

УДК 681.3.06

СЕТЬ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЕКТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВИРТУАЛЬНЫХ АУКЦИОНОВ*П.И. Марычев, С.П. Орлов*Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассматривается проблема распределения сложных проектов по группам исполнителей (акторам). С целью эффективного управления и оптимального использования ресурсов проводится виртуальный аукцион со многими итерациями, в течение которых акторы предлагают не только контрактную цену, но и календарно-сетевой график выполнения проекта в виде диаграммы Ганта. Предложено использовать имитационные модели на сетях Петри для анализа выполнимости и синхронизации проектов. Сформулированы правила перехода от диаграммы Ганта к сетевой модели Петри, которая учитывает взаимные связи между различными проектами. Приведен пример модели проекта на сети Петри. Предложенная модель может быть использована в рамках теоретико-игрового моделирования виртуального аукциона для описания взаимной информированности акторов о своих возможностях.

Ключевые слова: управление проектами, системный анализ, сети Петри, виртуальный аукцион, имитационное моделирование.

В современных крупных компаниях транспорта нефти и нефтепродуктов реализуются сложные инновационные проекты, цель которых – повысить эффективность производства. Эти проекты имеют комплексный характер, и практика показывает, что при централизованном управлении возникает много сложностей при их выполнении. Существует ряд методологий управления сложными процессами в матричных организационных структурах [1]. В работе [2] предложены виртуальные аукционы для определения состава исполнителей при матричной организации компании. Рассмотрена модель P2P взаимодействия при проведении виртуальных аукционов [3]. Проблема заключается в том, что выполнение сложного комплексного проекта напрямую зависит от своевременного и качественного выполнения отдельных проектов. В свою очередь, эти проекты также содержат множество задач и должны выполняться в заданные сроки. В то же время динамика выполнения проектов и их взаимосвязь в существующих системах управления проектами отслеживаются недостаточно. При этом проведение виртуальных аукционов может привести к ситуации, когда отдельные компоненты сложного проекта не будут реализованы в заданные сроки либо результаты не будут удовлетворять исходным требованиям. Для решения этой проблемы предлагается использовать модель на основе сети Петри. Такой подход к управлению проектами был развит в работе [4]. В статье описывается сетевая модель Петри, которая позволяет проводить имитационное моделирование процесса проектирования в P2P структуре при распределении проектов путем виртуальных аукционов.

Павел Иванович Марычев, аспирант.

Сергей Павлович Орлов (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Вычислительная техника».

Виртуальные аукционы при распределении проектов

Будем использовать многоакторную P2P модель, в которой обеспечивается наилучшее взаимодействие исполнителей (акторов) при выполнении проектов в компании с матричной структурой управления [3].

Формальное описание проекта представляется следующим образом:

$$P = (Z_p, T_p, C_p),$$

где $Z_p = \{z_1, \dots, z_{N_z}\}$ – работы; $T_p = \{(\tau_1, \Delta\tau_1), \dots, (\tau_{N_z}, \Delta\tau_{N_z})\}$ – множество заданных сроков окончания работ и длительностей их выполнения; $C_p = \{c_1, \dots, c_{N_z}\}$ – стоимости выполнения каждой работы.

В результате первоначального планирования проекта определяется диаграмма Ганта, согласно которой задаются сроки и последовательность выполнения работ:

$$G = (Z_p, T_p, V_G),$$

где V_G – связи между работами.

Определим P2P взаимодействие в организационной матричной структуре как

$$S_{P2P} = (U_{P2P}, V_{P2P}, F_{P2P}),$$

где U_{P2P} – множество акторов, V_{P2P} – множество одноранговых связей между ними, $F_{P2P}: U_{P2P} \times U_{P2P} \rightarrow V_{P2P}$ – функция, определяющая организацию связей между акторами.

Целью взаимодействия акторов в P2P сети является обеспечение своевременного решения поставленных проектных заданий с минимальной стоимостью:

$$\sum_{i=1}^{N_z} c_i \rightarrow \min; \quad \max(\tau_i) < T_z, \quad (1)$$

где $c_i \in C_p$ – стоимость выполнения работы z_i ; τ_i – время ее завершения; N_z – количество работ; T_z – директивное время выполнения работы z_i .

Каждый актор после получения проекта может запланировать его выполнение с помощью собственных ресурсов либо разделить его на несколько других работ (декомпозировать) и передать часть новых работ другим соисполнителям (акторам). Такая процедура является аутсорсингом проектных заданий. Аутсорсинг реализуется в ходе проведения итерационных виртуальных аукционов.

