

Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 004.9

Д.Б. Аркатов

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ

В статье представлено применение мультиагентных технологий в системе координации движения подвижных средств. Приведено описание агентного подхода к моделированию движения подвижных средств. Дано формальное представление мультиагентной модели координации движения подвижных средств, представлена диаграмма состояний агентов. Описан алгоритм решения задачи координации с использованием мультиагентного подхода. Проведены эксперименты для сравнения систем с существующим диспетчерским управлением и разработанной интеллектуальной системой координации движения подвижных средств.

Ключевые слова: мультиагентная модель, координация движения, конфликтная ситуация, алгоритм, формальное представление, диаграмма состояний.

Введение

На сегодняшний день железные дороги являются базовой отраслью экономики Украины и основой ее транспортной системы. Из-за постоянно меняющихся потребностей в грузовых и пассажирских перевозках необходимо постоянно осуществлять контроль необходимого количества подвижных средств (ПС), которое можно определить осуществив анализ перевозок.

Информация о расписании железнодорожных перевозок и фактическом количестве ПС, осуществляющих перевозки, является исходной для дальнейших расчетов пропускной способности системы связи и передачи данных автоматизированной системы (АС), что обеспечит выполнение условия актуальности полученных данных и решение задачи координации движения в режиме реального времени.

Чем выше неопределенность, чем более распределенный характер имеют процессы принятия решения и чем чаще случаются незапланированные события (конфликтные ситуации), тем ниже эффективность существующих систем и технологий, не способных самостоятельно принимать решения и автоматически перестраиваться под изменения в железнодорожной обстановке.

Для решения подобных проблем применяются мультиагентные технологии, в основе которых лежит понятие «агента». Характерными особенностями агентов являются [1,2]:

1) коллегиальность, т. е. способность к коллективному целенаправленному поведению в интересах решения общей задачи;

2) автономность, т. е. способность самостоятельно решать локальные задачи;

3) активность, т. е. способность к активным действиям ради достижения общих и локальных целей;

4) информационная и двигательная мобильность, т. е. способность активно перемещаться и целенаправленно искать и находить информацию, энергию и объекты, необходимые для кооперативного решения общей задачи;

5) адаптивность, т. е. способность автоматически приспосабливаться к неопределенным условиям в динамической среде.

Эти возможности кардинально отличают мультиагентные системы (МАС) от существующих «жестко» организованных систем, обеспечивая им такое принципиально важное свойство как способность к самоорганизации. При этом агенты могут действовать от имени и по поручению лиц, принимающих решения, и на основе данных им полномочий в автоматическом режиме вести переговоры, находить варианты решений и согласовывать свои решения друг с другом.

Различные классы агентов и методы их взаимодействия рассматривались в работах Д. Кеннеди и Р. Эберхарта, Р. Марча и Т. Джонса, Д. Фербера, В. Бреннера, Н. Гуарино, В.Хорошевского, В. Городецкого, В.Тарасова, М. Глибовца и ряда других авторов. Вместе с тем, в этих работах методам коллективного и согласованного взаимодействия агентов в открытых системах уделялось недостаточно внимания, а существующие применения охватывали сферы различной коммерции, отдельных логистиче-

ских задач, информационного поиска и некоторые другие.

Целью данной статьи является описание применения агентного подхода, используемого при решении задачи координации движения ПС, а также имитационной модели, основанной на мультиагентной системе.

Формальное представление мультиагентной модели координации движения подвижных средств

Применение мультиагентных инструментальных средств позволяет решить ряд сложных задач диспетчерского управления на железной дороге. Мультиагентная модель необходима для автоматизации процесса принятия решения диспетчером при возникновении конфликтных ситуаций [3,4], необходимости внесения в расписание незапланированного подвижного средства и т.п. В случае отклонения подвижных средств от расписания, система позволяет корректировать расписание движения ПС, оснащенных средствами GPS-навигации и GPRS-технологии передачи данных, определяя необходимые управляющие воздействия. При появлении нового ПС система автоматически анализирует наличие возможных конфликтных ситуаций и определяет пути их устранения в соответствии с заданной функцией полезности всех агентов, осуществляющих взаимодействие.

Будем рассматривать абстрактную открытую систему, состоящую из n взаимодействующих агентов a_1, a_2, \dots, a_n , осуществляющих движение в соответствующих зонах управления. В ходе движения возможно возникновение конфликтных ситуаций, которые должны устраняться путем компромиссных решений конфликтующих агентов (рис. 1).

