

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ**

Волкова Евгения Алексеевна

ст. преп. каф. информатики,

*Уральский государственный горный университет,
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, дом № 30*

E-mail: evgeniya.volkova@m.ursmu.ru

Дружинин Алексей Владимирович

канд. техн. наук, доц., зав. каф. информатики,

*Уральский государственный горный университет,
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, дом № 30*

E-mail: aleksey.druzhinin@m.ursmu.ru

Полузадов Владимир Николаевич

канд. техн. наук, проф. каф. электротехники,

*Уральский государственный горный университет,
620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, дом № 30*

E-mail: vladimir.poluzadov@m.ursmu.ru

**EXCAVATOR-TRUCK COMPLEX
MULTIAGENT CONTROL SYSTEM MODELING**

Evgeniya Volkova

*Senior lecturer of Informatics Department, Ural State Mining University,
620144, Russia, Ekaterinburg, Kuibysheva Street, 30*

Alexey Druzhinin

*Candidate of Engineering Sciences, Associate professor,
Head of Informatics Department, Ural State Mining University,
620144, Russia, Ekaterinburg, Kuibysheva Street, 30*

Vladimir Poluzadov

*Candidate of Engineering Sciences, Professor of Electrical Engineering Department,
Ural State Mining University,
620144, Russia, Ekaterinburg, Kuibysheva Street, 30*

АННОТАЦИЯ

Автоматизация горнотранспортного комплекса является актуальным способом повышения эффективности открытых горных работ. Использование мультиагентного подхода к управлению позволяет поднять управление на новый уровень. Моделирование мультиагентной системы управления экскаваторно-автомобильным комплексом является одним из этапов ее реализации.

В данной статье рассматривается построение модели мультиагентной системы управления экскаваторно-автомобильным комплексом с использованием формализма вложенных сетей Петри.

Сравниваются классические сети Петри и их расширения: объектные сети, гиперсети и вложенные сети, доказываемая эффективность использования именно вложенных сетей Петри для построения модели.

Описываются структура экскаваторно-автомобильного комплекса и архитектура мультиагентной системы управления. Предлагается и подробно описывается модель процесса загрузки самосвала при разработке уступа в один проход. Проводится параллель между формализмом теории агентов и вложенных сетей Петри. Особенное внимание уделяется роли агентной платформы в реализации взаимодействия объектов.

Рассматриваются перспективы использования результатов моделирования для программной реализации мультиагентной системы управления экскаваторно-автомобильным комплексом.

На основании приведенной информации, делаются выводы о возможности использования формализма вложенных сетей Петри для проектирования многоуровневой структуры мультиагентной системы управления экскаваторно-автомобильным комплексом, где агенты также представляют собой мультиагентные системы.

ABSTRACT

Automation of mining transport complex is a relevant way to enhance the efficiency of open pit mining. Multi-agent control is the way to raise operation

and control to the next level. Multi-agent control system modeling is one of important stages of its implementation.

In this research paper, multi-agent control system of excavator-truck complex model building with NP-nets is considered.

Classic Petri nets and extensions of Petri nets: object nets, hypernets and NP-nets are compared, and efficiency of using NP-nets for modeling of multi-agent control system of excavator-truck complex is proved.

The structure of excavator-truck complex and multi-agent control system architecture are presented. Truck loading during the single pass ledge operation model is proposed and described in detail. A parallel between formalism of multi-agent theory and NP-nets is drawn. The role of agent platform in the implementation of object cooperation is pointed out.

The prospects of using the modeling results in software implementation of multi-agent control system of excavator-truck complex are presented.

On the basis of given information, conclusions about the possibility of using nested Petri nets formalism for the design of the multi-layered structure of the multi-agent control system of excavator-truck complex where the agents also are multi-agent systems are drawn.

Ключевые слова: открытые горные работы, экскаваторно-автомобильный комплекс, вложенные сети Петри, мультиагентное управление.

Keywords: open pit mining, excavator-truck complex, NP-nets, multiagent control.

