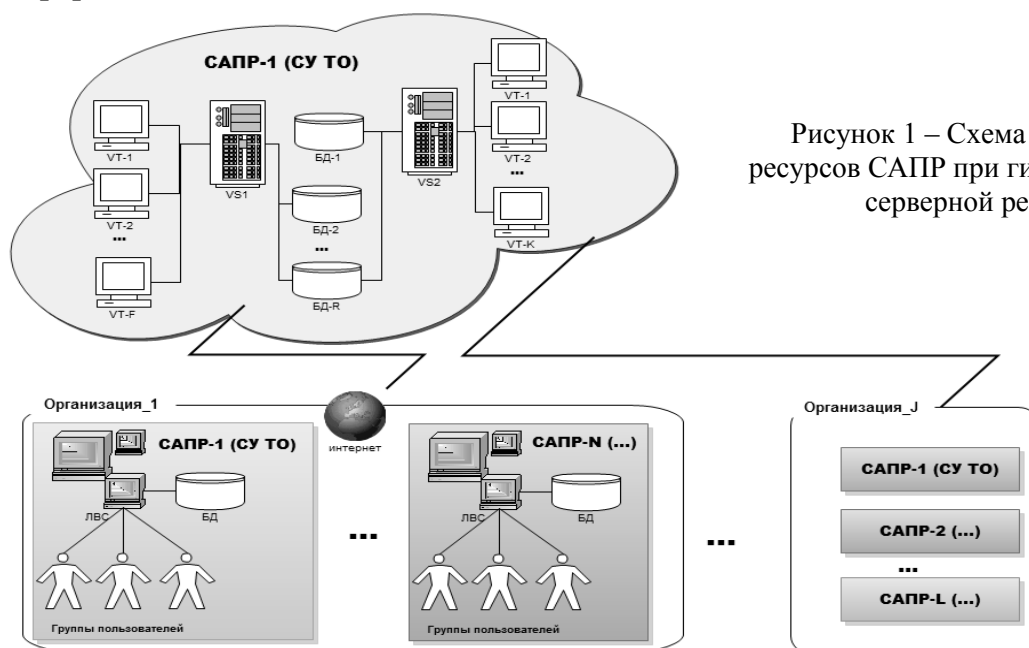


Рисунок 1 – Схема распределения ресурсов САПР при гибридной облачно-серверной реализации

По результатам проведенных в главе исследований процесса проектирования СУ сложными ТО с позиций системного анализа была разработана процессуальная схема автоматизированного структурного синтеза СУ ТО с использованием эволюционной стратегии, включающей два уровня принятия решений: вытекающих из анализа СУ в целом; основанных на анализе ее подсистем.

Принимая во внимание, что структурный синтез, в результате которого собственно и формируется облик будущей СУ, является ключевым этапом проектирования СУ сложными ТО, процесс проектирования разбивался на укрупненные группы этапов (задач), соответствующие профессионально-направленным группам проектировщиков. Взаимодействия различных групп и этапов структурного синтеза СУ ТО в рамках представлялись в виде матриц взаимосвязи. Каждая группа использует при реализации закрепленных за ней этапов

специализированные программные комплексы и средства организации эффективного взаимодействия с ресурсами и подсистемами системы проектирования. Проведенная декомпозиция позволила упростить постановку и решение задачи управления процессом проектирования СУ сложными ТО.

В соответствии с принятой концепцией организации управления процессом проектирования СУ ТО выделялись следующие роли пользователей, для которых в рамках создаваемого УК должны разрабатываться соответствующие пользовательские интерфейсы: 1) *диспетчера (менеджера) проектов*; 2) *руководителя профессиональной группы* проектировщиков; 3) *разработчика* – инженера-проектировщика в составе профессиональной группы. В главе приводится классификация и анализ задач, решаемых такого УК с учетом выбранного способа организации процесса проектирования.

К основным целям управления (диспетчирования) процесса проектирования относятся: 1) соблюдение ограничений по срокам завершения выполнения отдельных этапов и разрабатываемых проектов в целом; 2) достижение максимальной скорости реализации проектов; 3) минимальное потребление ресурсов проектирования.

Если процесс управления проектированием СУ сложными ТО можно свести к единственной количественно определенной цели, характеризуемой функционалом F (например, максимальное использование рабочего времени (минимальное суммарное время простоя в работе над проектами), минимальные приведенные затраты на проектирование и т.д.), то проблема проектирования сводится к обычной постановке задачи оптимизации по скалярному критерию (6):

$$J^* = \underset{p}{extr} J(p, x) = J(p^*, x^*) \quad (6)$$

при ограничениях (7):
$$\Phi_l(p, x) \leq 0, \quad l = 1, 2, \dots, g \quad (7)$$

Если же это невозможно, то проблема управления процессом проектирования сводится к выбору таких значений параметров p_i внутри допустимой области, при которых удовлетворяются имеющиеся различные цели. Очевидно, что в каждом из указанных случаев решение может и не существовать.

Динамические задачи управления процессом проектирования СУ ТО значительно сложнее из-за наличия объектов управления с трудно формализуемыми свойствами, необходимости учета не только статических, но и динамических, а также статистических свойств системы, иначе говоря, из-за необходимости принятия решений в условиях большой неопределенности.