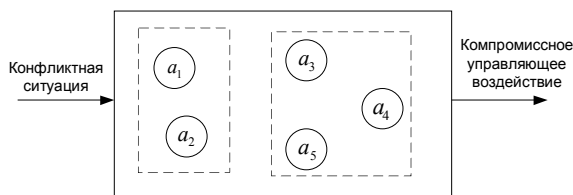


Рис. 1. Мультиагентная система координации движения

Обозначим $A = \{a_i\}_{i=1}^n$ – множество всех агентов.

Можно выделить три аспекта, характеризующие агентов: они содержат знания, они ощущают окружающую среду, они выполняют действия.

Обозначим $R = \{r_i\}_{i=1}^q$ – множество всевозможных различных навыков, присущих агентам из множества A (ресурсы).

Для каждого агента зададим функцию $C_a(a) : A \rightarrow 2^q$, которая определяет граф сетевых связей агентов с ресурсами. Учет этих, заранее заданных связей позволит сократить объем вычислений при решении поставленных задач.

Будем рассматривать функционирование системы на некотором интервале времени $[0, T]$. Физическая реализуемость агентов накладывает естественные ограничения сверху на возможный объем задействованных в конкретный момент времени $t \in [0, T]$, ресурсов:

$$x_i(t) \leq V_i(a),$$

где $x_i(t)$ – задействованный в момент времени t объем i -го ресурса, $V_i(a)$ – максимальный объем i -го ресурса для агента a (например, максимальное количество конфликтов, которое возможно разрешить в конкретной ситуации).

Использование ресурсов естественно приводит к затратам, определяемым продолжительностью и объемом задействованного ресурса. Для каждого из ресурсов $\forall i \in C_a(a)$ произведенные на интервале времени $[0, T]$ затраты естественно определять функционалом

$$L_i(a) = \int_0^T l_i(x_i(t), a) dt,$$

где l_i некоторая функция, определяемая типом ресурса a , по умолчанию $l_i = 0$ при $x = 0$ и $l_i = 1$ или $l_i = x$ в остальных случаях.

Конфликтные ситуации, возникающие в ходе движения, бывают различных типов [5]. Обозначим $C = \{c_i\}_{i=1}^m$ – множество всевозможных типов конфликтных ситуаций.

Будем считать, что для $\forall c \in C$ существует агент или группа агентов, которые в совокупности обладают способностью разрешения конфликта и формирования компромиссного управляющего воздействия. $\{v_i(c), d_i(c)\}$ определяет набор объемов ресурсов и длительность их задействования при разрешении конфликтной ситуации и возврата ПС в график. Каждый конфликт характеризуется временем прохода контрольной точки [5], максимально возможным временем выработки управляющего воздействия для разрешения конфликта, а также временем на обработку полученных данных:

$$c = c(t_{cp}, t_{max}, t_{pr}),$$

где t_{cp} – время прохода контрольной точки, t_{max} – максимально возможное время выработки управляющего воздействия для разрешения конфликта,

t_{pr} - максимальное время обработки полученных данных.

Общий объем ресурсов необходимый для решения конфликтной ситуации в контрольной точке определяется по формуле:

$$V = \sum_i v_i(c) d_i(c).$$

Каждому конфликту соответствует определенная группа агентов, которая должна и может его разрешить. Таким образом накладывается следующее ограничение:

$$\forall a \in A, \sum_i x_i v_i(a) \geq V_{min},$$

где V_{min} - минимальный объем ресурсов, необходимый для решения конфликта c , x_i - объем i -го ресурса.

Поскольку для каждого агента известно местоположение в определенный момент времени, то возможным является использование координат для представления зоны взаимодействия агентов в виде окружности радиуса R на двумерной карте. Таким образом накладывается следующее ограничение. Если координаты агентов удовлетворяют условию

$$h^2 + l^2 \leq R^2,$$

где h - широта, l - долгота, то данный агент рассматривается как потенциально конфликтный.

Для описания поведения агентов используется диаграмма состояний (рис. 2). Диаграмма состояний позволяют графически определить возможные состояния агента, переходы между ними, события, вызывающие эти переходы, временные задержки и действия, совершаемые агентом на протяжении своей жизни.

