



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.89

АЛГОРИТМ РОСТА СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ЗАДАЧИ ВЫРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ УГЛЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППОЙ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ РОБОТОВ¹

Сорокин Е.В.

Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Смоленск, Россия (214013 Россия, г.Смоленск, Энергетический проезд, 1), e-mail: scorpwork@mail.ru

В статье рассмотрен обобщенный алгоритм специализированного роста элементных сетей Петри, а также рассмотрено применение алгоритма на частном примере – задаче выработки пологих пластов угля группой разнотипных взаимодействующих роботов. Данная разновидность сетей Петри пригодна для обеспечения гибкости моделей в условиях негативного влияния окружающей среды, внезапных поломок внутри системы и прочих сложностей, которые могут возникнуть в работающих системах.

Ключевые слова: сеть Петри, растущие сети Петри, алгоритм роста сетей Петри.

ALGORITHM OF THE GROWTH OF THE PETER NETWORKS FOR THE PROBLEM OF PROCESSING THE POLYGY COAL PLASTICS BY THE HETEROGENEOUS GROUP OF INTERACTIVE ROBOTS

Sorokin E.V.

Smolensk Branch of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Russia (214013, Smolensk, street Energeticheskij, 1); e-mail: scorpwork@mail.ru

The generalized algorithm of specialized growth of elemental Petri nets is considered in the article, and also the application of the algorithm on a special example is considered - the task of producing shallow coal seams by a group of diverse types of interacting robots. This variety of Petri nets is suitable for providing model flexibility in conditions of negative environmental impact, sudden breakdowns within the system and other complexities that may arise in operating systems.

Key words: Petri nets, Growing Petri Nets, algorithm of specialized growth of elemental Petri nets.

В работе [1] была рассмотрена задача применения робототехники для ведения подземных горных работ, которая обусловлена многими факторами и напрямую влияет на производительность и безопасность проведения подобных операций. Использование автоматизированных или автоматических машин в первую очередь связано с безопасностью

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам при Президенте РФ в рамках научного проекта МК-6184.2016.8

людей. По мере перехода на большие глубины растет травматизм от проявлений горного давления. Травматизм среди подземных рабочих в 4,4 раза, а на больших глубинах в 7,2 раза выше, чем на поверхности [2]. С широким внедрением механизации начало расти число несчастных случаев при эксплуатации горных машин. Высокая запыленность, влажность, перепады температуры и давления, шум, вибрация, недостаточная освещенность на рабочем месте приводит к профессиональным заболеваниям и даже к смерти [3,4].

Предложенная технология роботизированной выработки заключается во взаимодействии четырех видов мобильных роботов. Выемочный робот разработан на базе очистного комбайна, транспортный – на базе самоходного вагона. Информационно-управляющий робот и робот крепежник разрабатываются специально. На рисунке 1 схематично показан основной процесс выемки пологих пластов с помощью четырех взаимодействующих роботов. Поднимаясь к вентиляционному штреку, выемочный робот 1 снимает породу и заполняет тележку транспортного робота 2.

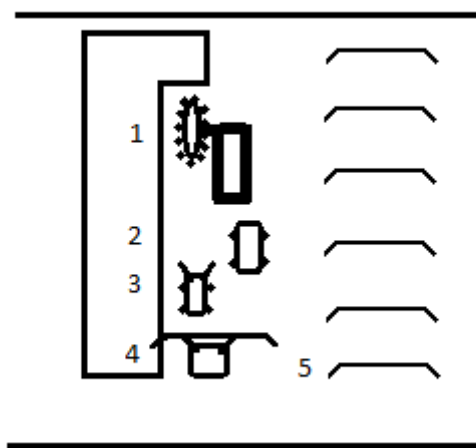


Рисунок 1 – Схема выемки пологих пластов.

Транспортный робот совершает челночные рейсы между комбайном и транспортным штреком. Вслед за выемочным роботом движется вспомогательный робот 3, передающий информацию о состоянии выработанного, но незакрепленного пространства, а также другие важные для системы данные, например, температуру, состояние грунта и прочее. Робот 4 последовательно передвигает крепи секции, обеспечивая безопасную работу на участке шахты.

Блочный состав роботов шахтеров

Для поддержания работоспособности системы в случаях выхода из строя отдельных компонентов, конструкция машин должна быть спроектирована таким образом, чтобы поддерживать принцип модульной замены комплектующих. Такой подход обеспечит высокую надежность, ремонтпригодность и автономность.

