
РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА УЗКИХ МЕСТ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**К.А. Аксенов, Ван Кай, О.П. Аксенова (Екатеринбург)****Введение**

Под управлением проектом будем понимать деятельность, направленную на реализацию проектов с максимально возможной эффективностью при заданных ограничениях по времени, денежным средствам, трудовым и материальным ресурсам, а также качеству конечных результатов проекта [1]. Для решения задачи планирования портфеля проектов (объектов строительства) в данной работе используется мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов (МППР) и программы семейства VPsim [2]. Рассмотрим основные понятия процессов преобразования ресурсов (ППР).

Ресурс – количественная мера возможности выполнения какой-либо деятельности. Ресурс – то, что можно использовать, тратить; возможная продолжительность эксплуатации машины.

Под ППР понимается непрерывная или дискретная операция преобразования входа (ресурсов, необходимых для выполнения процесса) в выход (продуктов – результатов выполнения процесса). Преобразование осуществляется с помощью средств [2].

Потребляемые ресурсы (входы) – ресурсы, которые используются в процессе только один раз. **Средства** не потребляются, а используются в процессе преобразования, они не уменьшаются в процессе их использования. **Выходы** формируются в процессе преобразования [2].

Подход мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) [2] используется для исследования бизнес-процессов и организационно-технических систем и предлагает интеграцию следующих методов: имитационного, экспертного, ситуационного и мультиагентного моделирования.

Множество элементов модели МППР представляет собой набор: $MPPR = \{ Goal, Res, Mech, Order, Op, Agent \}$, где *Goal* – множество целей модели; *Res* – множество ресурсов; *Mech* – множество средств; *Order* – множество заявок; *Op* – множество операций модели; *Agent* – множество агентов модели, содержащих *AgentGoal* (множество целей агентов) и *AgentSolution* (база знаний).

Модель МППР была представлена в форме многоканальной системы массового обслуживания в [3]. В качестве теоретической основы метода анализа узких мест взят операционный анализ вероятностных сетей [4-5]. При поиске узких мест анализируются следующие параметры мультиагентной модели:

- 1) коэффициент использования операции U_{Op_cp} , средства U_{Mech_cp} , агента U_{Agent_cp} ;
- 2) среднее время заявки в очереди к операции, агенту;
- 3) простой операции из-за отсутствия средств P_{MechOp} , простой операции из-за отсутствия входных ресурсов P_{ResOp} .

Для оценки динамики работы операции *Op* и агента *Agent* также анализируется средняя очередь заявок к операции Q_{Op_cp} и к агенту Q_{Ag_cp} . Аналогично оценке очереди проводится оценка среднего состояния ресурсов.

Разработан алгоритм проведения реинжиниринга модели МППР (анализа и структурного синтеза модели). Применение операционного анализа вероятностных сетей к мультиагентной модели позволяет также решить задачу уменьшения количества экспериментов, проводимых с моделью МППР, путем построения модели системы массового обслуживания (СМО) на основе результатов экспериментов модели МППР, с целью быстро-

го решения задачи нахождения среднего количества работающих устройств (средств, согласно терминологии МППР).

Принципы построения имитационной модели портфеля проектов

Определены следующие принципы построения имитационных моделей для предметных областей управления проектами и строительства:

- при построении ИМ проекта или портфеля проектов необходимо классифицировать все операции по трем типам приоритетов: 1) наивысший – для операций критического пути; 2) средний – для операций, предшествующих операциям критического пути; 3) низший – для остальных операций;

- применение моделей субподряда позволяет снять узкие места на средствах;

- если предметная область допускает использование прерываний операций, то при построении модели у операций могут быть использованы относительный и абсолютный приоритет, иначе – у операций устанавливается запрет прерываний;

- применение «выталкивающей» стратегии при моделировании проектных работ (FIFO) и алгоритмов балансировки средств.

Данные принципы построения ИМ и требования предметной области хорошо согласуются с выводами Дэйвиса: «... правило упорядочения, в соответствии с которым первой выполняется работа с наименьшим резервом (или эквивалентное правило минимизации самого позднего времени начала), в среднем дает наилучший результат».

Сравнение предлагаемого метода и классического сетевого метода

Для анализа узких мест в управлении проектами и строительстве наиболее часто применяется сетевая модель (сетевой график), которая вместе с методом критического пути (англ. СРМ [6]) позволяет определить резервы времени выполнения отдельных работ. Применение ИМ субподряда приводит к эффекту наискорейшего «проталкивания» работ. Результаты применения метода СРМ и МППР на примере цепочек параллельно-последовательных работ показаны на рис. 2.