Аукцион – это публичная продажа одного лота по заранее установленным правилам, определяемым диспетчером перед началом аукциона. Роль такого диспетчера может выполнять как управляющий центр, так и актор в момент декомпозиции задачи. При этом он в разные интервалы времени выставляет подзадачи (лоты), интересные другим акторам. В самом начале процесса планирования диспетчер осуществляет первоначальную декомпозицию комплексного проекта P по принципу WBS. При этом формируются начальные календарно-сетевые графики в виде диаграмм Ганта G_n^0 , где $n = \overline{1, R}$, R – число проектов после декомпозиции.

Целью диспетчера является обеспечение максимального суммарного выигрыша от реализации всех лотов за некоторый интервал времени. Победителем аукциона становится актор, выигравший аукцион в соответствии с его правилами. Целью актора является приобретение максимального количества лотов наибольшего интереса при минимальных затратах.

В ходе виртуального аукциона на каждой итерации k -й актор представляет

свой вариант календарно-сетевое планирования в виде диаграмм Ганта $G_{nk}^m, k = \overline{1, K}$, где K – число акторов, участвующих в аукционе, m – номер итерации виртуального аукциона. Теперь организатор аукциона кроме предлагаемой договорной цены имеет информацию о намерениях и возможностях акторов. Эта информация может быть использована для определения на раннем этапе планирования согласованности проектов разных акторов, выявления нестыковок в сроках, использовании ресурсов, финансировании.

Для решения этих задач в статье предлагается сетевая модель Петри, которая строится на базе диаграммы Ганта для каждого проекта.

Сетевая модель Петри

Актор предоставляет в центр управления виртуальным аукционом диаграмму Ганта работ проекта, на которой найдены критические пути и для каждой работы $z_i \in G$ рассчитаны параметры $\tau_i, \tau_{i,ran}^H, \tau_{i,pozd}^H, \tau_{i,ran}^K, \tau_{i,pozd}^K$ – длительность выполнения работы и моменты ее раннего и позднего начала и окончания.

Определим правила перехода $G \rightarrow S_{\text{ПР}}$, где $S_{\text{ПР}} = (W, T, U, \tau, R_0)$ – сетевая модель Петри проекта, W – конечное множество позиций, T – конечное множество переходов, τ – времена срабатывания переходов, $U \subseteq W \times T \cup T \times W$ – отношение инцидентности, R_0 – начальная разметка в начальный момент времени. На диаграмме Ганта работа z_i характеризуется длительностью выполнения τ_i , заданными моментами начала и окончания выполнения задачи, а также связями с предшествующими и последующими работами. Кроме того, важно привязать расписание работ к календарному времени для учета выходных дней и сверхурочных.

В работе [4] была предложена методика перехода к сети Петри путем сопоставления работам z_i проекта элементарных фрагментов сетевой модели (рис. 1).

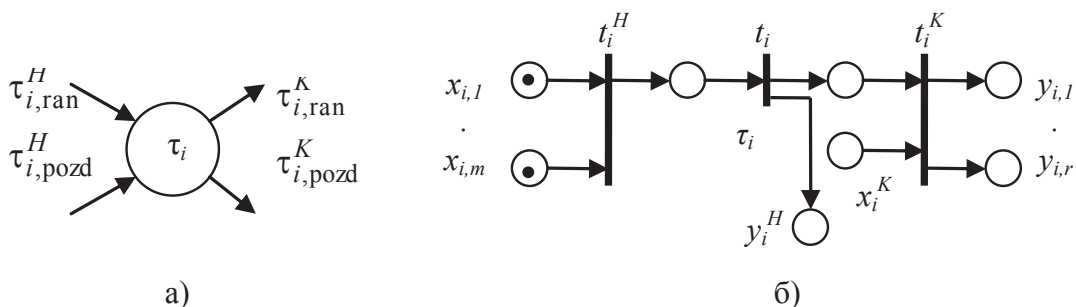


Рис. 1. Элементы диаграммы Ганта и сети Петри:

a – элемент диаграммы для работы z_i с ее параметрами; *б* – элементарный фрагмент сети Петри

Элементарный фрагмент сети Петри содержит три перехода:

t_i – переход, моделирующий процесс выполнения работы z_i с длительностью срабатывания τ_i ;

t_i^H, t_i^K – начальный и конечный переходы, у которых длительности срабатывания либо равны нулю, либо зависят от одного из значений $\tau_{i,ran}^H, \tau_{i,pozd}^H, \tau_{i,ran}^K, \tau_{i,pozd}^K$;

x_{i1}, \dots, x_{im} – входные позиции, определяющие условия начала выполнения работы;

y_{i1}, \dots, y_{ir} – выходные позиции, являющиеся входными для других фрагментов модели и разрешающие начало их выполнения;

x_i^K – внешняя разрешающая позиция конечного перехода t_i^K , которая обеспечивает связь с тем фрагментом другого проекта, после завершения которого возможно окончание данной работы;

y_i^H – внешняя выходная позиция перехода t_i , которая разрешает выполнение работы во фрагменте сети другого проекта.