Рассмотрим блочный состав роботов шахтеров, работающих на выемке пологих пластов угля (таблицы 1 – 4). В каждой таблице указываются поля «Блок» - модульный компонент системы, «Тип» - классификация компонентов по размеру или другим несущим параметрам, «Интерфейс» - стыковочное устройство или канал взаимодействия блоков, «Средняя оценка

трудоемкости замены» - экспертная оценка, указанная в паспорте блока, необходимая для оценки стоимости замены блока.

Таблица 1 – Блочный состав комбайна

Блок	Тип	Интерфейс	Средняя оценка трудоемкости замены (0 - 100)
Гусеничная платформа	Большой	<i>In::Bgp</i>	70
Блок управления	Большой	<i>In::Bbu</i>	20
Антенна связи	Стандарт	<i>In::ant</i>	5
Крепление ножа/пилы	Стандарт	<i>In::inCut</i>	70
Пила	Стандарт	<i>In::cut</i>	50
Набор пневматические шланги стандартных разъемов	Большой	<i>In::Bhose</i>	30
ДВС	Большой	<i>In::BEng</i>	70
Трансмиссия	Большой	<i>In::BTr</i>	70
Радиатор охлаждения	Большой	<i>In::BRad</i>	40
Топливный бак	Большой	<i>In::Bp</i>	40
Погрузочная лента	Стандарт	<i>In::line</i>	50
Привод погрузочной ленты	Стандарт	<i>In::EngLine</i>	50
Встроенный погрузчик	Стандарт	<i>In::comPogr</i>	30

Таблица 2 – Блочный состав транспортника

Блок	Тип	Интерфейс	Средняя оценка трудоемкости замены (0 - 100)
ДВС	Стандарт	<i>In::MEng</i>	70
Блок управления	Стандарт	<i>In::MBu</i>	20
Антенна связи	Стандарт	<i>In::ant</i>	5
Радиатор охлаждения	Стандарт	<i>In::MRad</i>	40
Трансмиссия	Стандарт	<i>In::MTr</i>	70
Колесная база	Стандарт	<i>In::MWBase</i>	50
Погрузочный контейнер	Стандарт	<i>In::MHook</i>	10
Крюк	Стандарт	<i>In::MHook</i>	5

Таблица 3 – Блочный состав крепежника

Блок	Тип	Интерфейс	Средняя оценка трудоемкости замены (0 - 100)
ДВС	Стандарт	<i>In::MEng</i>	70
Блок управления	Стандарт	<i>In::MBu</i>	20
Антенна связи	Стандарт	<i>In::ant</i>	5
Радиатор охлаждения	Стандарт	<i>In::MRad</i>	40
Трансмиссия	Стандарт	<i>In::MTr</i>	70
Колесная база	Стандарт	<i>In::MWBase</i>	50
Погрузочный контейнер	Стандарт	<i>In::MHook</i>	10
Крюк	Стандарт	<i>In::MHook</i>	5
Манипулятор	Стандарт	<i>In::MMan</i>	20

Таблица 4 – Блочный состав командира

Блок	Тип	Интерфейс	Средняя оценка трудоемкости замены (0 - 100)
ДВС	Стандарт	<i>In::MEng</i>	70
Блок управления	Стандарт	<i>In::MBu</i>	20
Антенна связи	Стандарт	<i>In::ant</i>	5
Радиатор охлаждения	Стандарт	<i>In::MRad</i>	40
Трансмиссия	Стандарт	<i>In::MTr</i>	70
Колесная база	Стандарт	<i>In::MWBase</i>	50
Крюк	Стандарт	<i>In::MHook</i>	5
Набор датчиков анализа окружающей среды	Стандарт	<i>In::SDat</i>	10
Портативная ЭВМ для анализа обстановки	Стандарт	<i>In::SEVM</i>	10

Любой из представленных в таблице блоков имеет стандартизированный интерфейс подключения к машине, таким образом поддерживается один из основных принципов модульного подхода к разработке агрегатов и механизмов специального назначения. Это значит, что некоторые составные элементы представленных роботов взаимозаменяемы в короткие сроки, в пределах работающей системы.