Рассмотрим случай параллельного выполнения во времени двух проектов. Для случая, когда параллельно во времени могут выполняться 2 работы и наивысший приоритет назначается работам, относящимся к критическому пути (причем эти приоритеты для разных проектов (объектов) одинаковы), возможны следующие ситуации, связанные со временем начала проектов (рис. 3 – проект «Объект 2» начинается в конце критического пути «Объект 1», рис. 4 – проект «Объект 2» начинается сразу после окончания работы Ор2 проекта «Объект 1»).

Как видно из рисунка 4, применение «выталкивающей» стратегии имеет важное значение и позволит избегать подобных ситуаций для задач управления и планирования портфелей проектов. Вариант портфеля проектов на рис. 3 (с суммарной длительностью 60), отличается на 2 от варианта представленного на рис. 4 (суммарная длительность 58). Если в модель портфеля проектов ввести штрафные санкции за увеличение сроков работ по отдельному проекту, то возможны ситуации (определяемые размерами штрафов), когда вариант на рис. 3 будет более экономичен по сравнению с вариантом на рис. 4.

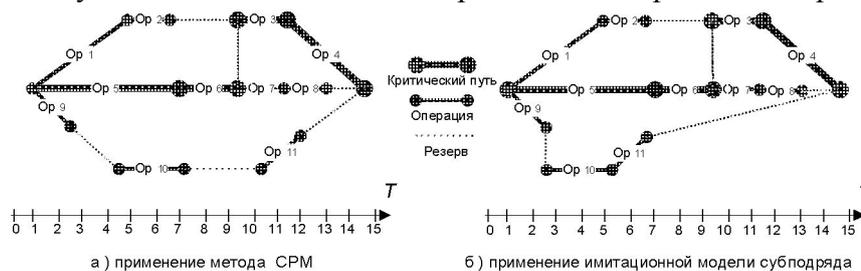


Рис. 2. Применение методов СРМ и ИМ субподряда

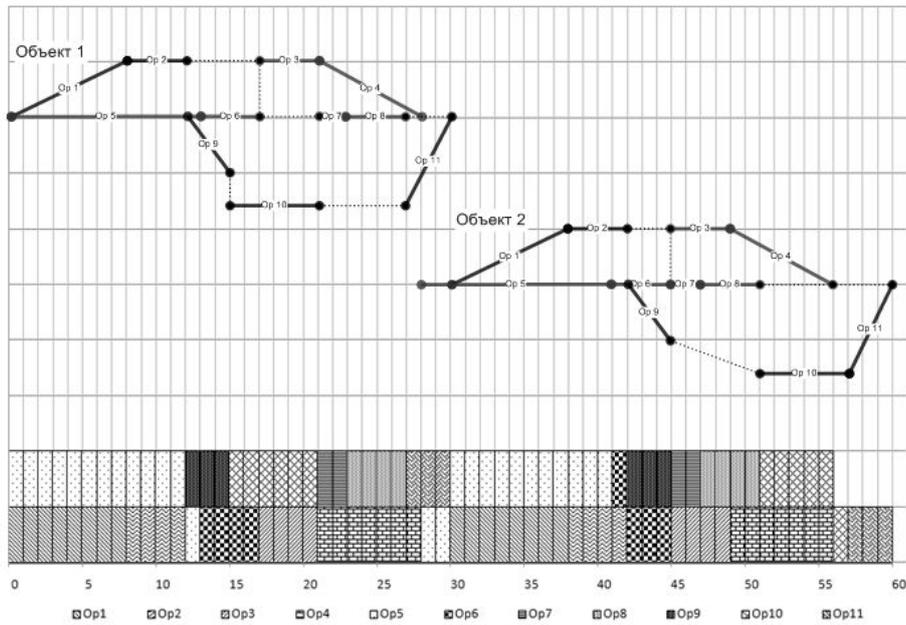


Рис. 3. Проект «Объект 2» начинается в конце критического пути «Объект 1»