В позициях сети Петри расположены маркеры, определяющие разметку сети и разрешающие срабатывания переходов (на рис. 1 это черные точки в позициях x_{i1}, x_{im}).

Отображение $G_{nk}^m \rightarrow S_{nk}^m$ описывает композицию общей сети Петри проекта по диаграмме Ганта, которая представляет собой последовательно-параллельную структуру. Однако в большинстве проектов реализуются классическая итерационная, каскадная модели либо спиральная модель объектно-ориентированного проектирования. Это приводит к появлению циклических участков в сети Петри проекта.

Рассмотрим пример, в котором для заданного проекта с диаграммой G_E (рис. 2) следует построить соответствующую сеть Петри.

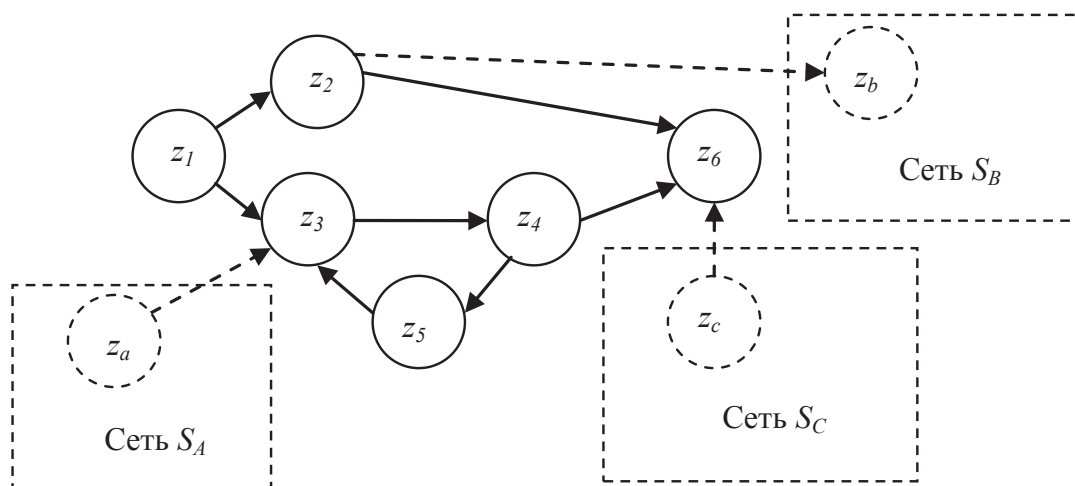


Рис. 2. Пример диаграммы Ганта G_E проекта

Проект содержит шесть работ $z_1 - z_6$, причем работы z_3 и z_6 зависят от того, как выполняются работы в других проектах, представляемых, в свою очередь, сетями Петри S_A и S_C . А работа z_2 определяет возможность начать работу z_b в сети Петри S_B . На рис. 3 показана сеть Петри S_E для проекта G_E , а также связи с другими сетями проектов.

Имитационное моделирование в сетях Петри заключается в генерировании множества начальных разметок и приписывании переходам сети временных значений. При этом длительности выполнения работ задаются случайным образом с заданным законом распределения. Таким образом, при проведении виртуального аукциона со множеством акторов диспетчер получает множество сетевых моделей и анализирует их свойства. Это позволяет согласовать различные подпроекты комплексного инновационного проекта и принимать решение о выигрыше в аукционе тех или иных акторов.

