

На правах рукописи

Паршиков Павел Анатольевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СОГЛАСОВАНИЯ
ИНТЕРЕСОВ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ РАБОТ ПО ПРОЕКТУ
В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Брянск 2011

Работа выполнена на кафедре «Информатика и программное обеспечение»
ГОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»

Научный руководитель кандидат технических наук, профессор
ГУЛАКОВ Василий Константинович

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
АНДРЕЙЧИКОВ Александр Валентинович

кандидат технических наук, профессор
КВИТКО Борис Иванович

Ведущая организация Филиал ГОУ ВПО «Орловская региональная
академия государственной службы»
в г. Брянске

Защита состоится « 22 » февраля 2011 года в 16 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.021.03 при ГОУ ВПО «Брянский
государственный технический университет» по адресу: 241035, г. Брянск,
бульвар 50-летия Октября, 7, учебный корпус №2, ауд. 220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Брянский
государственный технический университет».

Автореферат разослан « 20 » января 2011 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



В.А. ШКАБЕРИН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Важнейшей задачей, позволяющей эффективно организовать совместную деятельность субъектов социально-экономической системы, является задача управления процессом согласования их интересов, поскольку ее решение дает возможность не только скоординировать действия отдельных участников, но и повысить эффективность функционирования всей организационной системы в целом.

Задача управления процессом согласования интересов приобретает особую актуальность в случае совместной продуктивной деятельности многих организаций и предприятий, связанных между собой технологически и вносящих определенный вклад в общий результат. Совокупность процессов планирования, координации и контроля совместной целенаправленной деятельности отдельных исполнителей в условиях ограниченных ресурсов является предметом изучения теории управления проектами. Отношения между исполнителями и руководителем регламентируются условиями договора, который является одним из основных инструментов обеспечения контроля и мотивации участников проекта.

Если взаимовыгодные для обеих сторон параметры договора в процессе выполнения проекта становятся не оптимальными в связи с изменением внешних условий, неточностями прогнозирования и планирования, то у исполнителя может возникнуть желание изменить условия договора. И в этой ситуации необходимо своевременно согласовать между исполнителями возможные изменения в параметрах договоров для того, чтобы избежать реактивных и абсолютно не оптимальных решений.

Каждый исполнитель принимает решение, исходя из собственных предпочтений, на основе информации о своих возможностях и условиях функционирования, которая не разглашается и не доступна другим участникам проекта. Поэтому в процессе согласования интересов необходимо использовать новые распределенные методики коллективного принятия решений, основанные на совместных действиях независимых участников организационной системы, результатом которых является возникшее состояние равновесия.

Создание распределенных систем поддержки принятия решений осуществляется с использованием технологий распределенного искусственного интеллекта, основным направлением развития которых является методология мультиагентного моделирования. Замена исполнителей работ интеллектуальными агентами с формализованными процедурами принятия решений, позволяет построить мультиагентную модель организационной системы, исследование функционирования которой происходит в процессе взаимодействия отдельных агентов.

Таким образом, можно сделать вывод об актуальности работ, направленных на поддержку коллективного принятия решений при управлении процессом согласования интересов исполнителей работ по проекту на основе применения технологий мультиагентного моделирования.

Целью диссертационной работы является создание математических методов и программного обеспечения поддержки коллективного принятия решений при управлении процессом согласования интересов исполнителей на основе применения технологий мультиагентного моделирования для повышения эффективности выполнения работ по проекту.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие **задачи**.

1. Анализ существующих подходов к согласованию интересов участников социально-экономических систем.
2. Разработка математических методов и алгоритмов решения задачи согласованного изменения графика выполнения проекта одноуровневой системой агентов-исполнителей с использованием мотивационных управляющих воздействий.
3. Разработка модели и алгоритмов функционирования мультиагентной системы поддержки принятия решений, основанной на распределенном взаимодействии интеллектуальных агентов.
4. Синтез моделей интеллектуальных агентов и разработка на их основе алгоритмов решения задачи согласования интересов исполнителей с использованием механизма коллективного принятия решений.
5. Создание и исследование методики применения разработанных математических моделей и программного обеспечения для решения задачи управления процессом согласования изменений графика проекта в области информационных технологий.

Методология и методы исследования. При выполнении исследований и решении поставленных задач использовались основные научные положения системного анализа, теории управления в организационных системах, теории принятия решений, теории игр, технологии распределенного искусственного интеллекта. При разработке программной системы использовались методы объектно-ориентированного проектирования и программирования с использованием языка Java.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложена методика согласования интересов исполнителей при изменении графика выполнения проекта.
2. Разработана математическая модель согласованного взаимодействия исполнителей при изменении графика выполнения проекта с использованием механизма мотивационного управления.
3. Разработана модель мультиагентной системы поддержки принятия решений по управлению процессом согласования интересов исполнителей.
4. Предложена модель интеллектуального агента и алгоритм его поведения в процессе согласования интересов на основе механизма коллективного принятия решений.

Практическую ценность работы составляют:

1. Созданное специализированное программное обеспечение поддержки принятия решений с использованием мультиагентных моделей, применение которого при управлении процессом согласования интересов исполнителей позволит усовершенствовать механизм коллективного принятия решений и

повысить эффективность функционирования участников договорных отношений при выполнении работ по проекту.

2. Предложенная методика применения математического и программного обеспечения для решения задачи управления согласованием изменений графика проекта в области информационных технологий.

Разработанная мультиагентная система поддержки принятия решений зарегистрирована в отраслевом Фонде электронных ресурсов науки и образования. Она также внедрена в учебный процесс в качестве тренажера для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Моделирование реальных систем» для студентов специальности 230105 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» на кафедре «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета.

На защиту выносятся следующие положения.

1. Методика построения системы поддержки принятия решений по согласованию изменений графика выполнения проекта с использованием агентно-ориентированного подхода.
2. Математические методы и алгоритмы решения задачи моделирования согласованного взаимодействия исполнителей работ по проекту на основе механизма мотивационного управления с применением стимулирующих воздействий.
3. Модели и алгоритмы поведения интеллектуальных агентов, осуществляющих поддержку коллективного принятия решений по переходу к согласованному графику выполнения работ.
4. Структура и функциональные характеристики разработанного специализированного программного обеспечения поддержки принятия решений, основанного на взаимодействии интеллектуальных агентов.
5. Результаты практического применения разработанного математического и программного обеспечения для согласованного перехода к новому графику выполнения проекта в области информационных технологий.