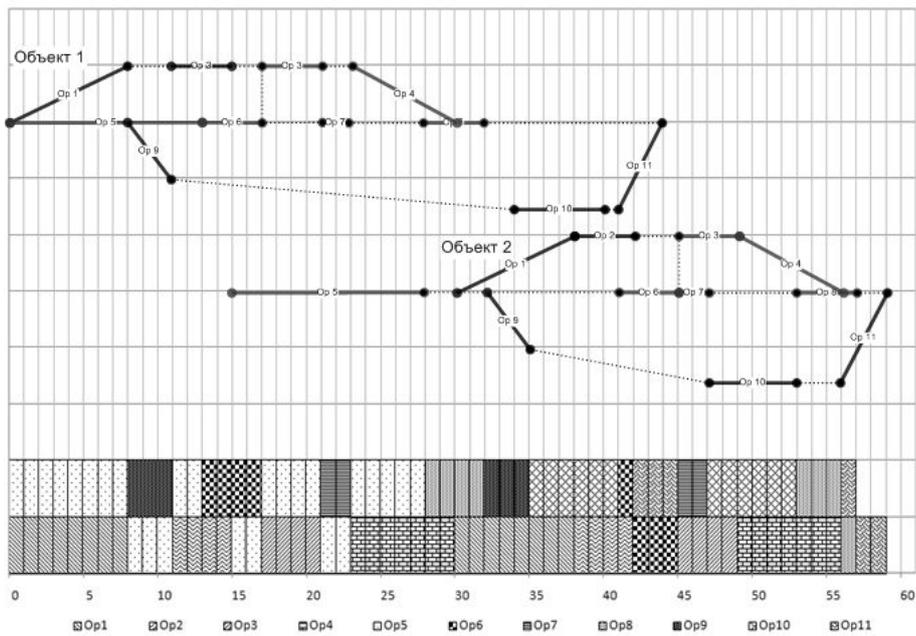


Рис. 4. Проект «Объект 2» начинается сразу после окончания работы Op2 проекта «Объект 1»

Важно сделать замечание о разнице понятия «ресурс» сетевой модели и модели МППР. Так, в сетевой модели под «ресурсом» понимаются трудовые ресурсы и технические средства, что по терминологии МППР соответствует «средству». Однако сетевая модель не описывает работу с «потребляемыми» ресурсами и не позволяет описать модель управления запасами ресурсов и модель поставок, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на ход строительных работ. Новая модель позволяет кроме графика использования средств построить график потребления ресурсов для всего портфеля проекта.

Также стоит отметить существование для строительства специфических потребляемых ресурсов с очень коротким сроком полезного потребления, к которым относится

бетон, обладающий высокой скоростью схватывания. С целью учета ограниченности средств (как собственных, так и субподрядных) оба подхода поддерживают решение задачи балансировки ресурсов (сглаживания функции потребления средств). Результаты сравнения методов представлены в табл. 1.

Таблица 1

| № | Критерий сравнения | СРМ | МППР |
|-----|---|-----|------|
| 1. | Учет использования средств | + | + |
| 2. | Учет потребления ресурсов | НЕТ | + |
| 3. | Учет поставок ресурсов | НЕТ | + |
| 4. | Учет времени жизни потребляемого ресурса | НЕТ | + |
| 5. | Учет субподряда | + | + |
| 6. | Автоматическая генерация и параметризация объектов портфеля | НЕТ | + |
| 7. | Балансировка средств | + | + |
| 8. | Формирование сетевого графика | + | + |
| 9. | Формирование графика использования средств | + | + |
| 10. | Нахождение критического пути | + | + |
| 11. | Оценка резерва времени для каждой работы | + | + |
| 12. | Формирование графика потребления ресурсов | НЕТ | + |

С применением системы BPsim и нового метода планирования была разработана модель строительного холдинга CHINA WANBAO (задача строительства 11 многоэтажных зданий) [3, 7-8].

Выводы

Задача планирования строительных работ и ее программная реализация решена с использованием гибридного подхода в результате применения мультиагентного имитационного моделирования, метода критического пути и операционного анализа вероятностных сетей. Проведено сравнение разработанного метода РБП с методом критического пути. Результаты сравнения показали эффективность нового метода. Реинжиниринг мультиагентной модели строительного холдинга позволил уменьшить среднее время ожидания в узлах. Применение метода привело к уменьшению сроков выполнения строительства на 5,94% (81 день) и повышению загрузки средств.

Работа выполнена в рамках договора № 02.G25.31.0055 (проект 2012-218-03-167).

Литература

1. **Аксенов К.А., Антонова А.С.** Применение имитационного моделирования и технологии интеллектуальных агентов для решения задачи управления проектами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – № 4 (128). Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург. – С. 27–36.
2. **Аксенов К.А.** Теория и практика средств поддержки принятия решений: монография // Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2011. – 341 с.
3. **Ван Кай, Аксенов К.А., Аксенова О.П., Киселева М.В.** Использование аппарата операционного анализа вероятностных сетей для определения среднего количества приборов обслуживания мультиагентной модели // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/103-6290> (дата обращения: 22.05.2012).
4. **Литвин В.Г., Аладышев В.П., Винниченко А.И.** Анализ производительности мультипрограммных ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 159 с.

5. **Томашевский В., Жданова Е.** Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
6. Исследование операций: том 2: под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – 677 с.
7. **Аксенов К.А., Аксенова О.П., Ван Кай.** Задачи свертки и развертки мультиагентной модели // Теория графов и приложения. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – С. 4–16.
8. **Aksyonov K.A., Bykov E.A., Wang Kai, Aksyonova O.P.** Application of simulation-based decision support systems to optimization of construction corporation processes. Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012). – Berlin, Germany. – 2012; URL: <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos172.pdf>