Проведенный анализ основных особенностей проектирования СУ сложными ТО показал, что в условиях невозможности построения точной математической модели объекта управления – процесса проектирования СУ ТО – задача поддержки принятия решений, решаемая УК (программным комплексом автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО), представляет собой задачу *ситуационного управления*. Реализации такого управления потребовала разработки набора правил (продукций) типа: «*класс ситуаций* → *решение по управлению*». Для прогнозирования результатов принятого в данной ситуации решения в системе реализуется «*Имитатор*», с помощью которого осуществляется выбор наилучшего решения (рисунок 2). В главе представлены основные особенности и проблемы реализации ситуационного управления предлагаемой структуры и приведены результаты исследования и сравнительного анализа различных методологий формирования и оценки принимаемых решений в процессе управления процессом проектирования.

Рисунок 2 – Структура системы ситуационного управления



В соответствии с выводами, полученными в результате проведенных исследований, были выявлены основные задачи, решаемые в рамках разрабатываемого программного комплекса **УК-01**:

1. Планирование (корректировка) планов (этапов проектирования, проектов в целом): формирование деревьев задач по рабочим группам; планирование по срокам и ресурсам проектирования (трудоемкость, число рабочих мест и др.).

2. Контроль этапов проектирования и проектов в целом по срокам и ресурсам проектирования (трудоемкость, число рабочих мест и исполнителей, данных и др.); прерываний в процессе проектирования; указаний руководителей проектов; требований с рабочих мест исполнителей и диспетчера проектов.

3. Принятие решения по: срокам выполнения (плана проектных работ, этапов проектирования, проектов в целом); ресурсам проектирования (трудоемкость, число рабочих мест и исполнителей, данных и др.) для этапов проектирования и проектов в целом; прерываниям в процессе проектирования; указаниям руководителей проектов; по требованиям с рабочих мест исполнителей и диспетчера проектов.

Основные ситуации, по которым возникает необходимость управления (принятия и реализации решений) в соответствии с разработанной стратегией проектирования СУ сложными ТО представлены нижеследующим перечнем:

1. Нарушение сроков исполнения этапов и проекта в целом – по результатам автоматического мониторинга сигналов с рабочих мест проектировщиков.

2. Добавление новых проектов – по указанию руководства проектами.

3. Оперативное изменение рангов проектов – по указанию руководства.

4. Изменение сроков исполнения проектов – по указанию руководства.

5. Прерывание процесса проектирования по причинам: необходимость возврата к предшествующим этапам; недостаток исходных данных для выполнения этапа; недостаточность вычислительных ресурсов; недостаток исполнителей-проектировщиков для реализации отдельных этапов работ;

6. Сокращение сроков выполнения работ – по результатам автоматического мониторинга сигналов с рабочих мест.

7. Невозможность выполнения этапа в намеченный срок – по результатам автоматического мониторинга сигналов с рабочих мест.

8. Необходимость формирования отчетов.

Формирование очередей разработки проектов осуществляется с использованием устанавливаемых уровней их значимости (рангов R_i , $i = \overline{1, N}$, N – число проектов) каждого из них и последующего их ранжирования (рисунок 3).

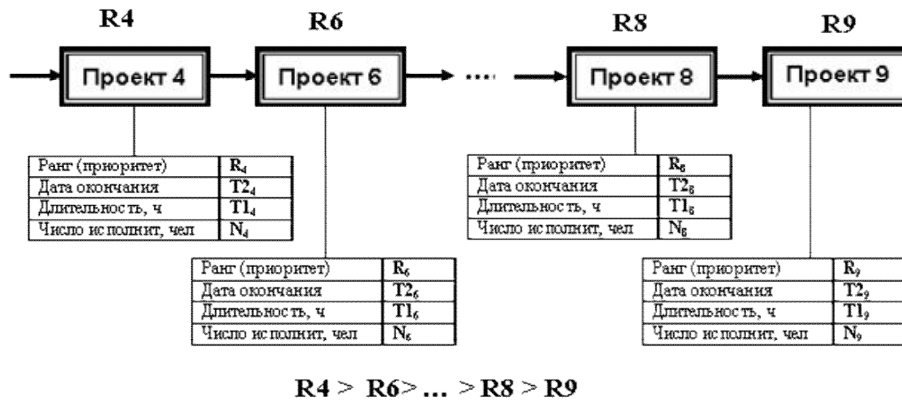


Рисунок 3 – Очередь разработки проектов

Основные плановые временные показатели рассчитываются программно по результатам предварительно формируемых шкал эталонного распределения времени проектирования по группам и этапам (рисунок 4). В основу создания таких шкал положены результаты предварительного статистического анализа времени выполнения отдельных этапов в различных проектных организациях. Для эффективной реализации решений по корректировке сроков начала и длительности этапов и перестроения очередей в процессе управления процессом проектирования длительности отдельных этапов в исходной шкале эталонного распределения времени проектирования рассчитываются с учетом назначаемого стандартного временного резерва в размере 10% от временных интервалов исходной шкалы эталонного распределения времени. Примеры графической интерпретации формирования очередей с учетом установленных рангов приведены на рисунке 5.

Для всех приведенных выше задач управления при возникновении различных ситуаций были разработаны и реализованы специальные расчетные модули (всего 14), примеры схем которых приведены ниже на рисунках 6, 7.