Апробация работы. Основные положения и наиболее важные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались на 8 международных и российских конференциях, в том числе 58-й научной конференции профессорско-преподавательского состава БГТУ (г. Брянск, 2008 г.); международной научно-практической конференции «Наука и производство» (г. Брянск, 2009 г.); II научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» (г. Обнинск, 2009 г.); четвертой Всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (г. Санкт-Петербург, 2009 г.); международной научно-практической конференции «Состояние, проблемы и перспективы автоматизации технической подготовки производства на промышленных предприятиях» (г. Брянск, 2009 г.); региональной конференции студентов и аспирантов «Достижения молодых ученых Брянской области» (г. Брянск, 2009 г.); региональной научно-практической конференции

«Приоритетные направления современной науки: фундаментальные проблемы, инновационные проекты» (г. Брянск, 2010 г.); региональной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании» (г. Брянск, 2010 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 11 печатных работ, в том числе 3 в научных журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка, содержащего 137 наименований, и приложений. Работа изложена на 206 страницах, содержит 60 рисунков и 18 таблиц. Общий объём работы составляет 249 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулирована цель работы, указаны применяемые методы исследований, определены научная новизна и практическая ценность работы, описана ее структура и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы проблемы эффективного управления процессом согласования интересов исполнителей работ по проекту в системе договорных отношений.

Проанализированы работы, посвящённые вопросам согласования интересов участников социально-экономических систем, А.А. Ашимова, В.Н. Буркова, Д.А. Новикова, С.А. Баркалова, В.Д. Богатырева, М.И. Гераськина. Подчеркивается системообразующая роль согласования интересов, важность центрального координатора в обеспечении устойчивости системы и заинтересованности участников в переходе к новому состоянию. Рассматривается возможность и особенности мотивационного управления с применением механизмов стимулирования для воздействия на целевые функции исполнителей с целью перехода к максимально выгодному для них состоянию.

Описываются причины и последствия возникновения несогласованных изменений в исходной структуре проекта, а также основные трудности при управлении изменениями. На основе анализа работ В.И. Воропаева, Г. Дитхелма, Е.В. Коновальчук, И.И. Либерзон, Д. Локк, А.В. Лысакова, И.И. Мазур, М.Л. Разу, К.В. Флеминга, В.Д. Шапиро в области управления проектами сделан вывод о том, что проблема управления согласованием изменений в графике проекта актуальна в структуре договорных отношений.

Описываются требования и ограничения, которым должны удовлетворять согласованный график выполнения проекта и вновь заключенные договоры для того, чтобы действия, выгодные с индивидуальной точки зрения одного исполнителя, были предпочтительными и для других исполнителей работ по проекту. Сделан вывод о том, что информация о предпочтениях исполнителей работ и условиях их функционирования участниками не раскрывается, носит распределенный характер и лишь ограниченно доступна каждому из них. Поэтому в основе процесса коллективного принятия решений по согласованию интересов исполнителей должен лежать механизм распределенного

взаимодействия участников организационной системы, позволяющий путем совместных действий достичь состояния равновесия.

Делается вывод о том, что одним из наиболее эффективных подходов к исследованию распределенного взаимодействия исполнителей в процессе согласования интересов является методология распределенного искусственного интеллекта, основным направлением развития которой является мультиагентный подход. Для решения поставленных задач обосновано использование методики построения мультиагентных систем поддержки принятия решений (СППР), рассмотренных в работах Р.А. Брукса, В.А. Виттиха, М. Вулдриджа, В.И. Городецкого, К.А. Конолиге, П.О. Скобелева, В.Б. Тарасова, А.Н. Швецова. Применение механизма коллективного принятия решений в рамках разработанной мультиагентной модели позволит определить оптимальный согласованный график выполнения проекта и соответствующую ему систему стимулирующих воздействий путем взаимодействия отдельных интеллектуальных агентов.

Для реализации поставленной в работе цели сделан вывод о целесообразности разработки мультиагентной СППР с одноуровневой архитектурой и выделенным агентом-координатором на метауровне, т.к. данные системы предполагают распределенный характер принятия решений в процессе кооперации агентов, которые не разглашают информацию о характере своей целевой функции и приобретают новые знания путем переговоров с другими интеллектуальными агентами.

Во второй главе определены объект и предмет исследования, сформулирована методологическая база, а также описана методика проведения исследования.

В качестве объекта исследования выбрана задача определения оптимального согласованного графика выполнения проекта и соответствующего ему механизма мотивационного управления. Структурный анализ данной задачи, выполненный с учетом рассмотренных в первой главе отличительных особенностей процесса согласования экономических интересов в социально-экономических системах, позволил выявить следующие закономерности, присущие объекту исследования:

- Моделируемая система описывается одноуровневым множеством исполнителей с центральным управляющим органом и графиком проекта, определяющим логическую последовательность работ.
- Логическая последовательность работ задается в виде сетевого графика, вершины которого соответствуют работам, а дуги событиям (моментам окончания или начала работ). Для каждой работы задана ее продолжительность.
- Изменения в графике выполняются после его формирования руководителем проекта. Технологические отношения предшествования работ фиксированы и логическая последовательность неизменна.
- Предпочтения исполнителя работ по проекту моделируются его целевой функцией (функцией выигрыша, функцией полезности), которая отображает

множество альтернатив на числовую ось. Смысл целевой функции – денежный доход исполнителя в результате выполнения работ по проекту.

- Перезаключение договора происходит только в том случае, если каждой из сторон новый договор обеспечивает не меньшее значение целевой функции, чем первоначальный.
- Руководитель проекта («метаигрок») обеспечивает согласование интересов исполнителей, устойчивость системы в новом состоянии и заинтересованность всех участников в переходе к новым условиям договора.
- Под альтернативой будем понимать согласованный график проекта, обеспечивающий выигрыш каждому участнику системы, и соответствующая ему система стимулирующих воздействий. Множество альтернатив конечно.
- Существует возможность трансферта полезности в виде побочных платежей, позволяющих воздействовать на целевую функцию другого исполнителя.
- Решением поставленной задачи является альтернатива, максимизирующая функцию общественного благосостояния, т.е. суммарную полезность элементов организационной системы.

Для диссертационного исследования выбраны следующие методы: общие методы научного познания (системный подход); специальные методы теории управления (управление в социально-экономических системах, управление проектами); методы распределенного искусственного интеллекта (мультиагентное моделирование).

Третья глава посвящена исследованию математических моделей управления процессом согласования интересов исполнителей при изменении графика выполнения проекта на основе теории игр и мультиагентного подхода.

На основе базовой модели управления в организационных системах и базового механизма индивидуального стимулирования была разработана модель управления исполнителями работ по проекту в процессе согласования интересов.