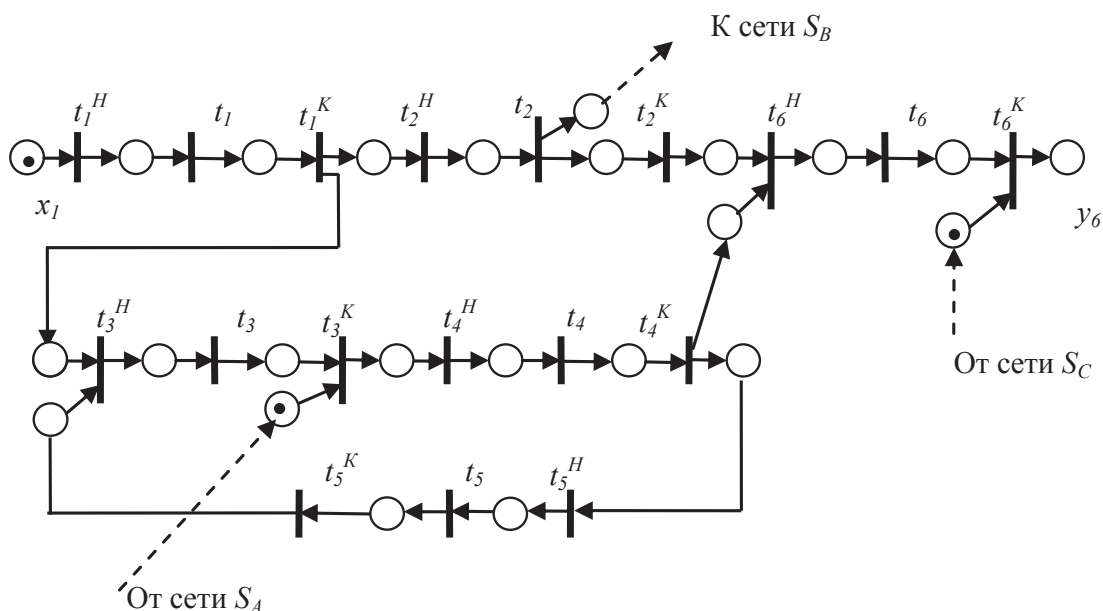


Рис. 3. Сеть Петри S_E для диаграммы G_E

Информацию в виде имитационных моделей выполнения проектов можно использовать и в случае применения в виртуальных аукционах теоретико-игровых моделей. В работе [5] описана рефлексивная теоретико-игровая модель для оптимального распределения проектов при коллективном поведении акторов в условиях их взаимной информированности в одноранговой P2P сети. Предложенная модель сети Петри выполнения проекта может описывать не только способность актора выполнить задание в срок, но и также степень использования ресурсов. Для этого следует использовать раскрашенные сети Петри [6], в которых цветные маркеры будут соответствовать трудовым и материальным ресурсам. Очевидно, что такие модели могут работать не только на этапе распределения проекта, но и в течение всего жизненного цикла проектирования.

Заключение

Виртуальные аукционы целесообразно применять в крупных холдинговых компаниях, где можно организовать матричную структуру с одноранговым взаимодействием как проектных групп, так и производственных единиц. Эффективность виртуальных аукционов при управлении проектами базируется на использовании единого информационного пространства предприятия. Конечной целью развиваемого научного исследования является создание информационной системы, выполняющей функции управления и поддержки принятия решений в процессе проектирования.

Можно сформулировать следующие перспективные направления научного исследования:

- разработка имитационных моделей на базе раскрашенных сетей Петри и исследование свойств достижимости и живости сетей, выявление ловушек и дедлоков;
- исследование поведения акторов с помощью рефлексивной теоретико-игровой модели, в которой сеть Петри описывает динамику перераспределения ресурсов проектов в течение жизненного цикла;
- разработка программного комплекса имитационного моделирования и управления проектами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков Д.А. Математические модели формирования и функционирования команд / Д.А. Новиков. – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2008. – 184 с.
2. Иващенко А.В. Модель аукциона в задачах управления взаимодействием активных программ по схеме P2P / А.В. Иващенко, А.М. Леднев // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 3(35). – С. 19-25.
3. Орлов С.П. Применение модели P2P аутсорсинга в задачах управления проектами на предприятиях нефтегазовой отрасли / С.П. Орлов, А.М. Леднев, А.В. Иващенко // Вестник Волжского университета им. Татищева. – 2013. – № 5(21). – С. 5-10.
4. Орлов С.П. Сетевая модель Петри расписания задач при управлении программными проектами / С.П. Орлов, М.М. Ефремов, Е.Б. Бабамуратова // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – № 2(30). – С. 30-36.
5. Orlov S.P. Reflexive game model for control the teams of software developers / S.P. Orlov // Proceedings of International Conference of Soft Computing and Measurements, SCM '2015'. V.1. P. 66-69. St.-Petersburg, Russia. Publisher: IEEE Xplore, 2015.
6. Мараховский В.Б. Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Курс для системных архитекторов, программистов, системных аналитиков, проектировщиков сложных систем управления / В.Б. Мараховский, Л.Я. Розенблюм, А.В. Яковлев. – СПб.: Профессиональная литература, АйТи-Подготовка, 2014. – 400 с. – ISBN-978-5-9905552-0-4.

Статья поступила в редакцию 3 марта 2016 г.

PETRI NET FOR PROJECT MODELLING IN VIRTUAL AUCTION

P.I. Marychev, S. P. Orlov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper deals with the problem of complex projects allocation for groups of actors. For the purpose of efficient management and optimal resource use the virtual auction with multiple iterations is held during which the actors not only offer a contract price, but also provide a project schedule as Gantt charts. The use of simulation models on Petri nets to analyze the feasibility and synchronization projects is proposed. The rules of the transition from the Gantt chart to the Petri net model describing the interconnections between various projects are formulated. The example of a model project on Petri net is given. The proposed model can be used within the game theoretic modeling of virtual auction for describing the mutual actors' knowledge in accordance with their capabilities.

Keywords: *management, systems analysis, Petri nets, virtual auction, simulation.*

*Pavel I. Marychev, Postgraduate Student.
Sergey P. Orlov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.*