В рамках комплекса **УК-01** реализованы процедуры слежения за состоянием процесса проектирования, отображаемых в оперативных массивах БД комплекса.

К основным расчетным формулам, используемых при реализации предложенных алгоритмов решения задач управления процессом проектирования СУ ТО относятся:

Изменение сроков разработки i -го проекта (8):

$$\Delta T_i = T2_i^* - T2_i, \quad (8)$$

где $T2_i^*$ $T2_i$ – соответственно действующая и новая дата окончания i -го проекта.

Полное время завершения работ по i -му проекту (9):

$$S_i = \sum_{19-n_i^*}^{19} (T_{ni} + t_{ni}^3), \quad n = \overline{(19 - n_i^*), 19}, \quad (9)$$

где T_{ni} ($i = \overline{1, 19}$) – длительность отдельных этапов i -го проекта; t_{ni}^3 – установленный временной запас n -го этапа i -го проекта; n_i^* – номер завершеного этапа; **19** – число этапов проектирования.

Расчетная длительность отдельных этапов (10), (11):

$$T_{ni}^* = T_{ni} + \Delta T_i \cdot \frac{T_{ni}}{S_i}, \quad n = \overline{(19 - n_i^*), 19}, \text{ если } T2_i > T2_i^*; \quad (10)$$

$$T_{ni}^* = T_{ni} - \Delta T_i \cdot \frac{T_{ni}}{S_i}, \quad n = \overline{(19 - n_i^*), 19}, \text{ если } T2_i < T2_i^*. \quad (11)$$

Устанавливаемый (новый) временной запас i -го проекта (12):

$$t_i^3 = \sum_{19-n_i^*}^{19} t_{ni}^3 \quad n = \overline{(19 - n_i^*), 19}. \quad (12)$$

Расчетное значение временного запаса n -го этапа i -го проекта (13):

$$t_{ni}^{3*} = t_{ni}^3 - \Delta T_i \cdot \frac{t_{ni}^3}{t_i^3}, \quad n = \overline{(19 - n_i^*), 19}, \text{ если } t_i^3 \geq 0, \quad (13)$$

где

$$t_i^3 = t_i^3 - z; \quad z = \Delta T_{i-1} - t_i^3.$$

Полное время завершения работ по i -му проекту при новом (расчетном) значении временного запаса по n -му этапу i -го проекта (14):

$$S_i = \sum_{19-n_i^*}^{19} (T_{ni} + t_{ni}^{3*}), \quad n = \overline{(19 - n_i^*), 19}, \quad (14)$$

Изменение времени разработки i -го проекта по причине возврата к n_i^B -му этапу (15):

$$\Delta T_i = \tau - \sum_1^{n_i^B} T_{ni}, \quad n = \overline{1, n_i^B}, \quad (15)$$

где n_i^B – номер этапа i -го проекта, к которому осуществляется возврат; τ – текущее время, с.

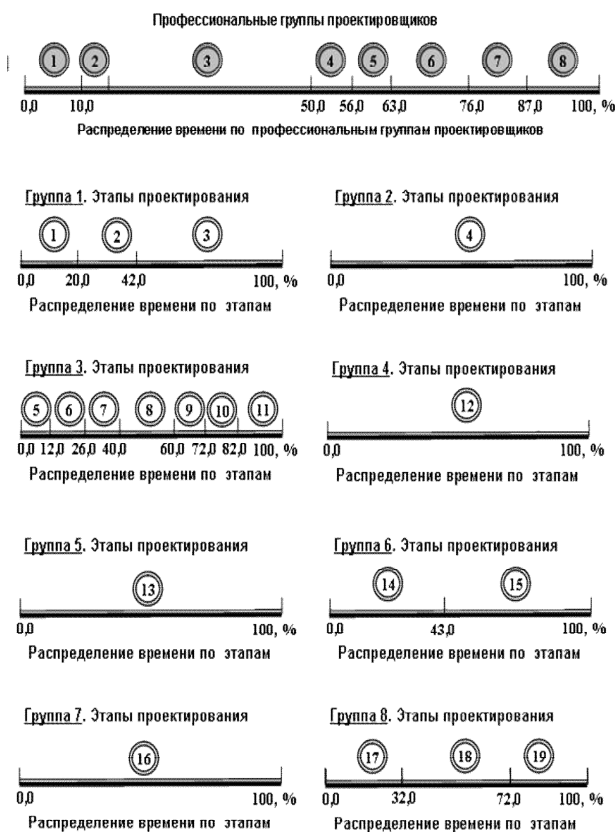


Рисунок 4 – Шкала эталонного распределения времени проектирования по группам и этапам проектирования