Анализ таблицы дает возможность определить взаимозаменяемые модули через соответствующие интерфейсы, например, робот транспортник и робот крепежник могут

обменяются контейнерами через единый интерфейс *In::MHook*, аналогичным образом при неисправности двигателя транспортника робот командир может взять на себя дополнительную функцию перевозки руды, для этого через имеющийся у них интерфейс *In::MHook* происходит передача контейнера управляющему роботу.

Обмен блоками связан как с передачей модулей между машинами, так и с передачей некоторых функций и задач, которые выполнял неисправный робот. Таким образом, каждый блок может быть представлен фрагментом элементной (в некоторых случаях системной) сети Петри.

Растущие сети Петри

Рассмотрим схемы работы транспортного и информационно управляющих роботов в виде элементных сетей Петри (рисунок 2, 3).

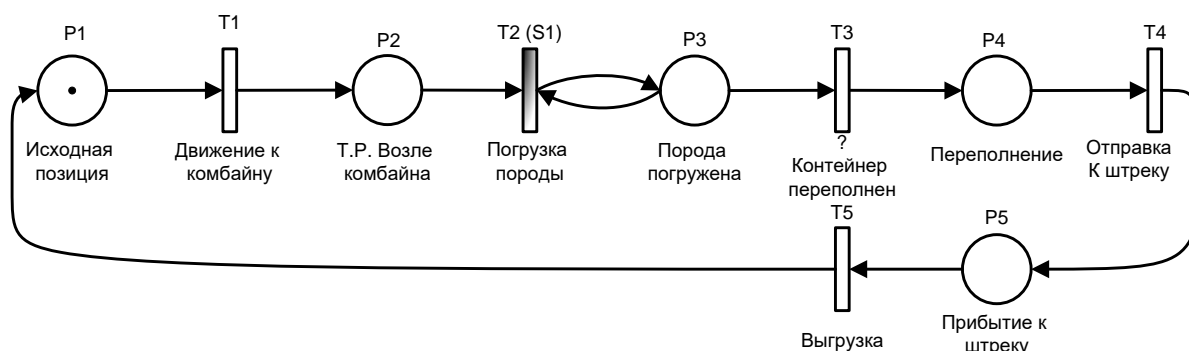


Рисунок 2 – Элементная сеть транспортного робота

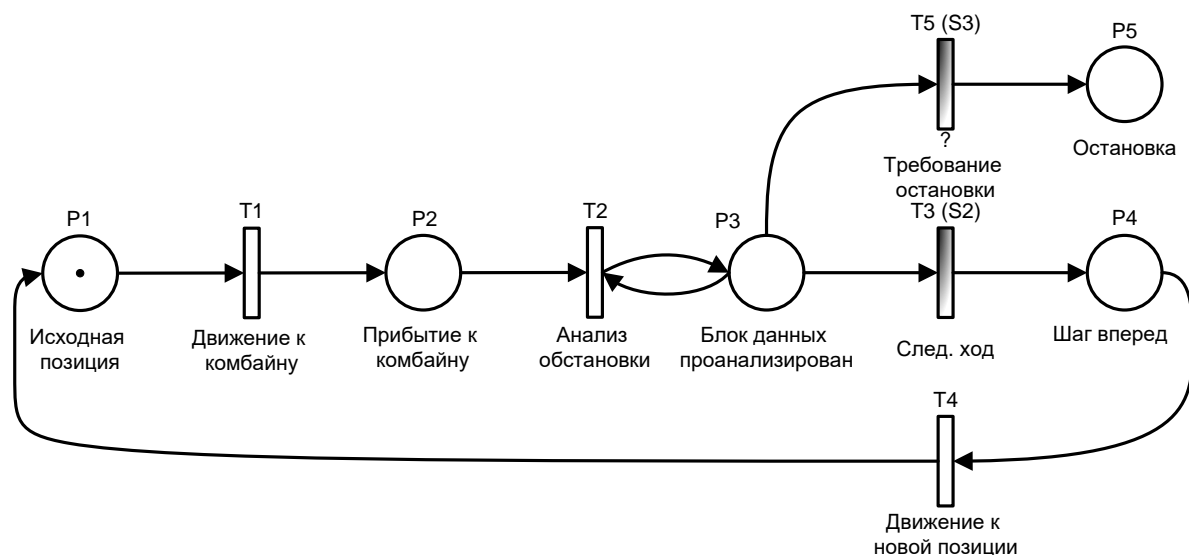


Рисунок 3 – Информационно-управляющий робот

В ходе работы рассматриваемого комплекса, время от времени могут возникать неисправности различного характера. Здесь проявляются недостатки классической сети Петри. Воздействия со стороны окружающей среды, внезапные изменения в условиях работы, поломки приводят представленную модель в неработоспособное состояние. Невозможность срабатывания одного из переходов способно блокировать работу всего комплекса.

