

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВОМ*

**К. А. Аксенов, Ван Кай, А. С. Антонова, О. П. Аксенова,
А. А. Липодаева, Е. Ф. Смолий (Екатеринбург)**

Строительная отрасль является динамично развивающейся областью, требующей применения новых технических решений. Первые лица строительных компаний и холдингов, а также лица, принимающие решения (ЛПР), сталкиваются в процессе принятия решений в сфере управления с многокритериальным выбором между различными альтернативами по обеспечению выполнения в срок всех этапов строительных работ. Эффективное планирование строительных работ является залогом достижения заданных показателей продолжительности строительства и стоимости возводимых объектов. Динамичный характер строительного производства и окружающей среды, риски возникновения непредвиденных ситуаций требуют от ЛПР быстрого реагирования и гибкой корректировки разработанных планов. Разработка системы поддержки принятия решений (СППР) в сфере управления строительной компанией (холдингом) является актуальной в связи с возрастающей потребностью в автоматизации труда ЛПР по планированию и отслеживанию хода строительных работ.

Технология гибридных агентов мультиагентных процессов преобразования ресурсов

В процессах принятия решений и управления строительством используются проблемно-ориентированные системы сетевого планирования, такие как MS Project и TimeLine, также на практике встречается применение систем имитационного моделирования (СИМ), в которых модель настраивается под конкретные нужды или существуют готовые шаблоны формализации проблемной области (ARIS с модулем eM-Plant, Arena, AnyLogic, BPsim). Автоматизация процесса принятия решений в управлении строительством на основе ситуационных моделей сетевого планирования описана в работе [1].

Задача управления строительными работами подразумевает под собой выполнение двух подзадач: 1) планирование сроков работ с распределением ресурсов (трудовых собственных и субподрядных, материально-технических собственных и арендованных, денежных собственных и инвестированных) по отдельным работам; 2) отслеживание в процессе выполнения работ изменений внешней и внутренней среды, оперативную корректировку плана работ для достижения их эффективного исполнения с учетом временных, финансовых и ресурсных ограничений.

Решение выделенных задач можно рассматривать под разными углами. Традиционно ЛПР используют при планировании работ метод PERT (Project Evaluation and Review Technique) – технику оценки и анализа проектов. В рамках данного метода ЛПР осуществляет с помощью специализированных инструментов (например, MS Project, TimeLine) построение диаграмм взаимосвязи событий и работ, характеризующихся длительностью, стоимостью и необходимыми ресурсами. Примерами подобных диаграмм служат сетевые графики и диаграммы Ганта. На основе метода критического пути с помощью сетевых графиков ЛПР выделяют «узкие места» в планировании строительных работ и осуществляют генерацию альтернативных вариантов смещения работ с целью устранения «узких мест», таких как перегрузка собственных ресурсов, превышение лимита стоимости отдельных работ, в том числе вследствие использования большого объема субподряда. В дальнейшем, полученные варианты планирования реализуются в

* Работа выполнена в рамках государственного контракта 02.740.11.0512.

ряд сетевых диаграмм взаимосвязи работ и событий, анализируя которые ЛПР выделяют наиболее эффективное решение с учетом существующих ограничений.

Недостатком подобного подхода к планированию строительных работ является частичная автоматизация труда ЛПР по построению сетевых графиков/диаграмм Ганта и выявлению «узких мест» в планировании, в то время как существенный объем работ по генерации альтернативных вариантов планирования и выбору наиболее эффективного варианта осуществляется ЛПР вручную на основании квалификации, опыта и применяемых эвристик учета различных факторов среды. В связи с этим рассмотрим другой подход к решению данной задачи – используем имитационное мультиагентное моделирование.

Формализуем процессы управления строительными работами с помощью модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) [2], которая позволяет в динамике оценить показатели выполнения и стоимость процессов (время выполнения, наличие дублирующих функций, стоимость процесса, затраты на заработную плату сотрудников и т.д.), а также оценить показатели эффективности процессов (рентабельность, отношение времени исполнения ко времени ожидания, отношение фактического времени исполнения к плановому времени). Применение мультиагентного моделирования обеспечивает с помощью базы знаний агентов формализацию модели ЛПР и накопленных сценариев решения задач в области управления строительными работами.

На основе архитектуры гибридного агента МППР можно создавать следующие виды агентов для решения различных прикладных задач:

- **реактивные агенты**, поведение которых определяется реактивной подсистемой и описывается только диаграммой деятельности (конечным автоматом). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР;

- **реактивно-интеллектуальные агенты** – их поведение определяется реактивной подсистемой и описывается только продукционной базой знаний (тактической). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР, описания моделей ЛПР, управляющих процессами;

- **интеллектуальные агенты** – поведение и логика их работы определяется только планирующей подсистемой, и знания хранятся в фреймовой базе знаний (стратегической). Данный вид агентов используется для построения проблемно ориентированных интеллектуальных систем на основе аппарата фреймовых экспертных систем (задачи диагностики, проектирования, построения советующих ЭС и систем технико-экономического проектирования);

- **гибридные агенты**, полностью реализующие функциональность архитектуры гибридного агента МППР. Данный вид агентов используется для построения сложных, интеллектуальных систем управления и планирования, контур которых состоит из двух элементов: 1) динамической модели процесса управления и 2) блока (модуля), реализующего поиск решения многопараметрической задачи и выработки (генерации) управляющего воздействия на модель процесса управления.