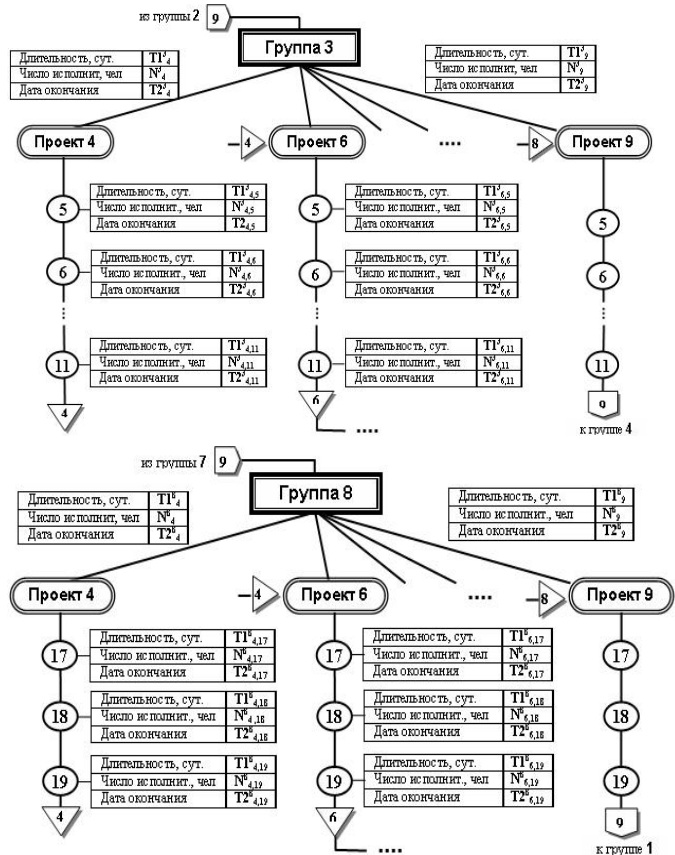


Рисунок 5 – Фрагменты представления очередности выполнения проектных работ по группам

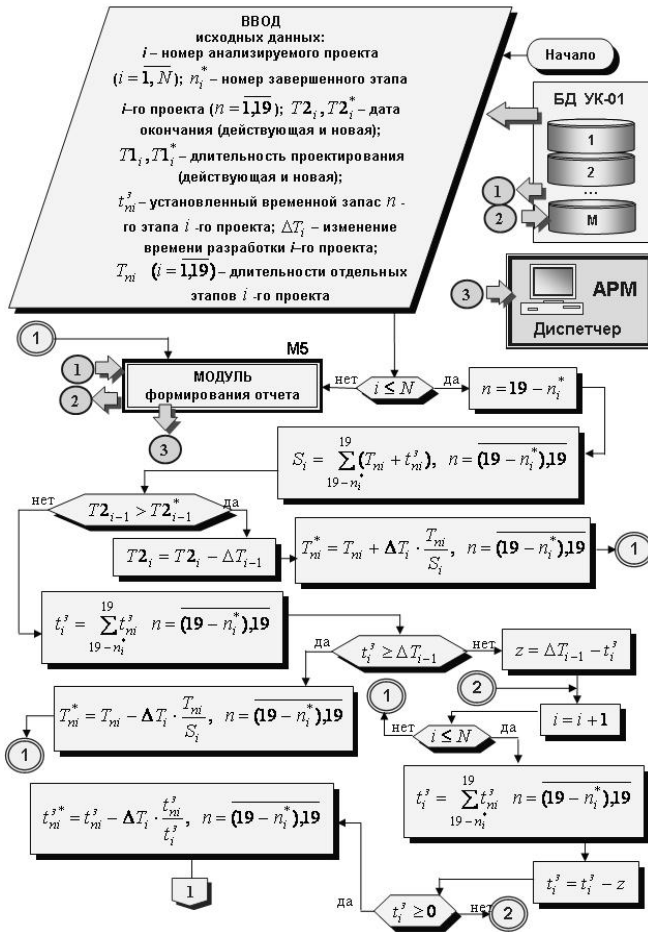


Рисунок 6 – Процедура **М6-2** распределения времени по оставшимся этапам проектирования последующих проектов с учетом исходного распределения и установленных временных запасов

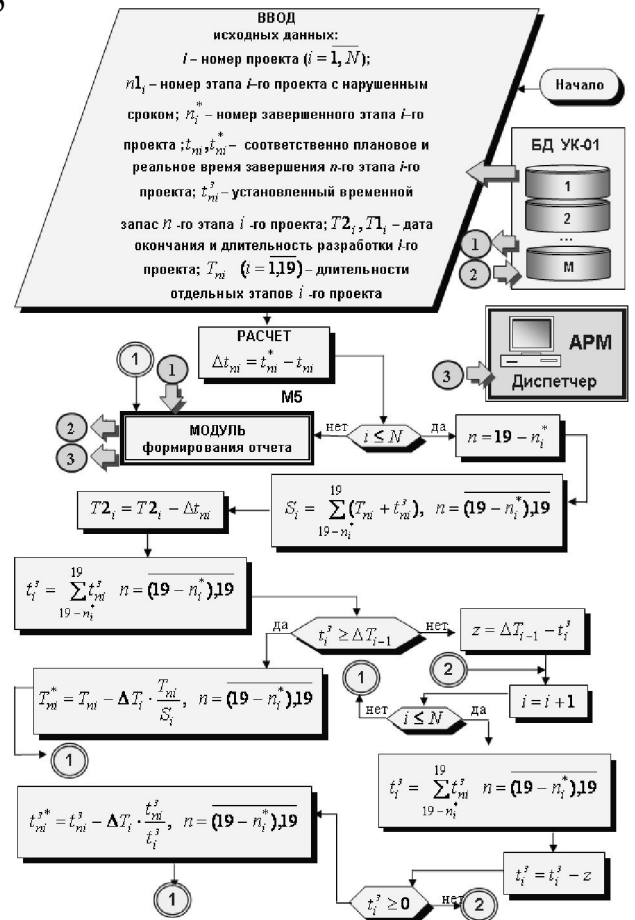


Рисунок 7 – Укрупненная схема модулей **М9** корректировки временных показателей по последующим проектам с учетом имеющихся временных ресурсов запасов

