

References:

1. *Kane M.R.* Air Transportation. – USA, Iowa: Kendall Hunt Publishing Company, 1990. – 500 p.
2. *Plotnikov N.I.* The Development of the Subject Domain Observation Complex for Management Purposes / 2018 14th International Scientific-Technical Conference APEIE – 44894. – NSTU, 2018. – Vol. 1. Part 1. – P. 268-272.
3. *Shappell S.A., Wiegmann D.A.* The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) / FSF Flight Safety Digest. – 2001. – № 2. – P. 15-28.
4. *Wiener E.L., Kanki B.G., Helmreich R.L.* Cockpit Resource Management. – USA. N.Y: Academic Press, 1993. – 519 p.
5. *Zadeh L.A.* Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing // Communications of the ACM, March 1994. – 1994. – Vol. 37. № 3. – P. 77-84.
6. *Broach D., Joseph K.M., Schroeder D.J.* Pilot age and accident rates report 3: an analysis of professional air transport pilot accident rates by age. – Civil Aeromedical Institute, Human Resources Research Division, FAA. – 2003. – 63 p.
7. *Plotnikov N.I.* “Automated system for predicting and preventing accidents at the organization and production of air transport”. The intermediate stage № 4: «Adaptation of the developed algorithms and software AS». – Scientific- and-technical report «2010-218-02-068», № State registration 01201150118 from 12.01.2011, № 194. – Ulyanovsk. – 2012. – 1340 p. / N.I. Plotnikov – Section 3. – P. 154-238; Applications: I, K, L, M, N. – P. 1048-1258. (in Russian).

Баранов Л.А., Балакина Е.П., Сидоренко В.Г.

**Безопасное диспетчерское управление в условиях
использования интеллектуальных беспилотных систем
управления движением городского внеуличного транспорта**

Аннотация: Рассмотрены принципы построения Интеллектуальной системы управления движением городским внеуличным рельсовым транспортом, приведены функции уровней иерархии системы, описаны задачи, решаемые в различных ситуациях функционирования линий внеуличного транспорта.

Показана роль диспетчерского управления при использовании интеллектуальных беспилотных систем. Отмечена роль использования тренажерных комплексов в составе системы, обеспечивающих самообучение и тестовую проверку их знаний. Способы построения системы и совокупность мероприятий по повышению квалификации диспетчерского аппарата позволяют обеспечивать требуемую безопасность функционирования линии городских рельсовых транспортных систем.

Ключевые слова: управление движением внеуличным транспортом, алгоритмы оперативного управления, тренажер поездного диспетчера, безопасное диспетчерское управление, интеллектуальные транспортные системы, уровни иерархии

Интеллектуальные системы управления движением внеуличным транспортом относятся к классу иерархических систем и содержат три уровня управления [1]. На верхнем уровне управления собирается информация о движении транспортных средств по всем линиям метрополитена, скоростного трамвая, электропоездов пригородного движения, имеющих остановки в черте города, осуществляется согласование движения в случаях чрезвычайных ситуаций и управление взаимодействием с другими видами транспорта (рисунок 1).

На втором уровне реализуется управление каждой линией, контролируемое диспетчерским аппаратом. Обеспечению безопасности диспетчерского управления на этом уровне посвящена данная работа.

Исходной информацией для второго уровня является плановый график движения. С третьего уровня на второй поступает информация о моментах прибытия и отправления транспортных средств на остановочные пункты. При компенсируемых отклонениях от графика движения алгоритмы второго уровня в автоматическом режиме определяют рассогласование между плановым и исполненным графиками движения и вырабатывают управление для третьего уровня. Управляющими воздействиями в данном случае являются времена хода и времена длительности стоянки транспортных средств. В этих условиях реализуются

алгоритмы, относящиеся к классу графических, учитывающие зависимости ограничений на управление в зависимости от расположения поездов на линии с прогнозом возмущающих воздействий, вызывающих задержки поездов на станциях метрополитена [2,3]. Ограничения на этом уровне задаются системами обеспечения безопасности движения.



Рисунок 1 – Структура Интеллектуальной системы управления движением внеуличным транспортом

При некомпенсируемых отклонениях от графика движения работают два класса алгоритмов. Первый – управление во время сбоя движения, второй – управление после ликвидации причин возникновения сбоя с целью восстановления движения по плановому графику [4]. Особенности управления движением поездов после ликвидации причин сбоя связаны с необходимостью

расстановки составов в депо или в заданных точках линии для реализации ночной расстановки и/или графика оборота составов, при котором обеспечиваются необходимые плановые осмотры поездов.