Применение технологии гибридных агентов МППР для формализации процессов управления строительными работами позволяет автоматизировать функции ЛПР по генерации альтернативных вариантов решения различных задач: поиску инвесторов и поставщиков материалов, выбору субподрядных организаций, обнаружению и ликвидации «узких мест» в планировании. Использование технологии гибридного агента предполагает описание предметной области с помощью различных по функциональности программных продуктов, интегрированных в единую систему поддержки принятия решений: СДМС BPsim.MAS и системы технико-экономического проектирования (ТЭП) BPsim.MSS [3]. Система ТЭП BPsim.MSS реализует технологию интеллекту-

альных агентов (ИА), обеспечивающую пользователя инструментом разработки проблемно-ориентированных интеллектуальных систем. Технология ИА позволяет автоматизировать труд ЛПП по решению задач анализа и синтеза организационно-технических систем, таких как реинжиниринг бизнес-процессов [4], управление проектами, управление строительными работами.

За основу динамической модели процессов проектирования и строительства, реализованной в BPsim.MAS, взята модель МППР, которая обеспечивает поддержку планирования работ и оценки различных проектов застройки. Модель поиска решений, реализованная в BPsim.MSS, лежит в основе поиска эффективных решений многокритериальных задач управления строительными работами: управления текущими процессами строительства и проектирования, принятия решений об участии в тендере на строительство. В результате интеграции предложенных моделей достигается комплексная автоматизация труда ЛПП по управлению строительством.

Разработка моделей строительного холдинга «Wan Bao»

В ходе обследования предметной области были выявлены следующие этапы управления строительными работами: управление текущими работами, формирование бизнес-плана, отражающего предполагаемые экономические показатели деятельности холдинга при определенных начальных условиях, получение кредита на строительство, участие в тендере на строительство, планирование проектных и строительных работ, осуществление продажи/сдачи в аренду площадей возведенных объектов.

В инструменте BPsim.MSS были описаны основные классы, отражающие содержание баз данных холдинга по поставщикам материалов, характеристикам земельных участков, субподрядным организациям, структуре холдинга, кредитным организациям и т.д. На основании разработанной диаграммы классов был спроектирован ИА бизнес-планирования, обеспечивающий в автоматизированном режиме генерацию альтернативных вариантов бизнес-планов строительных работ. ЛПП осуществляет оценку предложенных планов и выбор более выгодного с экономической точки зрения плана.

Начальные условия выбранного бизнес-плана подаются на вход разработанной в BPsim.MAS имитационной модели проектных и строительных работ. Модель предназначена для оценки влияния управляющих решений на динамические характеристики процессов проектирования и строительства холдинга «Wan Bao». К данным характеристикам относятся: фактическая стоимость процессов, перераспределение ресурсов (денежных, материальных и трудовых) между процессами, простои в работах, перегрузки отдельных процессов, выявленные процессы, требующие подключения субподрядных ресурсов, фактические суммарные объемы рабочей силы и материалов, фактическая длительность процессов. Оценка характеристик среды осуществляют в модели интеллектуально-реактивные агенты.

Рассмотрим описание базы знаний (БЗ) следующих агентов: агента операций AOp , отвечающего за выявление в модели операций, требующих подключения субподрядчика; агента распределения AP , реализующего захват заявки на выполнение операции и распределение ресурсов холдинга $Rxold$ и субподрядных ресурсов в процессе выполнения операции Op . Описанные атрибуты заявки z на выполнение операций представлены в табл. 1.

В ходе разработки БЗ агентов были использованы следующие операторы работы с заявками: $Select(z, Node)$ – заявка z захвачена узлом $Node$; $Select(z, Node) <> 1$ – заявка z не захвачена узлом $Node$. Также при описании БЗ были использованы переменные, сопоставляющие время имитации и календарное время: $iRes43$ – текущий день, $iRes44$ – текущий месяц. Описание БЗ агентов AOp и AP и операции Op приведено в табл. 2.