Руководитель проекта описывается следующим кортежем:

$$PM = \{A_{PM}, B_{PM}, R, F, \Pi_{PM}(\cdot)\}, \quad (1)$$

где $A_{PM} = \{A_i \mid i \in N\}$ – множество институциональных управляющих воздействий на исполнителей работ, размерностью N , $B_{PM} = \{B_i \mid i \in N\}$ – множество мотивационных управляющих воздействий, $R = \{R_i \mid i \in N\}$ – множество результатов выполнения работ исполнителями, F – множество значений внешних условий, $\Pi_{PM}(\cdot)$ – целевая функция руководителя проекта.

Исполнитель работ по проекту определяется кортежем:

$$Ex_i = \{U_i, R_i, F, q_i(\cdot), p_i(\cdot)\}, \quad (2)$$

где $U_i = \{U_{ij} \mid i \in N, j \in M_i\}$ – множество определенных в договоре действий исполнителя по выполнению набора работ Act_i , размерностью M_i , $R_i = \{R_{ij} \mid i \in N, j \in M_i\}$ – множество результатов выполнения работ i -го исполнителя, $q_i(\cdot): U_i \rightarrow \mathfrak{R}_{U_i}$ – целевая функция i -го исполнителя,

$p_i = \{p_{ij} \mid i \in N, j \in M_j\}$ – набор функций, описывающих механизм функционирования множества работ i -го исполнителя.

Исполнитель i выполняет множество работ по проекту $Act_i = \{Act_{ij} \mid i \in N, j \in M_i\}$. Результаты R_{ij} выполнения работы Act_{ij} определяются действиями исполнителя U_{ij} и значениями внешних условий F и описываются функцией $p_{ij} : U_{ij} \times F \rightarrow R_{ij}$. Механизм функционирования работы по проекту Act_{ij} известен ее исполнителю Ex_i . Внешние условия F наблюдаются всеми участниками организационной системы и учитываются при принятии решений.

На этапе выбора исполнителей между руководителем проекта и исполнителями работ будет произведено заключение множества договоров $\{\xi_i(u_i^D), u_i^D \mid i \in N\}$, каждый из которых определяет величину вознаграждения $\xi_i(u_i^D)$ в зависимости от выполненных исполнителем действий u_i^D . Действия исполнителя заключаются в выполнении необходимого объема работ по договору в определенные проектом сроки и описываются множеством $u_i^D = \{u_{ij}^D \mid i \in N, j \in M_i\}$. Действия всех исполнителей по выполнению множества работ по проекту составляют общий график проекта $u^D = \{u_{ij}^D \mid i \in N, j \in M_i\}$. Для выполнения отдельной работы по проекту исполнитель осуществляет действия, описываемые кортежем $u_{ij}^D = \langle Act_{ij}, t_{ij}^H(u^D), t_{ij}^K(u^D), c_{ij}(u^D) \rangle$, где $t_{ij}^H(u^D)$ – момент начала выполнения работы по графику u^D , $t_{ij}^K(u^D)$ – момент окончания выполнения работы по графику u^D , $c_{ij}(u^D)$ – затраты исполнителя при выполнении работы по графику u^D .

Целевая функция исполнителя работ $q_i(\cdot)$ представляет собой разницу между стимулированием со стороны руководителя проекта $\xi_i(u^D)$ и суммарными затратами на выполнение работ:

$$q_i(u^D) = \xi_i(u^D) - \sum_{j \in M_i} c_{ij}(u^D), \quad (3)$$

а целевая функция руководителя $\Pi_{PM}(\cdot)$ представляет собой разницу между доходом $W(u^D)$ и суммарными затратами на стимулирование:

$$\Pi_{PM}(u^D) = W(u^D) - \sum_{i \in N} \xi_i(u^D). \quad (4)$$

Пусть в результате изменившихся внешних условий один из исполнителей желает оценить последствия изменения сроков выполнения своей работы, т.е. оценить переход от первоначального графика выполнения проекта u^D к графику u . Такой переход будет возможен, если новый график проекта u обеспечивает при переходе к нему суммарный выигрыш всей организационной системы, который выражается утилитарной функцией коллективного благосостояния:

$$\Psi(u, u^D) = \sum_{i=1}^N \psi_i(u, u^D) = -\sum_{i=1}^N [c_i(u) - c_i(u^D)] = -\sum_{i=1}^N \Delta c_i(u, u^D) = -\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} \Delta c_{ij}(u, u^D) > 0, \quad (5)$$

где $\psi_i(u, u^D)$ – выигрыш i -го исполнителя при переходе от первоначального графика проекта u^D к графику u ; $\Delta c_{ij}(u, u^D)$ – изменение затрат i -го исполнителя по j -й работе при переходе к новому графику (дополнительные затраты).

Для перехода к новому графику проекта необходимо произвести процесс перезаключения договоров со всеми исполнителями, для которых параметры выполнения работ изменятся. Перезаключение договоров допускается в промежуточной (interim) фазе, когда действия в отношении работ по проекту исполнителями выбраны, а результаты действий еще не получены.

В процессе перехода к новым договорам исполнители работ должны не уменьшить значения своих целевых функций, по сравнению с первоначальной ситуацией. Каждый участник проекта может отказать в перезаключении договоров, если не будет заинтересован в согласованном переходе к новому графику. Поэтому необходимо произвести стимулирование незаинтересованных в переходе к новому графику исполнителей путем передачи им части выигрыша от других участников проекта в виде побочных платежей. Воздействуя стимулирующими платежами на целевую функцию исполнителей, можно сделать новый график выполнения проекта u равновесной ситуацией в организационной системе, а множество договоров с измененными параметрами $\{\xi_i(u_i), u_i\}$ выгодными для всех участников проекта.

Оптимальный график выполнения проекта максимизирует сумму целевых функций исполнителей или минимизирует дополнительные затраты:

$$u = \arg \max_{z \in U} \sum_{i \in N} q_i(z) = \arg \max_{z \in U} \sum_{i \in N} \psi_i(z, u^D) = \arg \min_{z \in U} \sum_{i \in N} \sum_{j \in M_i} \Delta c_{ij}(z, u^D), \quad (6)$$

и должен удовлетворять следующим ограничениям:

$$t_{ij}^K(u) \leq T_{кр}, \quad (7)$$

$$\tau_{ij_{\min}} \leq \tau_{ij}(u) \leq \tau_{ij_{\max}}, \quad (8)$$

$$t_{ij}^H(u) + \tau_{ij}(u) \leq t_{km}^H(u), Act_{km} \in S(Act_{ij}), \quad (9)$$

$$t_{ij}^H(u) \geq 0, t_{ij}^K(u) \geq 0, \tau_{ij}(u) \geq 0, \quad (10)$$

где $\tau_{ij}(u)$ – продолжительность работы Act_{ij} при выполнении по графику u , $S(Act_{ij})$ – множество работ, которые следуют по графику за работой Act_{ij} .