Рассмотрим участие диспетчерского аппарата при управлении во время сбоев движения. Показано [4], что все возможные сбои могут быть разделены на четыре основных типа:

- прекращение движения на участке пути;
- ограничение скорости на участке пути;
- неисправность подвижного состава, приводящая к движению с пониженной скоростью;
- неисправность подвижного состава, запрещающая его использование для пассажирских перевозок.

Каждая нештатная ситуация задается кортежем:

$$Extraordinary_situation=(type,time_start,place,period) \quad (1)$$

где:

- *type* - тип нештатной ситуации;
- *time_start* - время начала сбоя;
- *place* – место возникновения сбоя;
- *period* – период работы линии (часы пик, нефик, начало движения, окончание движения), связанный с наличием резервов управления.

Для каждого сбоя разработан типовой алгоритм, входным параметром которого является кортеж (1), позволяющий учесть в качестве параметров работы алгоритма время возникновения нештатной ситуации, место ее возникновения, с учетом месторасположения по отношению к депо и станциям с путевым развитием, и диапазон резервов времен хода по перегонам и времен стоянок на станциях, используемых для управления движения.

Предложенные алгоритмы централизованного управления построены на основе обобщения опыта работы диспетчеров и исследованы методами имитационного моделирования. Инструментом для проведения моделирования является многофункциональная модель линии метрополитена, качество которой апробировано путем многолетнего использования в составе Тренажера поездного диспетчера Московского метрополитена.

Анализ качества управления проведен путем сравнения результатов моделирования с исполненными графиками реальных случаев, имеющих место на Московском метрополитене. Критерием качества работы алгоритмов является обеспечение равномерности движения на максимально возможном числе открытых для пассажироперевозок участков линии. Качество функционирования разработанных алгоритмов подтверждено анализом результатов их работы экспертной группой, в состав которой входили опытные диспетчера и работники Службы движения. Существенным параметром является время реакции системы на входную информацию о сбое, т.е. время между получением информации о начале сбоя и принятием управленческих решений. Современные средства вычислительной техники позволяют получить это время в пределах 2 секунд, что говорит о возможности использования алгоритмов в оперативном управлении.

Принципы построения алгоритмов базируются на моделях ситуаций, для каждой из которых учитывается возможности управления числом поездов, времен их хода, временем стоянки на станциях. По существу, предлагается оперативный график на период сбоя, на основании которого формируется последовательность управлений. В этом случае действия диспетчера могут идти по трем сценариям:

- согласие с предложенным алгоритмом;
- коррекция предложенного алгоритма;
- выработка собственного решения.

После ликвидации причин возникновения сбоя движения автоматически работает соответствующий алгоритм и сообщает результаты своей работы диспетчеру. Роль диспетчера при этом аналогична управлению во время сбоя.

Принципы построения данного алгоритма были выбраны после перебора всех возможных вариантов восстановления графика с целью выбора из них решения, обеспечивающего минимизацию основного критерия качества работы данного алгоритма – минимального времени вхождения в график. Очевидно, что этот подход не реализуем в условиях оперативного управления, так как время перебора и выбора лучшего по быстродействию варианта превышало 24 часа. Вместе с тем, эти данные позволили получить минимальное значение выбранного критерия, с которым возможно

сравнивать способы управления, получаемые для алгоритмов, работающих за приемлемое время. Для уменьшения числа вариантов были выбраны ограничения на управление, соответствующие требованиям комфортной перевозки пассажиров. Эти ограничения обычно используются диспетчерами в реальных ситуациях. В частности, не допустимыми являются неплановый оборот двух последовательно идущих поездов и отправление в депо двух поездов подряд, так как это может привести к скоплению пассажиров на текущей и впередилежащей станции за счет увеличения межпоездного интервала. Обязателен учет графика оборота, так как недопустимо нарушение времени осмотра подвижного состава.

С учетом указанных ограничений разработан эвристический алгоритм, время работы которого не превышает 1 мин 30 сек, за которые формируется оперативный график восстановления движения поездов. В качестве дальнейшей модернизации алгоритма решена задача экономии электроэнергии за счет перераспределения времен хода на участке между начальной и конечной оборотными станциями движения поезда.