Таблица 1

Определение атрибутов заявки z на выполнение операции Op

Обозначение	Описание
z_p	Требуемые трудозатраты на выполнение операции Op
z_s	Трудозатраты по операции Op , отнесенные на субподряд
z_{time}	Оставшееся время выполнения операции Op
z_{pr}	Признак привлечения субподряда для выполнения операции Op : 0 – не привлекаем субподряд; 1 – привлекаем субподряд
z_{owner}	Узел-владелец заявки z (агент AOp или AP , операция Op , следующий узел модели $NextNode$)
z_d	День начала операции Op
z_m	Месяц начала операции Op

Таблица 2

БЗ агентов операции и распределения и описание узла-операции

База знаний агента операции AOp		
Описание ситуации	Условие IF	Условие THEN
Субподряд для выполнения операции не требуется, достаточно своих ресурсов	$Select(z, AOp)$	$R_{холд} := R_{холд} - z_p$
	$(iRes43 = z_d) \& (iRes44 = z_m)$	$z_{pr} := 0$
	$z_p \leq R_{холд}$	$z_{owner} := "Op"$
Субподряд для выполнения операции требуется, недостаточно своих ресурсов	$Select(z, AOp)$	$z_s := z_p - R_{холд}$
	$(iRes43 = z_d) \& (iRes44 = z_m)$	$R_{холд} := 0$
	$z_p > R_{холд}$	$z_{pr} := 1$
		$z_{owner} := "Op"$
Условия запуска и ресурсы на выходе операции Op		
Длительность	Условия запуска	Ресурсы на выходе
z_{time}	$Select(z, Op)$	$R_{холд} := R_{холд} + z_p$
	$z_{pr} = 0$	$z_{owner} := "NextNode"$
База знаний агента распределения AP		
Описание ситуации	Условие IF	Условие THEN
Захват агентом AP заявки с требованием субподряда при условии незанятости агента	$Select(z, AP) < > 1$	$z_{owner} := "AP"$
	$Select(z, Op)$	
	$z_{pr} = 1$	
Время выполнения операции закончилось	$Select(z, AP)$	$R_{холд} := R_{холд} + z_p - z_s$
	$z_{time} = 0$	$z_{owner} := "NextNode"$
Время выполнения операции не закончилось и субподряд уже не требуется	$Select(z, AP)$	$z_{pr} := 0$
	$z_{time} > 0$	$R_{холд} := R_{холд} - z_s$
	$R_{омд} \geq z_s$	$z_{owner} := "Op"$
Время выполнения операции не закончилось и субподряд еще требуется	$Select(z, AP)$	$z_{time} := z_{time} - 1$
	$z_{time} > 0$	
	$R_{холд} < z_s$	

Проведение эксперимента с моделью строительного холдинга «Wan Bao»

Имитационный эксперимент с моделью строительного холдинга проводился со следующими начальными условиями и упрощениями: 1) осуществление строительства 11 объектов с последующей продажей возведенных площадей; 2) осуществление строительства целиком на деньги кредитных организаций с учетом выплаты беспроцентного кредита; 3) наличие в собственности пригодного для строительства земельного участка; 4) наличие на складе всех необходимых для строительства материалов; 5) расчет прибыли без учетов налогов.

Результаты проведенных с моделью МППР экспериментов сохраняются в MS Project и MS Excel.

Расходы проекта на конец имитационного эксперимента достигли значения $3,4 \cdot 10^9$ юаней. Сумма средств на счете ко времени окончания моделирования достигла значения $6,76 \cdot 10^9$ юаней.

Данные эксперимента согласуются со статистическими данными работы строительного холдинга «Wan Bao» на протяжении временного интервала в 5 лет (с июня 2005 г. по август 2010 г.).

Выводы

Применение СППР на основе технологии гибридных агентов МППР в управлении строительным холдингом обеспечивает автоматизированное решение ЛПР следующих задач анализа и синтеза сложных организационно-технических систем: формирование бизнес плана работ с помощью разработанного в BPsim.MSS ИА бизнес-планирования; планирование проектных и строительных работ на основании оценки динамических характеристик процессов при проведении экспериментов с разработанной имитационной моделью в BPsim.MAS, включая оценку объема субподрядных работ. Интеграция технологий диалоговых экспертных систем и имитационного мультиагентного моделирования обеспечивает непрерывную комплексную поддержку принятия решений в сфере управления строительным холдингом.

Литература

1. **Старцев М. А.** Интегрированная информационная система для автоматизированного управления процессом капитального строительства на промышленном предприятии на основе иерархических ситуационных моделей сетевого планирования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук – 05.13.06. Уфа: Уфим. гос. авиац. техн. ун-т, 1999. 16 с.
2. **Аксенов К. А. Гончарова Н. В.** Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.
3. **Аксенов К. А., Шолина И. И., Сафрыгина Е. М.** Разработка и применение объектно-ориентированной системы моделирования и принятия решений для мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 80. С. 87–97.
4. **Аксенов К. А., Антонова А. С., Спицина И. А.** Анализ и синтез процессов преобразования ресурсов на основе имитационного моделирования и интеллектуальных агентов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. № 1 (115). С. 13–19.