Сети Петри являются удобным средством для моделирования параллельных систем. Однако классические сети Петри, имеющие плоскую структуру, не позволяют описывать мультиагентные системы в простой форме. Существует ряд моделей, расширяющих классические сети Петри, – объектные сети, гиперсети, вложенные сети. Объектные сети построены на идеях объектно-ориентированного проектирования, где сетевые фишки имеют

собственную структуру и поведение по аналогии с объектами. Однако такая структура недостаточно гибкая для описания мультиагентных систем. Гиперсети отличаются от других расширений сетей Петри тем, что каждый агент может находиться в любом из других агентов, и иерархия построения сети может меняться в процессе ее исполнения. Несмотря на то, что в мультиагентных системах структура агентов также может изменяться, их иерархические связи изменяться не должны, поэтому формализм гиперсетей в данной ситуации неприменим.

Наиболее удобным формализмом для моделирования мультиагентных систем являются вложенные сети Петри. При таком подходе фишки в сети Петри имеют свою, так же построенную на сетях Петри структуру, что позволяет моделировать параллельные иерархические системы, но, в отличие от гиперсетей, иерархия представляется статической [1, с. 344–345].

В данной работе рассматривается мультиагентная система управления экскаваторно-автомобильным комплексом при открытых горных работах. В этой системе экскаваторы и самосвалы рассматриваются как интеллектуальные агенты. При этом они, в свою очередь, также представляют собой мультиагентные системы и состоят из множества агентов, однако в данной работе мы пренебрежем их структурой.

Рассмотрим один из основных процессов в мультиагентной системе экскаваторно-автомобильного комплекса – загрузку самосвала. Одной из самых распространенных технологических схем является технология разработки уступа за один проход. График выполнения работ экскаватором при такой схеме разработки представлен на рисунке 1 [2, с. 127].

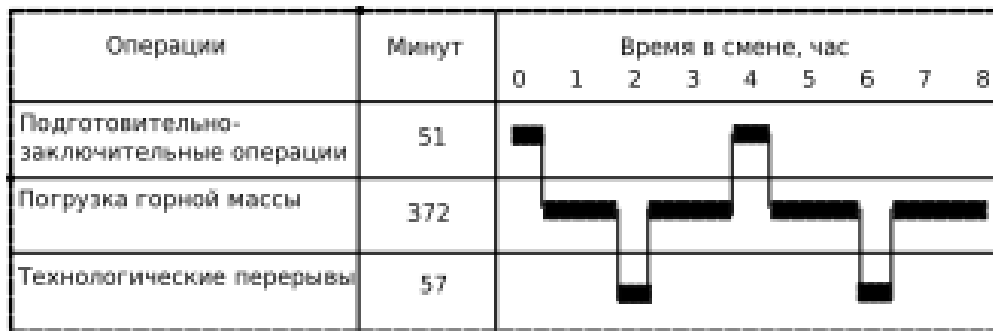


Рисунок 1. График выполнения работ экскаватором ЭКГ-5А

Экскаватор, находящийся в состоянии готовности к погрузке, запрашивает через агентную сеть самосвал, заключает соглашение с одним из них, после чего самосвал направляется к экскаватору для загрузки. После загрузки самосвал отправляется к месту выгрузки, а экскаватор переходит либо в состояние ожидания, либо в состояние подготовки забоя.

В общем виде агент представляется в виде кортежа (1):

$$A_g = \langle G, S, A, \theta, \varphi \rangle, \quad (1)$$

где: G – целевая функция,

$S = \{s_1, s_2, \dots s_n\}$ – набор параметров состояния,

$A = \{a_1, a_2, \dots a_n\}$ – набор действий,

θ – база знаний и φ – оператор.

В системе экскаваторно-автомобильного комплекса определено следующее множество агентов (2):

$$A_g = \{A_t, A_{ex}\} \quad (2)$$

где: A_t – агент-самосвал, а A_{ex} – агент-экскаватор.

На рисунке 2 можно увидеть системную сеть, моделирующую агентную платформу, отвечающую за взаимодействие агентов, и элементные сети, моделирующие экскаваторы (тип E_1) и самосвалы (тип E_2).