Проведенный анализ особенностей, преимуществ, недостатков и реальных возможностей применения ВРМ-систем для управления процессом проектирования СУ сложными ТО показал, что сегодня они пока не могут служить полноценной заменой современным УК САПР по причине отсутствия в них совершенных средств разработки развитых интерфейсов, а также механизмов оптимизации выполнения workflow-процессов. Делается вывод о необходимости проведения собственной разработки с помощью существующих сред программирования, которые позволяют кодировать сложные алгоритмы, работать с БД и строить разветвленные интерфейсы. Примерами таких сред могут служить Embarcadero RAD Studio XE3, C++Builder и прочие среды.

В третьей главе «Разработка и реализация программного комплекса **УК-01** автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО» приведены результаты разработки и реализации программного комплекса **УК-01** автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО.

По результатам проведенного системного анализа процесса проектирования СУ сложными ТО и методологических аспектов его автоматизации был сделан вывод о целесообразности использования концепции управления процессом проектирования, осуществляемом на двух уровнях. Логика взаимодействия комплекса **УК-01**, САПР СУ ТО и пользователей **УК-01** приведены на рисунке 8.

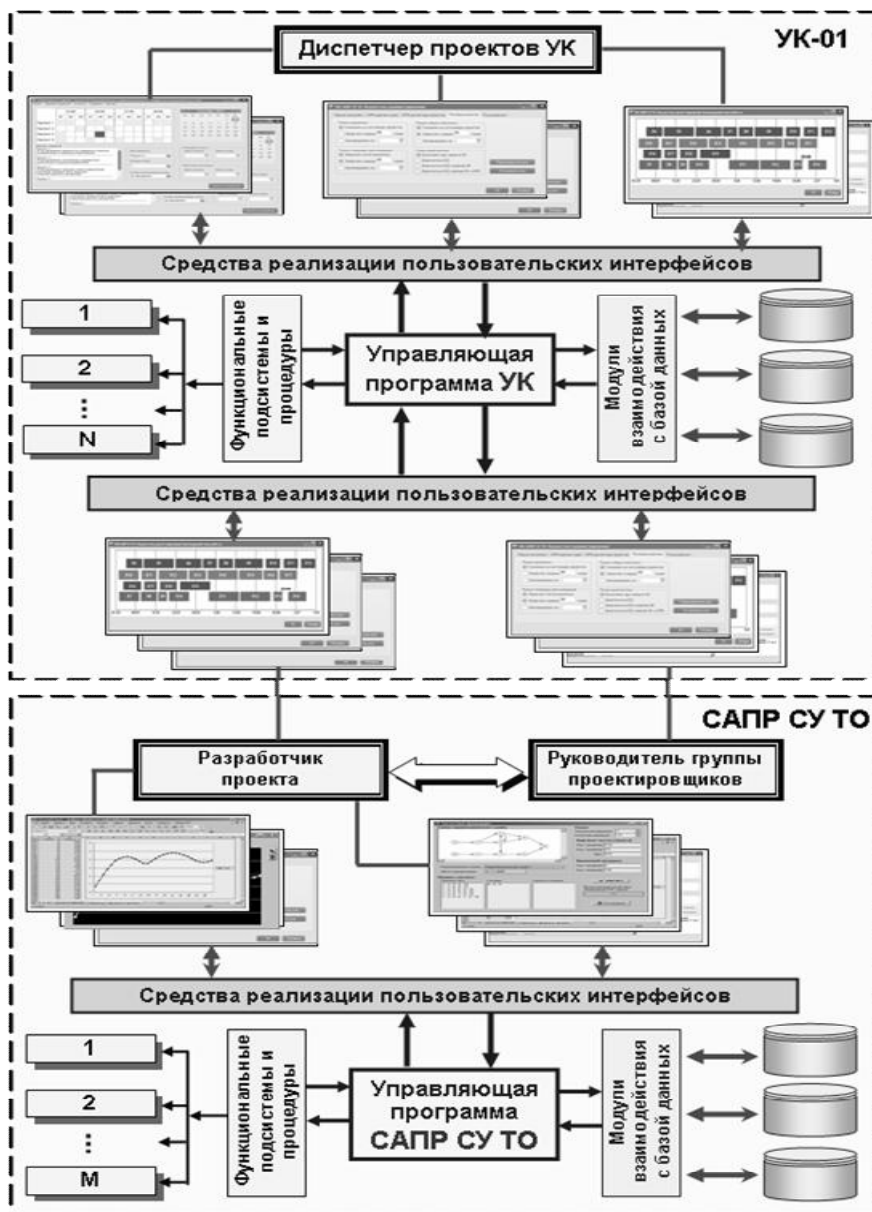


Рисунок 8 – Логика взаимодействия комплекса **УК-01** и САПР СУ ТО

На нижнем уровне, реализуемом в рамках САПР СУ ТО, процесс управления проектирования направлен на реализацию всех этапов автоматизированного проектирования в соответствии с процессуальной схемой.