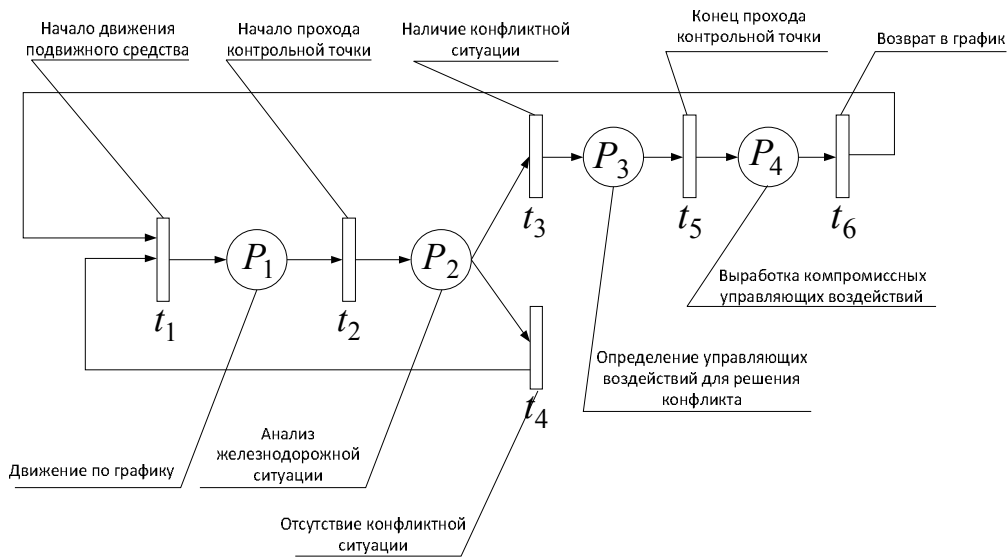


Рис. 2. Диаграмма состояний агента

Алгоритм решения задачи координации с использованием мультиагентного подхода

Пусть в диспетчерской зоне управления находится некоторое множество агентов A . Для каждого агента из этого множества определяется расчетное время отправления и время прохода контрольных точек.

Шаг 1. Агенты (ПС) осуществляют движение в рамках своей диспетчерской зоны, получая и передавая информацию о своем местоположении, текущей скорости и, соответственно, расчетное время прохода контрольной точки.

Шаг 2. При проходе контрольной точки осуществляется проверка бесконфликтности движения [3] для агентов, находящихся в зоне взаимодействия.

Шаг 3. При обнаружении конфликтной ситуации агенты «договариваются» о ее устранении, руководствуясь графиком движения и функцией цели [5]:

$$F = \sum_{j=i-m_1+1}^{i+n_1-1} c_j |\Delta t_j| \rightarrow \min,$$

где c_j – весовые коэффициенты j -го поезда, которые учитывают себестоимость одного производственного часа для оптимального режима езды поезда; Δt_j – временные задержки для устранения конфликтной ситуации.

Шаг 4. Принятое решение передается диспетчеру для осуществления контроля движения.

Разработка интеллектуальной системы координации движения подвижных средств

Для создания имитационной модели и программной реализации поставленной задачи на основе ее формального представления была использована среда AnyLogic, обладающая необходимым набором инструментальных средств для моделирования

дискретно-событийных процессов и мультиагентных технологий. В нашем случае дискретно-событийная модель описывает железнодорожную сеть, а мультиагентная модель описывает поведение ПС и коммуникации между ними.

В среде AnyLogic дискретно-событийное моделирование функционирования системы представляется как хронологическая последовательность событий, происходящих в определенный момент времени, что влечет за собой изменение состояния системы. Имитационная модель разрабатывалась с использованием встроенной в библиотеки Enterprise Library.

С объекта Source начинается диаграмма процесса железнодорожного трафика. Source создает ПС, помещает их на один из путей и вставляет заявку типа Customer в диаграмму процесса, задающую трафик поездов. Время возникновения поездов в модели задается по экспоненциальному закону с целью имитации случайности. ПС будет помещено на рельсы только в том случае, если на этом пути

перед ним будет требуемое расстояние, свободное от других поездов. В противном случае новое ПС будет храниться во внутреннем буфере объекта Queue до тех пор, пока необходимое расстояние не будет освобождено. Ограничение количества мест в буфере, в нашем случае, составляет 1000 ПС. Далее ПС следуют по маршруту, задаваемому объектами Conveyor. Объект SelectOutput направляет входящие ПС в один из двух выходных портов, т.е. по двум различным маршрутам. В нашем случае вероятность выбора направления движения – 50%. Объект hold блокирует/разблокирует поток заявок, с его помощью моделируется остановка ПС на перекрестке. Одна из диаграмм дорожного трафика представлена на рис. 3.