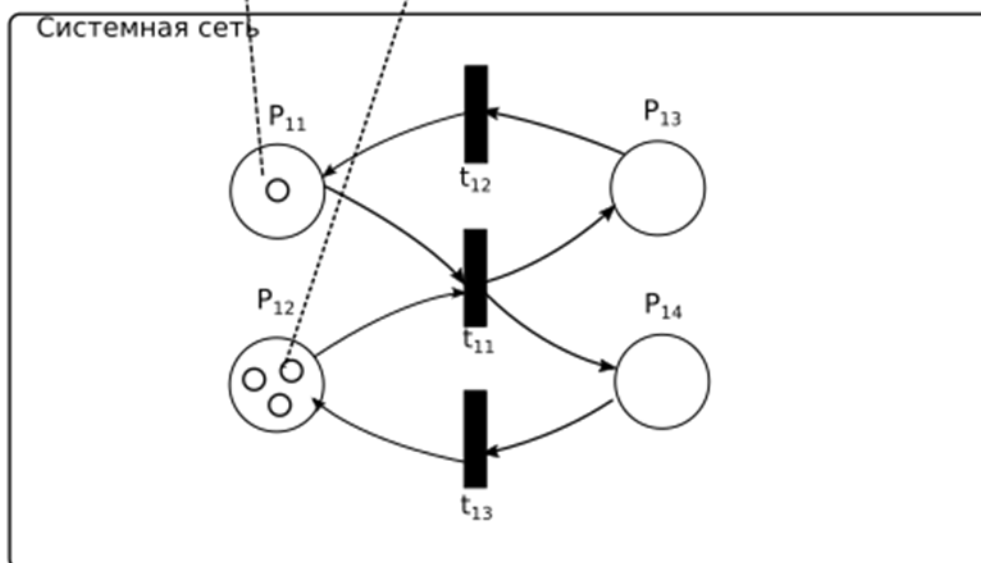
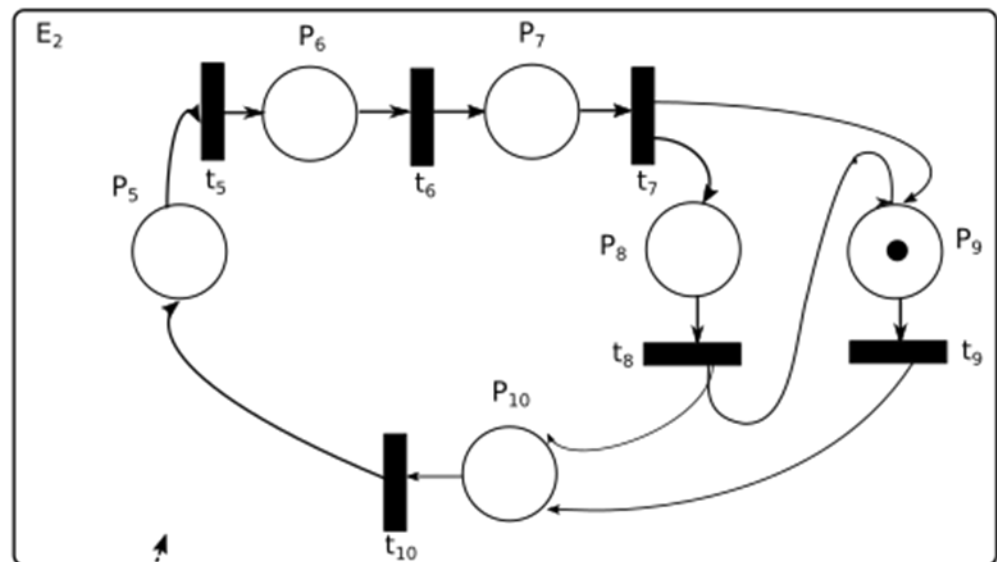
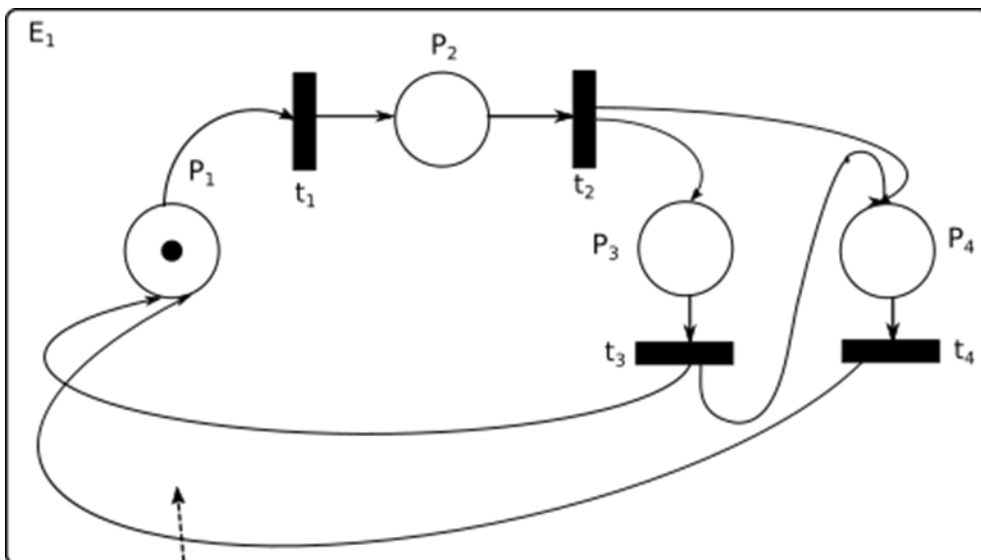