На верхнем уровне управление осуществляется программным комплексом **УК-01**, включающим совокупность программных модулей, реализующих решение задач добавления проектов в БД и управления ими (запуск, остановка, изменение приоритетов, сроков выполнения и т.п.), построения деревьев задач для рабочих групп, генерации рекомендаций по управлению проектами, генерации отчетов, редактирования настроек работы **УК-01** и др. Принятая концепция построения сложных программных систем и разработанное методологическое обеспечение позволили выделить основные режимы работы комплекса **УК-01**, определившие направление работ при создании его внутрисистемных и пользовательских интерфейсов: 1) режим работы с БД; 2) режим проведения расчетов; 3) режим диагностики расчетов; 4) режим визуализации результатов расчетов и работы с отчетами, 5) режим графической модификации рассчитанных переходных процессов, а также режимы, обеспечивающие широкий набор сервисных функций разрабатываемой подсистемы: 6) режим настройки; 7) режим помощи.

Анализ различных программных сред, их преимуществ и недостатков показал, что наиболее эффективным инструментом разработки при создании программного

комплекса **УК-01** является среда **Delphi**, конкретно CodeGearDelphi 2010, что объясняется функциональной достаточностью этой среды для решения поставленной задачи, а также уровнем накопленного автором опыта работы с используемым в **Delphi** языком программирования и практических навыков использования этой среды при разработке различных программных продуктов.

Был сделан вывод о приемлемости применения хорошо зарекомендовавших себя структурных методов при использовании объектно-ориентированного программирования, а также CASE-средств, их реализующих.

Разработанная методология управления процессом проектирования СУ в рамках САПР позволила выявить структуру средств комплекса **УК-01**. Комплекс представляет собой множество взаимозависимых объектов, характеризующихся набором атрибутов, определяющих его состояние, и набором операций, которые можно применять к этому объекту. Каждый объект имеет строго определенный *интерфейс*. Объекты одного класса имеют одинаковый интерфейс.

УК-01 включает следующие функциональные подсистемы (рисунок 9):

«*Диспетчирование*» реализует алгоритмы решения основных задач **УК-01**: добавление проектов и управления ими (запуск, остановка, изменение приоритетов, сроков выполнения и т.п.), генерирование отчетов, построения деревьев задач.

«*Поддержка диспетчирования*» реализует сложные алгоритмы, используемые для генерации рекомендаций по управлению проектами.

«*Рабочие группы*» отображает деревья задач для рабочих групп и позволяет получать информацию о ходе выполнения задач от них.

«*Администрирование*» содержит интерфейсы для редактирования настроек работы УК и управления системными параметрами.

Каждая подсистема имеет хорошо определенный (внешний) интерфейс с другими подсистемами системы и разрабатывается независимо от остальных подсистем. Подсистемы могут взаимодействовать друг с другом либо как клиент и поставщик (*клиент-сервер*), либо как сопрограммы. Подсистемы **УК-01** взаимодействуют между собой с помощью общих переменных (общей памяти), операционных массивов и БД. Подсистемы выделяются по функциональному принципу и состоят из взаимосвязанных *модулей*, которые реализованы в соответствии со сложившимися требованиями объектно-ориентированного программирования. Все модули комплекса **УК-01** могут самостоятельно использоваться при решении отдельных задач управления процессом проектирования. В главе рассмотрены основные принципы и особенности реализации отдельных модулей. Общая структура **УК-01** представлена на рисунке 10.

УК-01 функционирует с использованием оригинального информационного обеспечения (ИО). В рамках решаемой задачи таблицы и поля ИО являются статическими ввиду определенности решаемой задачи и четкой структуры данных. Модель БД – реляционная, создаваемая по архитектуре ANSI-SPARC. Укрупненная схема работы комплекса **УК-01** приведена на рисунке 11. Все подсистемы имеют одинаковую архитектуру (рисунок 12).

Проведены исследования особенностей реализации, преимуществ и недостатков известных технологий доступа к данным с учетом требований быстродействия и надежности при создании и реализации **УК-01** для САПР СУ ТО. По результатам проведенного анализа были приняты решения: 1) использовать набор библиотек прямого доступа к СУБД ZeosDBO для обеспечения взаимодействия с такими СУБД как MS SQL Server, MySQL, Oracle, InterBase и другими, поддерживаемыми данной API; 2) Использовать ODBC для реализации возможности подключения СУБД, не поддерживаемых ZeosDBO.