Целевую функцию исполнителя предлагается задавать дискретным образом путем определения величины дополнительных затрат $\Delta c_{ij}(u, u^D)$ по выполняемым им работам Act_{ij} при изменении их временного положения на множестве $T = t_{ij}^H(u) \times t_{ij}^K(u)$ в процессе перехода от исходного графика проекта u^D к новому u . Для этого задается множество кортежей вида

$\langle Act_{ij}, t_{ij}^H(u), t_{ij}^K(u), \Delta c_{ij}(u, u^D) \rangle$, связывающих временное положение работы и дополнительные затраты исполнителя при его выборе и осуществляющих отображение $t_{ij}^H(u) \times t_{ij}^K(u) \rightarrow \Delta c_{ij}(u, u^D)$.

При известных целевых функциях исполнителей параметры оптимального графика выполнения проекта можно определить по итерационному алгоритму, последовательно просматривающему график, начиная с работы Act_{ij} , и определяющему оптимальное временное положение для множества логически последующих работ (рис. 1).

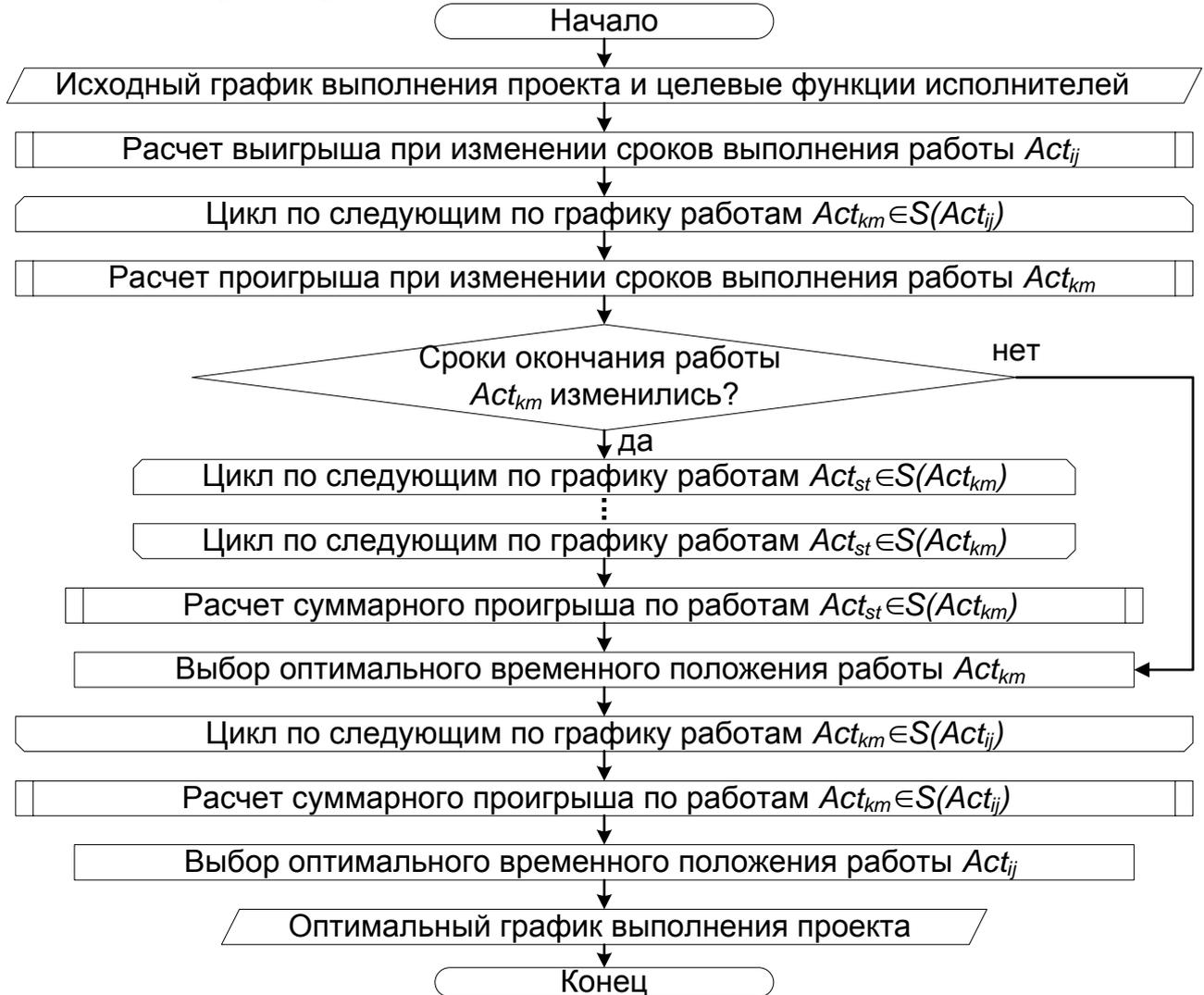


Рис. 1. Алгоритм определения параметров оптимального графика

Для перехода к оптимальному графику выполнения проекта необходимо определить стимулирующие воздействия γ , которые позволят воздействовать на целевую функцию проигравших в процессе перехода исполнителей работ и заинтересовать их в изменении графика проекта:

$$q_i(u, \gamma) \geq q_i(u^D). \quad (11)$$

Исполнители работ разделятся на две группы (рис. 2):

$$Ex_1 = \left\{ i \in N \mid \psi_i(u, u^D) \geq 0, \arg \max_{z_i \in U_i} q_i(z_i) = u_i \right\}, \quad (12)$$

$$Ex_2 = \left\{ k \in N \mid \psi_k(u, u^D) \leq 0, \arg \max_{z_k \in U_k} q_k(z_k) = u^D \right\}. \quad (13)$$

где $Ex = Ex_1 \cup Ex_2$ и $Ex_1 \cap Ex_2 = \emptyset$.

В первой группе Ex_1 окажется исполнитель работ, являющийся инициатором перезаключения договоров и получающий выигрыш при переходе к новому графику проекта u . Часть его выигрыша будет использована для стимулирования исполнителей работ из второй группы Ex_2 .