Отдельно были реализованы перекрестки со светофорами. Состояние перекрестка (как набор цветов на соответствующих позициях) было представлено при помощи диаграмм состояний (state-chart), представленных на рис. 4.

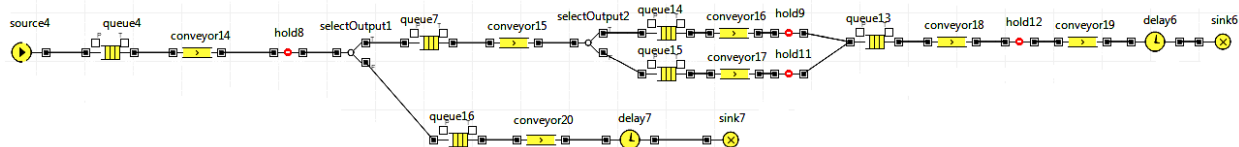


Рис. 3. Диаграмма процесса дорожного трафика

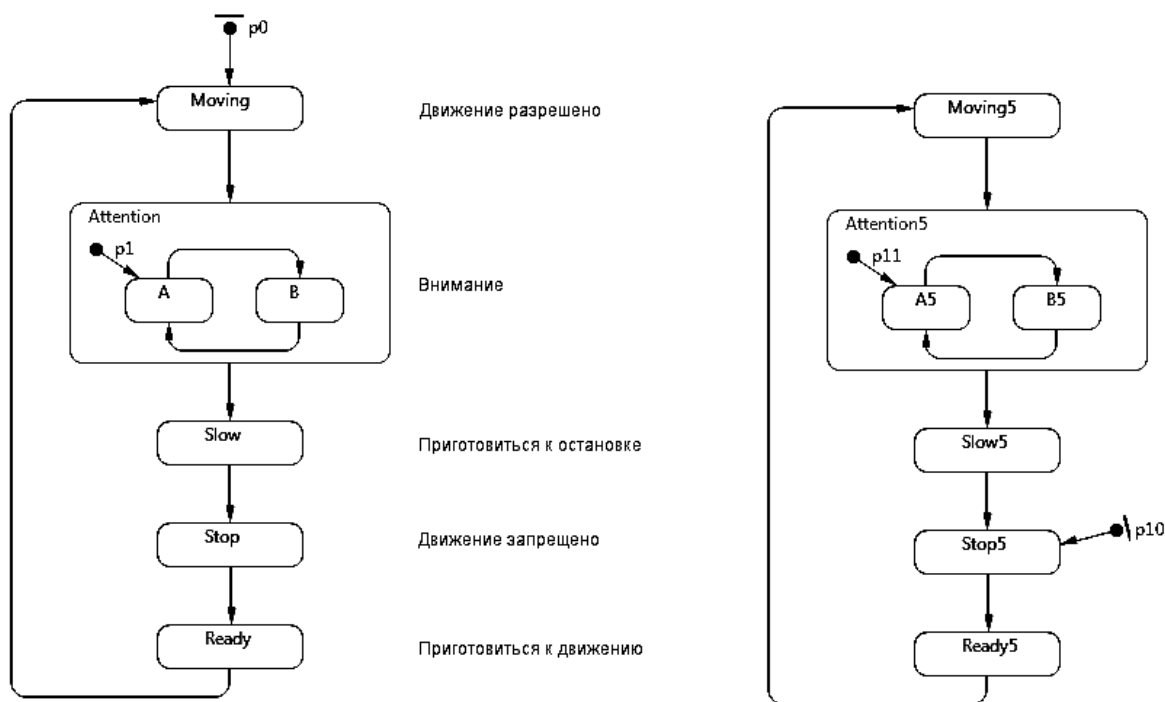


Рис. 4. Диаграммы состояний, описывающие перекресток

Так как полноценной поддержки в Anylogic интеллектуальных агентов нет, были реализованы основные их свойства (целеустремленность, ментальная модель, реактивность и социальное поведение) с помощью соответствующих функций и переменных.