Рисунок 10 – Общая структура программного комплекса УК-01

Рисунок 9 – Основные функциональные подсистемы комплекса УК-01

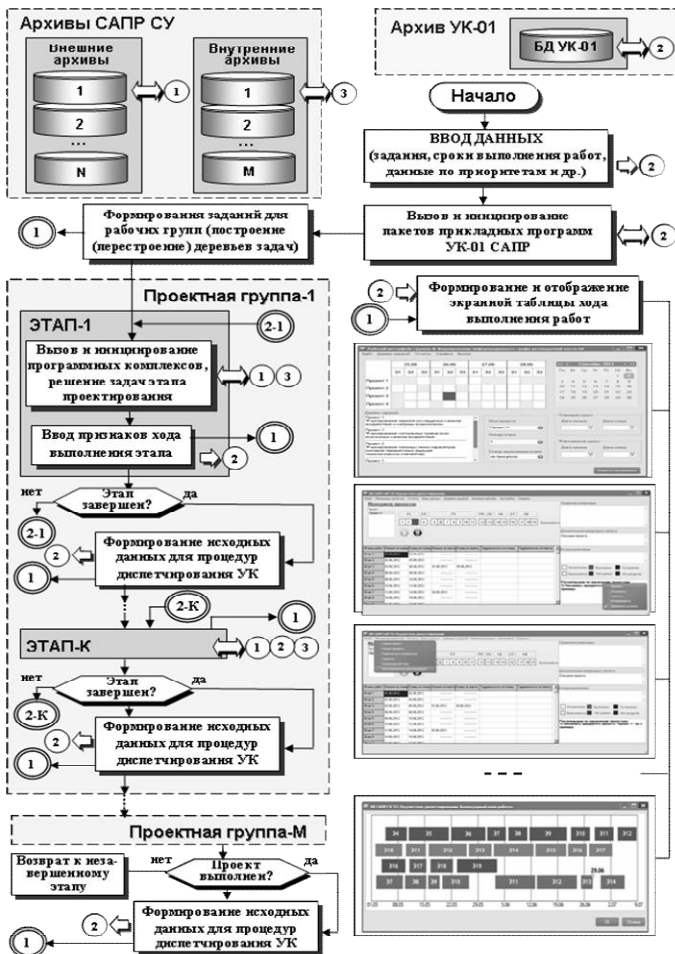


Рисунок 12 – Логика работы подсистемы программного комплекса УК-01

Рисунок 11 – Укрупненная схема работы управляющего комплекса УК-01

В результате проведенных исследований по выбору СУБД для **УК-01** приняты к использованию ряд рекомендуемых СУБД (MSSQL, MySQL, Oracle, FireBird) с возможностью настройки в случае необходимости на работу с прочими СУБД.

Помимо оригинальных программных модулей в **УК-01** были использованы сторонние компоненты, не входящие в CodeGearDelphi 2010: компоненты AlphaControls из серии AlphaSkin для построения графического интерфейса, стилизованного под MSOffice 2007; библиотеки ZEOS Library для доступа к серверам БД; компонент SecureLogin, реализующий механизмы авторизации и др.

УК-01 предполагается использовать в многопользовательском режиме с использованием клиент-серверной технологии. В главе анализируются основные (фоновые и интерактивные) режимы **УК-01**.

Проведенный анализ существующих подходов к разработке пользовательского интерфейса позволил выбрать подход, заключающийся в том, чтобы на основе метаданных о структуре и содержании элемента и его связей с другими информационными элементами динамически формировать пользовательский интерфейс подсистемы для решения стандартных задач взаимодействия с пользователем. Система становится гибкой к расширению и модификации. Примеры пользовательских интерфейсов приведены на рисунке 13.

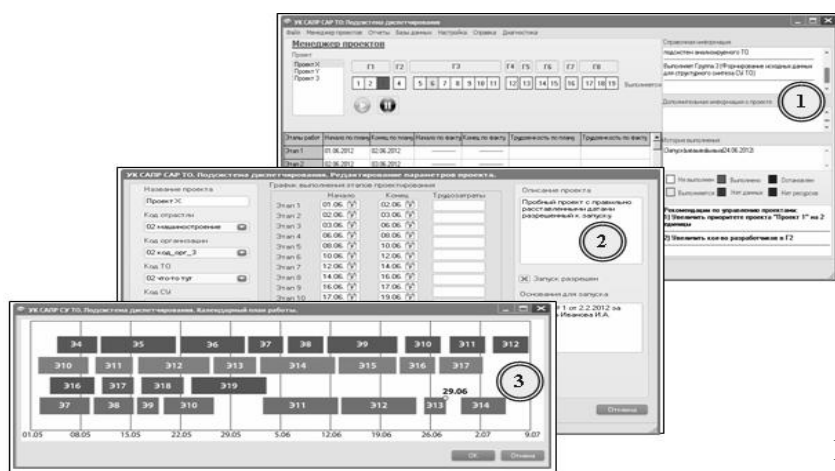


Рисунок 13 – Интерфейсные окна работы в интерактивном режиме: Ход выполнения проектов (1); Формирование графика работ (2); Календарный план на разработку (3)

В главе приводятся результаты разработки схемы функционирования программного комплекса **УК-01**.

В четвертой главе проведена оценка эффективности разработанного программного комплекса **УК-01**. Ожидаемый экономический эффект от внедрения комплекса **УК-01** в соответствии с полученными актами принятия к использованию результатов проведенных исследований в среднем составляет **1680,0** тыс. руб. в год для 1 системы проектирования (4 проекта).

В приложениях приведены фрагменты таблиц БД, основные выходные формы и фрагменты программных кодов ключевых модулей программного комплекса **УК-01**.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе работы, которые сводятся к следующему:

1. Проведен системный анализ основных принципов, особенностей проектирования СУ сложными ТО и основных проблем его автоматизации; поставлена задача разработки системы автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО и сформированы принципы эффективного взаимодействия средств проектирования СУ ТО в условиях ее эволюционного развития.

2. Проведены системные исследования и декомпозиция процесса проектирования СУ сложными ТО на взаимосвязанные по конечным результатам укрупненные этапы (задачи), соответствующие профессионально-направленным группам проектировщиков, что позволило упростить постановку и решение задачи автоматизированного управления процессом проектирования СУ. Проведен

системный анализ задач, решаемых в группах, и проанализированы методологические аспекты их реализации.