Рис.2. Модель согласованного взаимодействия исполнителей работ

Для того чтобы выполнение действий по проекту в соответствии с новым графиком u являлось для множества исполнителей работ Ex_2 доминирующей ситуацией, необходимо использовать компенсаторную систему, при которой инициатор изменений компенсирует им дополнительные затраты, если они согласятся перезаключить договоры:

$$\gamma_{ik}(u, z_k) = \begin{cases} -\Delta c_k(u, u^D), & u_k = z_k, \\ 0, & u_k \neq z_k \end{cases}, \quad i, k \in N, \quad (14)$$

где $\gamma_{ik}(\cdot)$ – побочный платеж от i -го исполнителя работ k -му.

Согласованное взаимодействие исполнителей работ в организационной системе может быть реализовано, если выполняются условия:

$$\forall i \in Ex_1 \quad \psi_i(u, u^D) \geq \sum_{k \in Ex_2} \gamma_{ik}, \quad (15)$$

$$\forall k \in Ex_2 \quad \sum_{i \in Ex_1} \gamma_{ik} \geq -\psi_k(u, u^D). \quad (16)$$

Для оценки целесообразности коллективного решения по переходу к новому графику проекта исполнитель-инициатор, принадлежащий множеству Ex_1 , должен оценить свой выигрыш от изменения сроков выполнения работы Act_{ij} :

$$\psi_{ij}(u, u^D) = \Delta c_{ij}(u, u^D). \quad (17)$$

Исполнители, принадлежащие множеству Ex_2 и выполняющие последующие по графику работы $S(Act_{ij})$, могут оценить проигрыш при перезаключении договоров с учетом величины дополнительных затрат. Суммарное изменение значений целевых функций исполнителей из множества Ex_2 составит:

$$\sum_{Act_{km} \in S(Act_{ij})} \psi_{km}(u, u^D) = \min \left(\Delta c_{km}(u^1, u^D), \left(\Delta c_{km}(u^2, u^D) + \sum_{Act_{st} \in S(Act_{km})} \psi_{st}(u^2, u^D) \right) \right), \quad (18)$$

где график u^1 отвечает условию $t_{ij}^K(u^1) = t_{ij}^K(u^D)$, а график u^2 – условию $t_{ij}^K(u^2) > t_{ij}^K(u^D)$.

Если произвести суммирование целевых функций участников системы после перехода к новому графику, то побочные платежи $\gamma_{ik}(\cdot)$ взаимно сократятся. Согласование интересов исполнителей работ с применением механизма мотивационного управления позволяет осуществить переход к измененному графику выполнения проекта, при котором сумма целевых функций всех участников будет не меньше, чем в исходном состоянии.

Согласованное изменение графика выполнения проекта возможно, если выигрыш от перехода будет превышать величину стимулирующих выплат:

$$\Delta c_{ij}(u, u^D) > \sum_{Act_{km} \in S(Act_{ij})} \psi_{km}(u, u^D). \quad (19)$$

В этом случае существует компенсаторная система стимулирования (14), при использовании которой измененный график выполнения проекта является равновесием в доминантных стратегиях исполнителей работ.

Определение ситуации равновесия игры исполнителей с противоположными интересами в организационной системе предполагает полное знание целевых функций и допустимых множеств действий каждого участника. Однако руководитель проекта практически никогда не располагает точной информацией о предпочтениях отдельных исполнителей. Это предположение существенно ограничивает возможности применения теории игр для формализации взаимодействия исполнителей в процессе согласования интересов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать мультиагентный подход, основанный на коммуникации между участниками процесса согласования при формировании графика выполнения проекта и позволяющий представить каждого исполнителя отдельным интеллектуальным агентом с формализованной процедурой принятия решений. Применение мультиагентного подхода позволяет экспериментально исследовать построенную модель организационной системы и обосновать эффективность применения предложенных механизмов управления. Интеллектуальный агент реализует мотивы экономической активности исполнителя в процессе согласования интересов и является носителем его целевой функции, оценивая ее изменение в процессе перехода к новому графику выполнения проекта.

Согласование интересов базируется на механизме коллективного принятия решений в мультиагентных средах, который предполагает распознавание одним из интеллектуальных агентов целесообразности коллективного решения по изменению графика, формирование множества агентов, интересы которых будут затронуты в случае принятия коллективного решения, определение в процессе переговоров согласованного графика, который не противоречит интересам агентов, совместные действия агентов согласно выработанному графику и принятым обязательствам.

Синтезированная модель мультиагентной системы представлена на рис. 3.

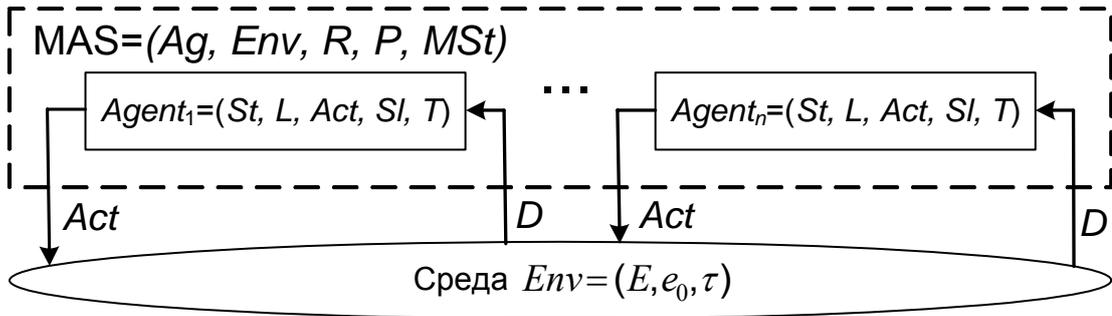


Рис.3. Модель мультиагентной системы

Мультиагентная система определяется кортежем:

$$MAS = \{Agent, Env, R, P, MSt\}, \tag{20}$$

где $Agent = \{Agent_1, Agent_2, \dots, Agent_n\}$ – множество агентов, Env – среда, R – множество отношений агентов, P – протокол коммуникации, $MSt = \{St_1 \times St_2 \times \dots \times St_n\}$ – множество состояний мультиагентной системы.

Коммуникация агентов основана на механизме последовательного принятия решений, заключающемся в обмене предложениями и контрпредложениями, после получения которых возможно установление обратной связи. На основе базового протокола парных переговоров был разработан групповой протокол, допускающий одновременное участие в процессе согласования нескольких агентов. В качестве языка обмена информацией и знаниями был выбран язык KQML.

Интеллектуальный агент описывается кортежем:

$$Agent_i = \{St, L, Act, Sl, T\}, \tag{21}$$

где St – множество состояний агента, L – множество языков коммуникации, Act – множество действий агентов, Sl – множество социальных ограничений, $T : St \times Act \times Sl \rightarrow St$ – функция переходов.