Однако в зависимости от уровня возникшей проблемы система должна на месте попытаться ее решить. Реализацию такой системы предлагается осуществить с помощью

механизма «растущих» сетей Петри. Рост сети может воспроизводиться из уже созданных заранее экспертом паттернов поведения робота для заранее проработанных ситуаций, которые человек посчитал ключевыми, либо динамически по специальным алгоритмам роста.

Формальное описание растущей вложенной сети Петри представляется вектором [5, 6]:

$$GNPN = (Atom, Lab, SN, (gSN1, \dots, gSNk), (EN1, \dots, ENk), (gEN1, \dots, gENk), A, fS, fE),$$

где $(gSN1, \dots, gSNk)$ – конечный набор добавочных сетей Петри системной модели;

$(gEN1, \dots, gENk)$ – конечный набор добавочных сетей Петри элементной модели;

fS – функция сопоставления добавочной модели к системной сети;

fE – функция сопоставления добавочной модели к элементной сети.

Рост вложенной сети Петри может быть представлен двумя видами.

1) Унифицированный рост – предполагает наращивание сети без изменения текущей структуры. В таких ситуациях имеется некоторый паттерн или сеть фиксированного вида, которая может быть подмешана в рабочую систему с целью выполнения определенных действий, например, устранения возникшей неполадки. Такая добавочная сеть, как правило, может быть применена для любого перехода элементной или системной сети.

2) Специализированный рост – основан на специфических особенностях моделируемых объектов. Используется для наращивания элементной сети и предполагает вмешательство в структуру – обход неработоспособных переходов, разрыв связей и прочее. Данный способ дает наибольшую гибкость в моделируемых системах.

Алгоритм роста сетей Петри

Каждая машина выполняет определенную задачу, которой может соответствовать конкретный набор переходов и позиций сети. Например, основная работа транспортного робота заключена в переходах $T2$, $T5$, позиции $P3$ и символизирует погрузку/разгрузку руды. В управляющем роботе это переход $T2$ и позиция $P3$, которые отвечают за процедуру анализа окружающей среды. Такой набор переходов и позиций назовем главным функциональным набором (ГФН).

Каждый переход сети и связанная с ним позиция прикреплены к одному или нескольким блокам машины, выполняющих в данный момент основную работу. Например, в сети транспортного робота элементы $T1$ и $P2$ связаны в основном с работой силовых, движущих агрегатов. Элементы $T2 - T5$ и $P3 - P5$ связаны с погрузочным контейнером.

Рассмотрим алгоритм специализированного роста сетей Петри.

1. Определение перехода, срабатывание которого невозможно. Причинами могут быть неисправности, истощение ресурсов и прочее.
2. Определение главного функционального набора неисправной машины.
3. Определение агрегатных блоков, связанных с главным функциональным набором.
4. Определение переходящего набора (ПН) – позиций и переходов, связанных с агрегатным набором, найденным в пункте 3 алгоритма.
5. Генерация позиции завершения операции в конце ПН, если он завершается переходом
6. Вычисление растущего элемента системы, готового взять на себя работу неисправного механизма. Критериями выбора такой машины могут быть: наличие

общего интерфейса, простота переконструирования сети, минимальное расстояние между машинами, минимальная стоимость, время перехода и прочее.

7. Определение главного функционального набора растущей сети машины.
8. Разрыв связи растущей сети (РС) перед одним из переходов, после ГФН.
9. Интеграция переходящего набора в растущую сеть. Разорванная связь примыкает к первому элементу переходящего набора. Замыкание связи переходящего набора происходит путем примыкания последнего элемента переходящего набора к элементу растущей сети, стоящим перед главным функциональным набором. Вид элемента примыкания определяется в зависимости от последнего элемента переходящего набора. Переход примыкает к позиции и наоборот.
10. Расстановка приоритетов связей, связанных с местом разрыва (исходящих из позиции, связь которой была разорвана). По умолчанию больший приоритет приобретают новые связи, принадлежащие переходящему набору. Определение значений приоритетов может корректироваться экспертом.