Относительные скорости перемещения ПС и интервалы переключения светофоров были взяты на основе реальных данных (но пропорционально увеличены – для получения оперативных результатов работы модели).

Для демонстрации работы алгоритмов были рассмотрены два примера с несколькими перекрестками, местами с однопутным движением.

Первый из них (рис. 5) – типичная железнодорожная карта со светофорами во всех точках, в которых возможно возникновение конфликтной ситуации. Количество подвижных средств сознательно увеличено, и из каждого условного места отправления выезжает 50 ПС. Это количество значительно превосходит реальное значение отправляемых ПС, однако позволяет использовать меньшее модельное время для оценки

длительности прохождения ПС всего заданного маршрута. Второй пример (рис. 6) – экспериментальная модель с интеллектуальной системой координации движения подвижных средств на основе мультиагентных технологий. В отличие от первого случая, светофоры исключены из железнодорожной инфраструктуры. Конечно, на реальных железных дорогах такие участки отсутствуют, однако данная модель отображает эффективность применения мультиагентных технологий в диспетчерском управлении. Количество ПС из каждого места отправления также 50.

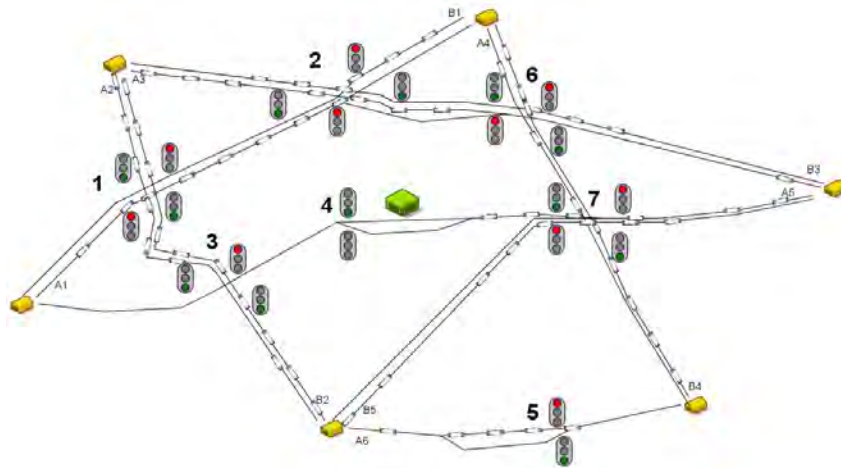


Рис. 5. Экспериментальная модель с существующим диспетчерским управлением



Рис. 6. Экспериментальная модель с интеллектуальной системой координации движения подвижных средств

Как показали эксперименты, эффект от мультиагентного подхода (по сравнению с обычным железнодорожным движением со светофорами) достигается за счет меньшего времени простоя ПС на запрещающий сигнал светофора.

Конфликтные ситуации на перекрестках не возникают, однако значительную часть временных ресурсов занимает простой ПС. На рисунке 7 представлено распределение по времени пребывания ПС в системе, среднее значение которого 174,086 минуты. За счет гибкого перестроения режима работы и

применения мультиагентных технологий примерно в 2,5 раза удалось сократить среднее общее время пребывания ПС в системе за счет снижения интервала ожидания на перекрестках по сравнению с обычными светофорными перекрестками с фиксированным временем переключения (обычные светофорные перекрестки в AnyLogic моделировались как автоматы с конечным числом состояний и фиксированным временем смены состояния). Среднее значение времени пребывания в системе составило 70,008 минуты.

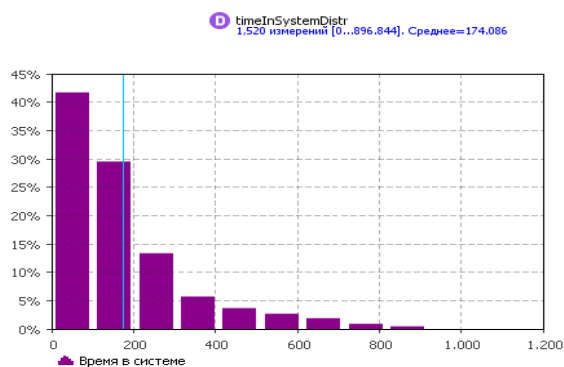


Рис. 7. Распределение временных значений пребывания ПС в системе с существующим диспетчерским управлением