Третий уровень – беспилотное управление поездными единицами. На этом уровне поездные единицы получают команды заданного времени хода по перегону, требуемые длительности стоянок, сигналы систем обеспечения безопасности, ограничивающие скорость движения с целью недопущения опасного сближения поездов на расстояние меньше тормозного пути. На этом же уровне происходит прицельное управление поездной единицей на остановочных пунктах, автоматическое выполнение ограничений по скорости, вплоть до полной остановки, по сигналам системы обеспечения безопасности, управление троганием поезда, управление открытием и закрытием дверей, радио-оповещение пассажиров и т.д. Следует отдельно подчеркнуть, что со второго уровня для каждой поездной единицы может быть реализована команда полной остановки поезда в любой точке пути [1].

Рассмотренное построение системы диспетчерского управления требует высокого профессионализма диспетчеров и быстроты их реакции на предлагаемое решение. Должна быть разработана система мероприятий, обеспечивающая высокую

профессиональную готовность диспетчерского аппарата. С этой целью применяется тренажер поездного диспетчера, используемый в качестве электронного двойника линии метрополитена [5]. Разрабатывается и постоянно совершенствуется система сценариев сбойных ситуаций, тестовые алгоритмы эффективных решений. Существенным вопросом является создание методики, обеспечивающей последовательность тренировок диспетчеров, цикличность этих тренировок с контролем их эффективности [6]. Под контролем эффективности понимается выбор и обоснование критериев эффективности и разработка методических мероприятий по повышению количественных показателей этих критериев. В частности, составной частью векторного критерия является время выработки решений на сбойную ситуацию, балльная оценка эффективности принятого решения, количество неудачных решений, приводящих к уменьшению провозной способности линий во время сбоев.

Построение тренажера позволяет использовать его в режим самообучения и тестовом режиме. Имеется положительный опыт использования тренажера на Московском метрополитене для обучения и повышения квалификации поездных диспетчеров.

Совокупность указанных мероприятий позволяет получить эффективную процедуру взаимодействия диспетчерского аппарата с техническими средствами Интеллектуальной централизованной системы автоматического управления движением поездов линии метрополитена.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-37-51001

Acknowledgments. The reported study was funded by RFBR, Sirius University of Science and Technology, JSC Russian Railways and Educational Fund “Talent and success”, project number 20-37-51001

Литература:

1. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г., Балакина Е.П., Логинова Л.Н. Интеллектуальное централизованное управление движением внеуличного городского железнодорожного транспорта в условиях интенсивного движения // Надежность. – 2021. – Т. 21. № 2. – С. 17-23.

2. Баранов Л.А., Балакина Е.П., Воробьева Л.Н. Алгоритмы для поездов метрополитена // Мир транспорта. – 2007. – №2. – С. 104-113.

3. Баранов Л.А., Балакина Е.П., Иконников С.Е., Антонов Д.А. Централизованное управление движением поездов городских железных дорог современного мегаполиса // Наука и техника транспорта. – 2020. – №1. – С. 30-38.

4. Балакина Е.П. Принципы построения алгоритмов системы поддержки принятия решений поезвному диспетчеру // Наука и техника транспорта. – 2008. – №2. – С. 23-26.

5. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г., Ерофеев Е.В., Максимов В.М., Васьков Д.Б. Тренажер поездного диспетчера линии метрополитена // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2012. – № 10. – С. 32.

6. Баранов Л.А., Сидоренко В.Г., Балакина Е.П., Логинова Л.Н. Интегрированный подход в обучении оперативных работников городских рельсовых транспортных систем // Наука и техника транспорта. – 2021. – № 2. – С. 22-31.

Сафронов А.И.

Доступность рельсовых транспортных систем города Москвы

Аннотация: В работе рассмотрены вопросы доступности, резервирования и связности единой транспортной сети города Москвы. Выполнен обзор актуального состояния вопроса организации доступной транспортной среды. Проанализированы перспективы и варианты развития единой транспортной сети города Москвы.

Ключевые слова: метрополитен, трамвай, городская электричка, московские центральные диаметры, доступность, мобильность, трассировка, инклюзивность

Развитие транспортного комплекса крупных мегаполисов связано с решением задач рационального управления пассажиропотоками, транспортными средствами, безопасностью организуемых перевозок, а также с культурой обслуживания пассажиров.