Рассмотрим алгоритм роста сети Петри на примере неисправности транспортного робота, при которой двигатель машины поврежден, но погрузочный контейнер сохранил свою функциональность. Элементная сеть транспортного робота показана на рисунке 2.

1. Определим переход, срабатывание которого невозможно: в элементной сети таким переходом является $T1$.
2. Главный функциональный набор неисправной машины: $T2 - P3, T5$.
3. Агрегатный набор блоков, связанных с главным функциональным набором: погрузочный контейнер.
4. Определение переходящий набора по агрегатному набору блоков: $T2 - P3 - T3 - P4 - T4 - P5 - T5$.
5. Генерация позиции $P6$ – завершение основной функции ПН.
ПН: $T2 - P3 - T3 - P4 - T4 - P5 - T5 - P6$.
6. Определение растущего элемента системы: информационно-управляющий робот. Главный функциональный набор не загружает машину в полной мере, имеется прицеп и необходимая мощность для выполнения задачи.
7. Главный функциональный набор информационно-управляющего робота: $T2 - P3$ (рисунок 3).
8. Разрыв связи в растущей сети: разрываем связь $P3 - T3$.
9. Интеграция переходящего набора в растущую сеть: разорванная связь примыкает к первому элементу переходящего набора: $P3(РС) - T2(ПН)$, последний элемент ПН примыкает к элементу РС, стоящим перед ГФН: $P6(ПН) - T1(РС)$.
10. Расстановка приоритетов: $P3 - T3 = 0.7$; $P3 - T2(ПН) = 0.5$; $P3 - T2 = 0.3$; $P3 - T5 = 0.7$;

Результат роста элементной сети информационно-управляющего робота представлен на рисунке 4.