Рисунок 2. Модель взаимодействия экскаваторно-автомобильного комплекса

Экскаватор E_1 может быть в одном из состояний «готов к загрузке» p_1 , «загрузка в процессе» p_2 , «подготовительно-заключительные операции» p_3 , «технологический перерыв» (или простой) p_4 . В качестве переходов для экскаватора выступают события «загрузка началась» t_1 , «загрузка закончилась» t_2 , «подготовительные операции закончены» t_3 , «технологический перерыв окончен» t_4 .

Самосвал E_2 может находиться в следующих состояниях: «готов к загрузке» p_5 , «загрузка в процессе» p_6 , «движение к месту разгрузки» p_7 , «разгрузка» p_8 , «технологический перерыв» (простой) p_9 , «движение к месту загрузки» p_{10} . Процесс разгрузки может быть представлен в виде отдельной сети Петри и обозначен одним узлом для упрощения представленной модели. В качестве переходов для самосвала выступают события «загрузка началась» t_5 , «загрузка закончена» t_6 , «движение к месту разгрузки закончено» t_7 , «разгрузка закончена» t_8 , «технологический перерыв закончен» t_9 , «движение к месту погрузки закончено» t_{10} .

Системная сеть содержит начальные и конечные пулы для экскаваторов и самосвалов. Начальные пулы обозначены узлами p_{11} и p_{12} , а конечные – p_{13} и p_{14} соответственно. Данная модель является высокоуровневым представлением, и в ней не учитываются возможные сбои в плане работ, связанные с выходом техники из строя или изменением внутренней или внешней структуры агентов.

Набор параметров объектов $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, представленный в (1), определяет набор состояний сети Петри $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, а набор действий агента $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ соответствует набору переходов $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$.

Представленная на рисунке 2 модель может использоваться для программной реализации системы управления экскаваторно-автомобильным комплексом. Например, при реализации на платформе JADE системная сеть позволяет настроить агентную платформу, а модели агентов E_1 и E_2 представляют собой структуру основных агентов системы. Помимо основных агентов, платформа предполагает также наличие вспомогательных

агентов: справочных и транспортных. Они реализуют нижний уровень взаимодействия между агентами.

В приведенной в данной статье модели мы не рассматривали особенности структуры агентов, которые, в свою очередь, также представляют собой мультиагентные системы. Однако формализм вложенных сетей Петри можно применить и к такой структуре, добавив еще один уровень вложенности. С одной стороны, такой подход усложнит модель, но в то же время он может позволить представить систему экскаваторно-автомобильного комплекса без ограничений, искусственно введенных для упрощения модели. Моделирование «мультиагентной системы мультиагентных систем» планируется рассмотреть в дальнейших работах.

Список литературы:

1. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри и моделирование распределенных систем // Программные системы: теория и приложения. – М.: Наука. Физматлит, 2004. – С. 337–352.
2. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах. – М.: Недра, 1982. – 405 с.

References:

1. Lomazova I.A. Nested Petri nets and modelling of distributed systems. *Programmnye sistemy: teoriya i privozheniya* [Software Systems: Theory and Applications]. Moscow, Nauka. Fizmatlit Publ., 2004, pp. 337–352 (In Russian).
2. Typical technological schemes of mining at coal open pit mines. Moscow, Nedra Publ., 1982, 405 p. (In Russian).