Алгоритм поведения интеллектуального агента в процессе согласования интересов в виде диаграммы состояний (ориентированного графа с вершинами – состояниями и дугами – переходами) представлен на рис. 4.

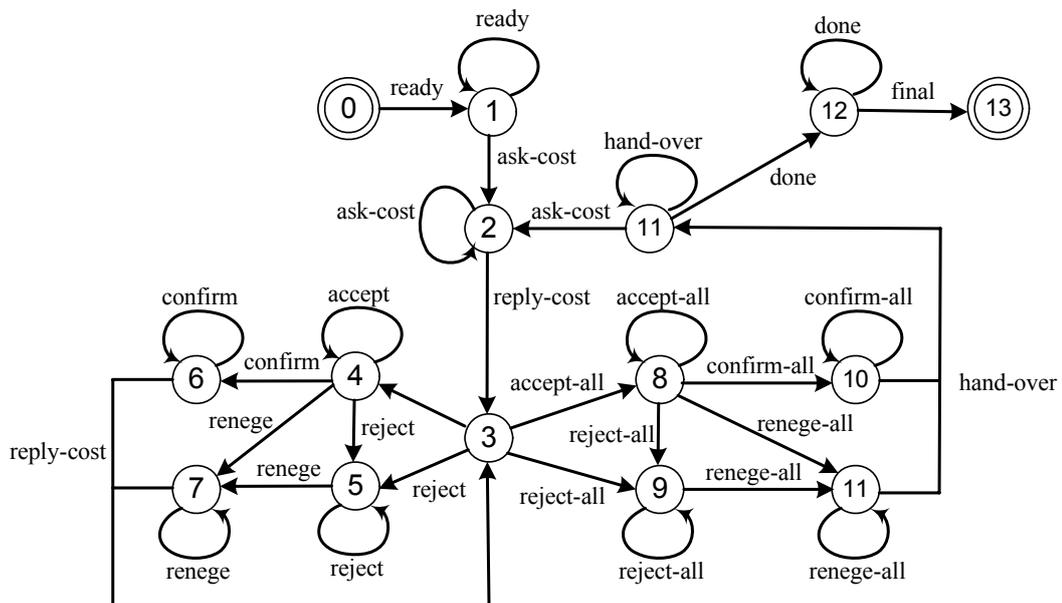


Рис.4. Диаграмма состояний интеллектуального агента

Агент оказывает влияние на среду путем множества действий Act . Среда реагирует на влияние агентов множеством ответных действий D . Среда определяется кортежем:

$$Env = (E, e_0, \tau), \quad (22)$$

где E – множество состояний среды, e_0 – начальное состояние среды, $\tau: E \times Act \rightarrow E$ – функция поведения среды.

В четвертой главе рассматриваются вопросы разработки программной системы поддержки принятия решений «Координатор» на основе мультиагентных моделей. СППР «Координатор» реализована как 32-разрядное Windows-приложение в интегрированной среде разработки мультиагентных моделей Anylogic 5.3.1 с использованием встроенного языка Java.

Применение технологии коммуникации распределенных по сети программных агентов определило разбиение системы «Координатор» на центральный модуль, используемый руководителем проекта, и клиентский модуль, используемый распределенными агентами-исполнителями (рис. 5).

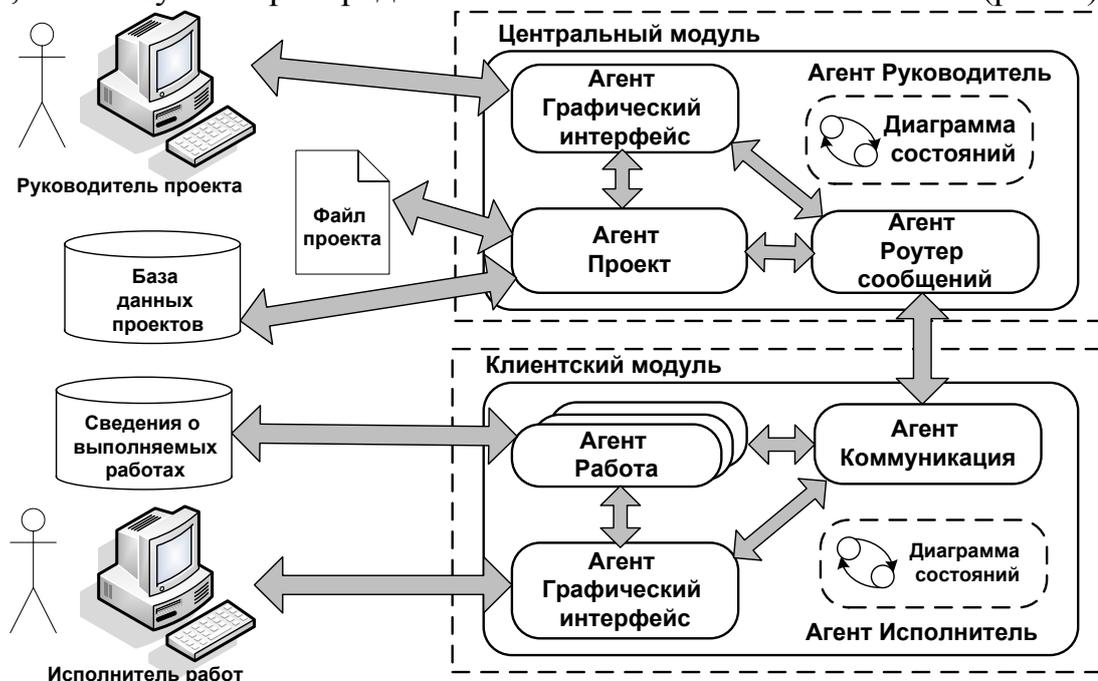


Рис.5. Архитектура мультиагентной СППР «Координатор»

Клиентский модуль включает в себя 5 компонентов.

Агент «Исполнитель» инкапсулирует в себе набор данных об отдельном исполнителе и определяет состояние, в котором он находится в процессе переговоров. Агент хранит информацию об имени исполнителя, реплицированное множество агентов «Работа», агент «Коммуникация», агент «Графический интерфейс» (GUI) и диаграмму состояний (стейтчарт), описывающую состояния и последовательность их изменения.

Агент «Коммуникация» осуществляет общение по сети с роутером сообщений и ответственен за прием и передачу сообщений. Для взаимодействия используется технология вызова удаленных процедур (Remote Method Invocation, RMI), позволяющая удаленно вызывать методы моделей Anylogic, запущенных на других компьютерах, из таких же моделей Anylogic.