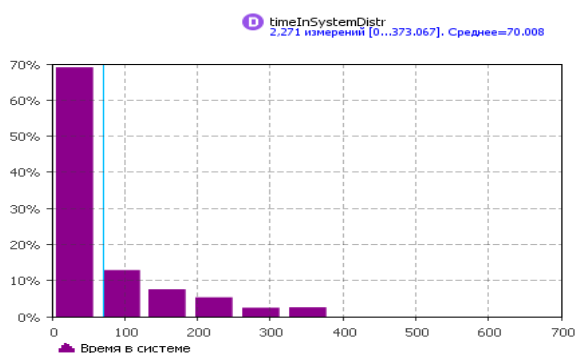


Рис. 8. Распределение временных значений пребывания ПС в системе с интеллектуальной системой координации движения подвижных средств

На основе приведенных данных можно сделать вывод, что внедрение современных информационных технологий, в частности мультиагентных систем, позволяет оптимизировать диспетчерское управление и вывести его на качественно новый уровень. Интеграция интеллектуальной системы координации движения подвижных средств в существующую систему диспетчеризации позволит не только сократить время, затраченное на грузовые и пассажирские перевозки, но и получить значительный экономический эффект.

МОДЕЛІ І МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

Д.Б. Аркатов

У статті представлено використання мультиагентних технологій в системі координації руху рухомих засобів. Наведено опис агентного підходу до моделювання руху рухомих засобів, дано формальне представлення мультиагентної моделі координації руху рухомих засобів, представлена діаграма станів агентів. Описаний алгоритм вирішення задачі координації з використанням мультиагентного підходу. Проведені експерименти для порівняння систем з існуючим диспетчерським управлінням і розробленою інтелектуальною системою координації руху рухомих засобів.

Ключові слова: мультиагентна модель, координація руху, конфліктна ситуація, алгоритм, формальне представлення, діаграма станів.

AUTOMATION MODELS AND METHODS OF UKRAINE RAILWAY TRANSPORT SUPERVISORY CONTROL

D.B. Arkatov

The article shows the application of multi-agent technology in the coordination of mobile assets movement. The description of the agent-based approach to modeling the movement of mobile assets. A formal presentation of mobile assets movement the coordination multi-agent model, is represented by a state diagram agents. An algorithm for solving the coordination problem, using multi-agent approach. Experiments to compare systems with existing dispatching and developed intelligent coordination of mobile assets movement.

Keywords: multi-agent model, the coordination of movements, conflict situation, algorithm, formal representation, a state diagram.

Выводы

Таким образом, в данной статье получены следующие результаты:

1. Формализована мультиагентная модель координации движения подвижных средств.
2. Представлена диаграмма состояний агентов.
3. Представлен алгоритм решения задачи координации с использованием мультиагентного подхода.
4. Проведены эксперименты для сравнения систем с существующим диспетчерским управлением и разработанной интеллектуальной системой координации движения подвижных средств. Результаты проведения экспериментов показали, что среднее время пребывания ПС в системе снизилось приблизительно в 2,5 раза за счет применения агентных технологий в решении поставленной задачи.

Список литературы

1. Shoham Y. *Multiagent systems: Algorithmic* / Y. Shoham, K. Leyton-Brown // *Game-Theoretic and Logical Foundations*. – London: Cambridge University Press, 2009. – P. 14-37.
2. Wiering M. *Multi-Agent Reinforcement Learning for Traffic Light Control* / M. Wiering // *Proc. 17th Int. Conf. on Machine Learning*, 2000. – P. 11.51-11.58.
3. Аркатов Д.Б. *Постановка задачи «Разработка системы связи и передачи данных автоматизированной системы «Навигация и управление для железнодорожного транспорта Украины»* / Д.Б. Аркатов, Ю.М. Борушко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – Вип. 29. – С. 75-83.
4. Аркатов Д.Б. *Синтез моделей координации движения подвижных средств железнодорожного транспорта Украины* / Д.Б. Аркатов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2012. – № 4/3 (58). – С. 58-60.
5. Аркатов Д.Б. *Задача координации движения подвижных средств* / Д.Б. Аркатов // *Системы обработки информации*. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 7 (105). – С. 40-43.

Поступила в редколлегию 22.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Д. Годлевский, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.