3. Предложена и развита методология ситуационного управления процессом проектирования СУ сложными ТО. Разработаны и реализованы машинные алгоритмы автоматизированного управления (планирования, контроля, учета и принятия решений) процессом проектирования СУ сложными ТО в условиях одновременной разработки нескольких независимых проектов в соответствии с выбранным методом ситуационного управления.

4. По результатам проведенного анализа реальных возможностей применения ВРМ-систем для управления процессом проектирования СУ ТО разработана структура средств, информационное и специальное программное обеспечение комплекса **УК-01** автоматизированного управления процессом проектирования СУ сложными ТО, ориентированного на использование в рамках специализированных проектных организаций, и алгоритмы его функционирования в условиях одновременной разработки нескольких независимых проектов.

5. Программный комплекс **УК-01** принят к использованию в ООО «КИТ» (г. Калининград), ООО «МЦЭ-Инжиниринг» (г. Москва), НПК «Югцветметавтоматика» (г. Владикавказ). Проведена оценка экономического эффекта от внедрения разработки, составляющего в среднем **1680,0** тыс. руб. в год для **1** системы проектирования при одновременной разработке **4** проектов.

6. Отдельные теоретические положения, а также алгоритмы и машинные программы, представленные в диссертационной работе, используются в учебном процессе в ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет (КГТУ)» при подготовке специалистов в области проектирования СУ ТО.

В приложениях приведены графические материалы, структурированные по главам диссертации, структура основных информационных массивов БД **УК-01**, примеры выходных форм комплекса **УК-01**, фрагменты исходного кода главного модуля программного комплекса **УК-01**, документы, подтверждающие апробирование и принятие к использованию результатов исследования.

ПУБЛИКАЦИИ В ИЗДАНИЯХ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ ВАК

1. Айрапетов, Д.А. Повышение эффективности взаимодействия средств САПР САР ТО в условиях ее эволюционного развития [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Естественные и технические науки. – М: Спутник+. – 2010. – № 6 (50). – С. 544-551. (Соискатель 50%)

2. Айрапетов, Д.А. Методологические аспекты оптимального проектирования систем управления сложными технологическими объектами с использованием эволюционной стратегии синтеза [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Известия Волг. ГТУ: межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. – 2011. – № 14 (87). – С. 177-189. (Соискатель 50%)

3. Айрапетов, Д.А. Исследование и выбор концепции распределения и использования ресурсов проектирования для САПР систем управления сложными технологическими объектами [Текст] / Д.А. Айрапетов // Известия Волг. ГТУ: межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. – 2012. – № 7 (94). – С. 196-204.

4. Айрапетов, Д.А. Об одном подходе к построению системы управления процессом проектирования в рамках САПР СУ сложными технологическими объектами [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Известия Волг. ГТУ: межвуз. сб. науч. ст. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ. – 2012. – № 15(102). – С. 112-118. (Соискатель 60%)

5. Айрапетов, Д.А. Программный комплекс автоматизированного управления процессом проектирования в рамках САПР СУ технологическими объектами [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Научный аспект. – Самара: «Аспект». – 2013. – №1 Технические науки. – С. 193-203. (Соискатель 60%)

ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛАХ, СБОРНИКАХ И МАТЕРИАЛАХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОНФЕРЕНЦИЙ

6. Айрапетов, Д.А. Об одном подходе к организации взаимодействия средств САПР САР технологических параметров сложных объектов [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Материалы VIII Юбилейной международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2010». – Калининград: КГТУ. – Октябрь 2010. – С. 359-362. (Соискатель 60%)

7. Айрапетов, Д.А. К вопросу о создании эффективной системы автоматизированного обучения пользователей сложных программных комплексов [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Балтийский финансовый журнал. – Калининград: БИЭФ. – 2010. – №1 (3). – С. 170-180. (Соискатель 50%)

8. Айрапетов, Д.А. Концепция построения САПР СУ технологическими объектами [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Материалы IX международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2011». – Калининград: КГТУ. – Октябрь 2011. – С. 63-67. (Соискатель 60%)

9. Айрапетов, Д.А. Проектирование систем управления сложными технологическими производствами как объект системного анализа [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Балтийский финансовый журнал. – Калининград: БИЭФ. – 2011. - №1 (5). – С. 137-147. (Соискатель 50%)

10. Айрапетов, Д.А. К вопросу об управлении процессом проектирования в рамках САПР СУ сложными технологическими объектами [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Материалы X международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2012». – Калининград: КГТУ. – Октябрь 2012. – С. 148-151. (Соискатель 50%)

11. Айрапетов, Д.А. Алгоритмизация процесса управления проектированием систем управления технологическими объектами в рамках САПР [Текст] / Д.А. Айрапетов, Г.Г. Арунянц // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития науки и образования». – Часть III. Мин-во обр. и науки. - М.: АР-Консалт. – Апрель 2013. – С. 80-86. (Соискатель 60 %)

12. Айрапетов, Д.А. Применение ВРМ-систем для управления процессом проектирования в рамках САПР [Текст] / Г.Г. Арунянц, Д.А. Айрапетов // Материалы XI международной научной конференции «Инновации в науке и образовании – 2013». – Калининград: КГТУ. – Сентябрь 2013. – С. 51-54. (Соискатель 70%)