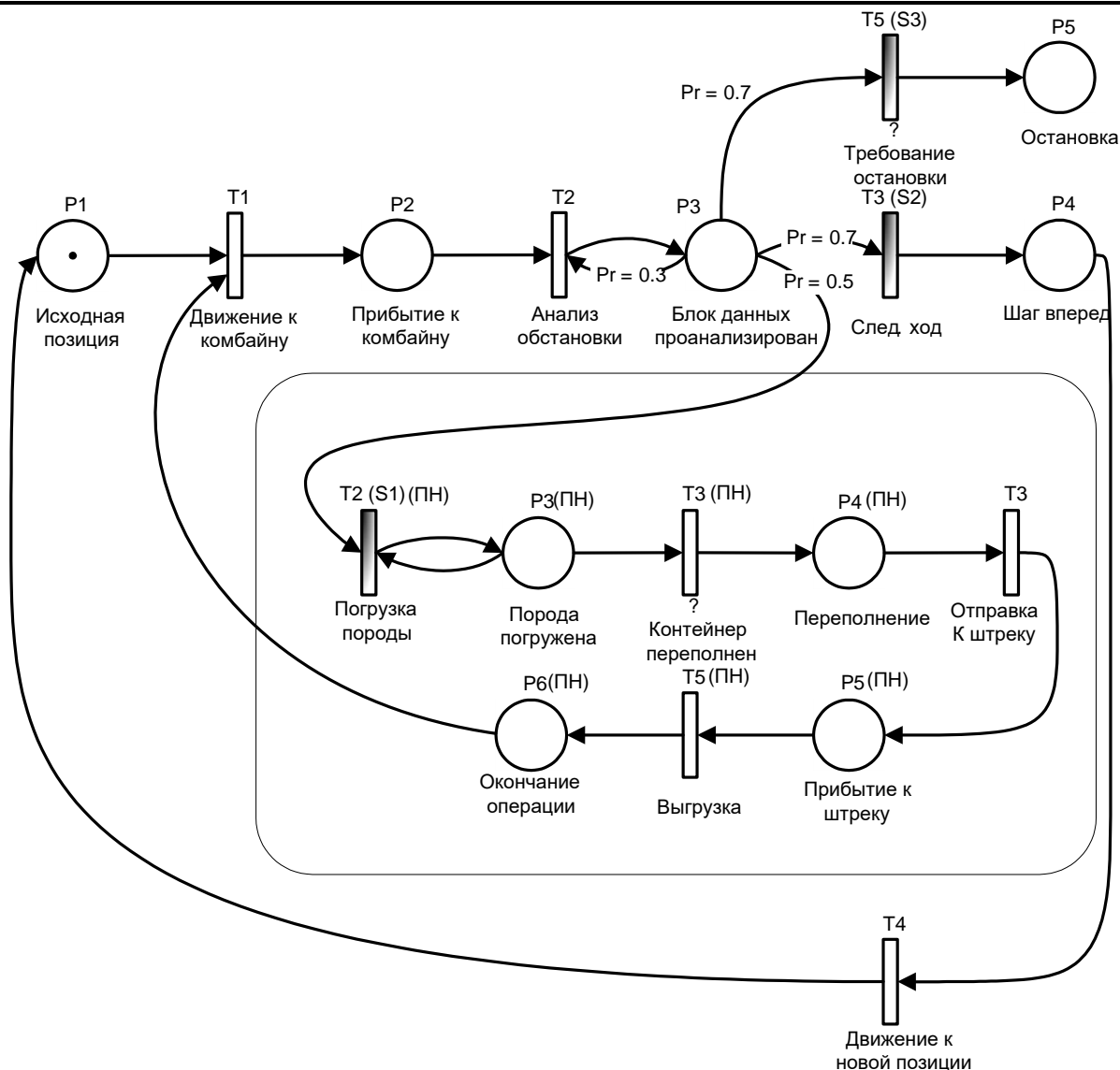


Рисунок 4 – Элементная сети Петри для информационно-управляющего робота с функциями транспортного робота

Растущие сети Петри моделируют ситуации взаимодействия разнотипных роботов, интеллектуальных агентов и пригодны для обеспечения гибкости моделей в условиях негативного влияния окружающей среды, внезапных поломок внутри системы и прочих сложностей, которые могут возникнуть в работающих системах. Использование сетей Петри в классическом представлении как правило оказывается тупиковым решением при возникновении любой неисправности [7,8,9]. Применение рассмотренного алгоритма роста сетей позволит налету адаптировать элементы под изменившиеся условия системы и окружающей среды.

Список литературы

1. Sorokin E.V., Senkov A.V. Application of growing nested Petri nets for modeling robotic systems operating under risk. IOP Conf. Ser.:Earth Environ. Sci. 87 082046

2. Конюх В.Л., Зиновьев В. В. Дискретно-событийное моделирование подземных горных работ. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2011. 243 с.
3. Конюх В.Л. Предпроектный анализ шахтных робототехнических систем / В.Л. Конюх, О.В. Тайлаков. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд., 1991, 182 с.
4. Петровский А.Б. Основные понятия теории мультимножеств. – М.: Едиториал УРСС, 2002.
5. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ систем с распределенной структурой.-М.: Научный мир, 2004. – 208с.
6. Ломазова И. А. Рекурсивные вложенные сети Петри: анализ семантических свойств и выразительность / И.А. Ломазова // Программирование. 2001. Т. 4. С. 21–35.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
8. Игнатьев Я.Б. Обеспечение работы роботизированной сборочной линии при отказе робота // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 9. С. 24–27
9. Мурата Т. Сети Петри: свойства, анализ и приложения. //Тр. ТИИИЭР, пер. с англ. Т. 77. №4. 1989. С. 41–79.

References

1. Sorokin E.V., Senkov A.V. Application of growing nested Petri nets for modeling robotic systems operating under risk. IOP Conf. Ser.:Earth Environ. Sci. 87 082046
 2. Konyukh VL, Zinoviev VV Discrete-event modeling of underground mining. Novosibirsk: Publisher: SB RAS, 2011. 243 p.
 3. Konyukh V.L. Pre-project analysis of mine robotic systems / V.L. Konyukh, O.V. Tailakov. - Novosibirsk: SB RAS., 1991, 182 p.
 4. Petrovsky A.B. Basic concepts of the theory of multisets. - M .: Editorial URSS, 2002.
 5. Lomazova I.A. Embedded Petri nets: modeling and analysis of systems with distributed structure.- M .: Scientific world, 2004. - 208s.
 6. Lomazova IA Recursive embedded Petri nets: analysis of semantic properties and expressiveness / I.A. Lomazov // Programming. 2001. V. 4. P. 21-35.
 7. Leonenkov A.V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH. - St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. - 736 p.
 8. Ignatiev Ya.B. Ensuring the operation of the robotized assembly line in case of robot failure // Assembling in machine building, instrument making. 2003. № 9. P. 24-27
 9. Murata T. Petri nets: properties, analysis and applications. // Tr. TIIEER, per. with English. T. 77. № 4. 1989. P. 41-79.
-