Набор *агентов «Работа»* инкапсулирует в себе набор сведений об отдельной работе исполнителя: ее название, дату начала и окончания, текущее состояние в процессе переговоров и последовательность переходов между возможными состояниями. Сведения о последовательности выполнения работ отражаются в наборе предшествующих и последующих работ, включающем в себя данные о названии и исполнителе, выполняющем их.

Диаграмма состояний отражает последовательность переходов между состояниями агента и позволяет описать реакцию на поступившие события. Агент анализирует поступившее из распределенной среды сообщение и, основываясь на его содержании, либо передает сообщение-запрос для изучения внешней среды, либо отвечает с указанием запрошенных сведений.

Агент «Графический интерфейс» позволяет пользователю посредством визуальных компонентов воздействовать со своим агентом, передавать ему исходные данные и отслеживать процесс обмена сообщениями.

Центральный модуль предназначен для управления процессом взаимодействия распределенных по сети агентов и помимо *агента «Графический интерфейс»* и *диаграммы состояний*, аналогичных по назначению соответствующим компонентам клиентского модуля, включает следующие дополнительные компоненты.

Агент «Роутер сообщений» осуществляет регистрацию распределенных агентов, поддерживает связь с ними и производит передачу сообщений между зарегистрированными агентами. Агент контролирует доступность в момент переговоров всех заинтересованных агентов и осуществляет кэширование сообщений для исключения их потери.

Агент «Проект» позволяет взаимодействовать с базой данных проектов или загружать проект из файла специального формата. Агент выбирает сведения о работах, выполняемых по проекту, их логической последовательности, сроках, исполнителях и закрепленных за ними агентах.

Для работы программная система поддержки принятия решений требует наличие ОС Windows XP (или более поздней) с предустановленной виртуальной машиной Java (JVM). Требования к аппаратному обеспечению совпадают с требованиями к ОС Windows XP.

В пятой главе освещаются вопросы, связанные с применением предложенных моделей и разработанной программной системы для моделирования процесса согласования интересов исполнителей при выполнении работ по проекту в области информационных технологий.

Применение программной системы «Координатор» для решения задачи согласования изменений в графике проекта выполнено на примере проекта по разработке мультимедийного приложения с использованием Flash-технологий, реализуемого несколькими независимыми организациями с общим координатором – компанией ООО «E-Style Software House» (г. Брянск).

Большинство работ при производстве мультимедийных приложений целесообразно выполнять с привлечением команды исполнителей, которая может быть территориально распределенной. Особенность выполнения проектов

в данной сфере заключается в том, что каждый вид работы требует от исполнителя набора конкретных узкоспециальных навыков.

Основные характеристики исследуемого проекта: продолжительность – 50 дней, количество исполнителей – 6, количество работ – 28. Оценка возможных затрат по двум работам (А и F) при выполнении в определенные договором сроки оказалась выше, чем при заключении договора. Выполняющие данные работы исполнители могут оценить выигрыш при перезаключении договоров с измененными сроками выполнения работ и принять решение: произвести переход к новому графику с компенсацией дополнительных затрат другим исполнителям или придерживаться первоначального графика.

На основе полученных данных была построена мультиагентная модель с шестью агентами-исполнителями и одним агентом-координатором. В результате моделирования процесса согласования изменений было выявлено, что изменение сроков выполнения работы А менее предпочтительно, чем следование первоначальному графику. По работе F привлечение дополнительных ресурсов для выполнения в срок оказывается дороже, чем сдвиг последующих работ по срокам и переход к новому графику проекта с выплатой компенсаций. Исполнитель D стимулирует исполнителей E и F за согласие перейти к новому графику.

Произведена оценка экономической эффективности управления процессом согласования интересов исполнителей путем расчета суммы дополнительных затрат, понесенных при выполнении работ по договорам с обязательствами с применением и без применения согласования. Выполнение работ по договорам с обязательствами предполагает такую величину штрафа агента за неисполнение договора, что каждый исполнитель предпочитает придерживаться первоначального графика. Сравнение данных, представленных в табл. 1, показало, что согласование изменений в графике проекта позволяет снизить дополнительные затраты исполнителей и повысить эффективность выполнения работ.

Таблица 1

Результаты функционирования системы при изменении внешних условий

Механизм функционирования системы	Дополнительные затраты (руб.)							Продол. (дней)	
	Исп-а	Исп-б	Исп-с	Исп-д	Исп-ф	Исп-г	Руковод		Итого
Согласование путем мультиагентного моделирования	4800	0	0	10900	0	0	0	15700	50
Договоры с обязательствами без согласования	4800	0	0	19200	0	0	0	24000	50

С целью оценки сложности и временных характеристик мультиагентного моделирования были произведены вычислительные эксперименты с использованием моделей пяти проектов с различным количеством работ и различным количеством исполнителей, принимающих участие в них.

Для каждого графика были подготовлены сценарии тестирования, предполагающие наличие одной или нескольких работ, затраты при выполнении которых предположительно окажутся выше, чем планировалось при заключении договоров. На рис. 6 представлены результаты тестирования в виде соотношения числа предполагаемых изменений сроков выполнения работ и времени, потраченного на процесс моделирования взаимодействия агентов.

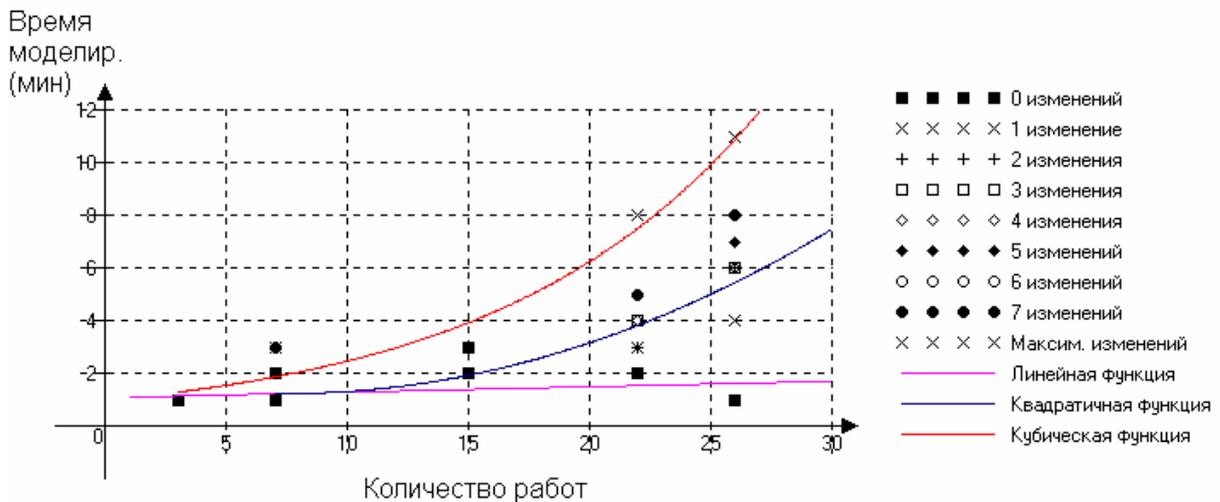


Рис.6. Время моделирования в зависимости от количества работ и изменений

Результаты моделирования согласования интересов исполнителей работ по проекту использованы в системе управления ООО «E-Style Software House» в 2010-2011 гг.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На основании проведенного диссертационного исследования решена задача создания математического и программного обеспечения управления процессом согласования интересов исполнителей работ по проекту, имеющая существенное значение для развития теории и практики управления в социальных и экономических системах, что подтверждается следующими выводами и результатами:

1. На основе анализа существующих подходов к управлению процессом согласования интересов исполнителей работ по проекту установлено, что задача нахождения согласованного графика выполнения проекта и соответствующего ему механизма мотивационного управления, обеспечивающего каждому участнику проекта выигрыш, является актуальной, и для ее решения целесообразно применение методологии мультиагентного моделирования.
2. Разработана методика согласования интересов исполнителей с применением механизма мотивационного управления, позволяющая скоординировать действия участников системы и повысить эффективность выполнения работ по проекту.
3. Разработана математическая модель согласованного взаимодействия исполнителей при изменении графика выполнения проекта, учитывающая формализованные особенности процесса управления проектом, логическую

последовательность выполнения работ, а также общие для всех участников проекта критерии эффективности.

4. Предложена методика интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений с учетом описанных критериев разрабатываемого согласованного графика, опирающаяся на экономические аспекты управления проектами и мультиагентную парадигму искусственного интеллекта. Применение данной методики позволит своевременно согласовать между исполнителями возможные изменения в параметрах договоров и избежать реактивных и не оптимальных решений.
5. Разработано алгоритмическое обеспечение задачи управления и поддержки принятия решений в процессе согласования изменений, основанное на принципах взаимодействия агентов при выработке измененного графика выполнения проекта и дающее возможность экспериментально исследовать построенную модель организационной системы и обосновать эффективность применения предложенных механизмов управления.
6. Разработано специализированное программное обеспечение поддержки принятия решений, реализующее предложенные подходы, модели и алгоритмы, применение которого способствует повышению эффективности функционирования системы исполнителей и превентивному решению проблем.
7. Предложена методика применения математического и программного обеспечения для решения задачи управления согласованием изменений графика проекта в области информационных технологий. Применение данной методики в процессе разработки мультимедийного приложения позволило снизить суммарные дополнительные затраты исполнителей на 35% и повысить общую эффективность выполнения работ по проекту.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Паршиков, П.А. Применение агентного моделирования в управлении ресурсами на производстве / П.А.Паршиков, А.К.Буйвал // Материалы 58-й научной конференции профессорско-преподавательского состава. – Брянск: БГТУ, 2008. – С. 310-311.

2. Гулаков, В.К. Моделирование координации субподрядчиков путем коммуникации программных агентов с компенсацией невыгодных соглашений и передачей полезности / В.К.Гулаков, А.К.Буйвал, П.А.Паршиков // Сборник докладов IV всероссийской научно-практической конференции по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2009). – С.-Пб.: ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2009. – С. 235-240.

3. **Гулаков, В.К. Автоматизация расчета оптимального плана по управлению запасами на складах / В.К.Гулаков, П.А.Паршиков // Вестн. БГТУ. – 2007. – №3. – С. 78-83.**

4. Паршиков, П.А. Применение мультиагентного подхода для распределенной координации работ субподрядчиков в рамках проекта / П.А.Паршиков // Тезисы докладов II научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов «Информационные системы и технологии 2009». – Обнинск: ИАТЭ, 2009. – С. 107-108.

5. Гулаков, В.К. Актуальность применения распределенной координации для управления сроками выполнения проекта / В.К.Гулаков, П.А.Паршиков // Состояние, проблемы и перспективы автоматизации технической подготовки производства на промышленных предприятиях: Материалы международной научно-практической конференции / под ред. В.И.Аверченкова. – Брянск: БГТУ, 2009. – С. 89.

6. Паршиков, П.А. Формализация процесса координации субподрядчиков на основе протокола мультиагентных переговоров / П.А.Паршиков // Материалы Региональной научной конференции студентов и аспирантов «Достижения молодых ученых Брянской области». – Брянск: БГТУ, 2010. – С. 263-265.

7. Гулаков, В.К. Распределенный подход как метод оперативного управления проектом / В.К.Гулаков, А.К.Буйвал, П.А.Паршиков // Вестн. БГТУ. – 2010. – №1. – С. 54-63.

8. Гулаков, В.К. Мультиагентное моделирование координации распределенных работ / В.К.Гулаков, А.К.Буйвал, П.А.Паршиков // Математическое моделирование и информационные технологии: сб. науч. тр. / под ред. В.К. Гулакова и А.Г. Подвесовского. – Брянск: БГТУ, 2009. – С. 77-91.

9. Паршиков, П.А. Имитационное мультиагентное моделирование согласованного изменения графика выполнения проекта системой агентов-субподрядчиков / П.А.Паршиков // Материалы Международной научно-практической конференции «Достижения молодых ученых в развитии инновационных процессов в экономике, науке, образовании». – Брянск: БГТУ, 2010. – С. 229-231.

10. Гулаков, В.К. Математическое обеспечение управления процессом согласования интересов субподрядчиков при выполнении работ по проекту / В.К.Гулаков, А.К.Буйвал, П.А.Паршиков // Вестн. БГТУ. – 2010. – №4. – С.75-81.

11. Паршиков, П.А. Мультиагентная система поддержки принятия решений «Координатор» / П.А. Паршиков, В.К. Гулаков, А.К. Буйвал. – М.: ЦИТиС, 2011.

Паршиков Павел Анатольевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СОГЛАСОВАНИЯ ИНТЕРЕСОВ
ИСПОЛНИТЕЛЕЙ РАБОТ ПО ПРОЕКТУ В ОБЛАСТИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 18.01.11. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Офсетная печать. Печ.л. 1. Т.100 экз. Заказ 2. Бесплатно.

*Брянский государственный технический университет,
241035, г. Брянск, бульвар 50-летия Октября, 7.
Лаборатория оперативной полиграфии БГТУ, ул. Институтская, 16.*