

УДК 656.42:656.25–52:656.22.05

**Сидоренко В. Г., д-р техн. наук,
Сафронов А. И., канд. техн. наук,
Филипченко К. М.,
Чжо М. А.**

Кафедра «Управление и защита информации»,
Московский государственный университет путей сообщения
Императора Николая II

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

В статье выполнен анализ работ российских и зарубежных авторов, касающихся автоматизации планирования движения поездов. Акцент сделан на таких этапах разработки средств автоматизации построения планового графика движения поездов метрополитена, как разработка моделей бизнес-процессов, связанных с построением графика; выбор схемы, применяемой для создания программного обеспечения; программная реализация действий по автоматизированному построению планового графика.

Анализ литературы показал тесное взаимодействие систем планирования и управления движением поездов, необходимость единого подхода к решению задач планирования движения поездов и технического обслуживания подвижного состава и инфраструктуры, применимость современных алгоритмов искусственного интеллекта и достижений в области компьютерных наук для решения рассматриваемых задач.

В статье выполнена декомпозиция технологического процесса сбора и анализа данных графика оборота подвижного состава и планового графика движения поездов на три составных части: подготовка исходных данных для автоматизированного построения графика оборота и планового графика; их автоматизированное построение; анализ и передача заинтересованным службам результатов автоматизированного построения.

Авторы статьи предлагают при создании программных средств автоматизации построения планового графика применять схему Model-View-Controller (модель – представление – контроллер) и показывают, что ее достоинства, а именно отделение бизнес-логики от визуализации, отвечают запросам пользователей и разработчиков рассматриваемой системы.

Плановый график движения поездов строится с разной степенью использования средств автоматизации. Средства более высокого уровня являются композицией средств более низкого. Эффективно использование понятия паттернов проектирования и языка графического описания/моделирования программного обеспечения Unified Modeling Language для описания взаимодействия средств автоматизации разного уровня.

В настоящее время ведутся инициативные работы по модернизации существующей автоматизированной системы построения планового графика движения поездов метрополитена на основе изложенных в статье принципов.

автоматизация; построение планового графика движения; инициализация; проверка возможности выполнения действия

Введение

В 2004 г. в Московском метрополитене внедрена автоматизированная система построения плановых графиков движения пассажирских поездов (АСП ПГД ППМ, АРМ графиста), разработанная на кафедре «Управление и защита информации» («УиЗИ») Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МГУПС (МИИТ)). За время эксплуатации система показала свою эффективность. Она используется для построения плановых графиков движения поездов (ПГД) для всех линий Московского метрополитена, которые существенно различаются между собой по свойствам, количеству и взаимодействию объектов. ПГД может строиться с разной степенью автоматизации [1]. Интерфейс системы претерпел за время эксплуатации значительные изменения в соответствии с запросами пользователей. В данной статье авторы анализируют соответствующий опыт и представляют свои подходы к созданию АРМ графиста 2 с использованием современных технологий программирования и последних достижений в области компьютерных наук (computer science) [2].

1 Анализ работ, посвященных автоматизации планирования движения поездов

Средства автоматизации относятся к классу систем поддержки принятия решений [3] и, следовательно, с одной стороны, включают в свой состав развитую бизнес-логику, а с другой – мощные средства визуализации. Проанализируем опыт автоматизации планирования движения поездов как в России, так и за рубежом.

Существует ряд научных публикаций, посвященных применению интеллектуальных вычислительных систем для планирования перевозочного процесса на железных дорогах и в метрополитенах.

В статье [4] выполнена классификация *задач планирования* перевозочного процесса на железных дорогах и в метрополитенах, касающихся:

- движения поездов;
- технического обслуживания подвижного состава;
- технического обслуживания инфраструктуры;
- взаимодействия с системами управления движением поездов и интервального регулирования движения поездов.

В данной статье сделан акцент на такой особенности железнодорожного транспорта, как строгая предопределенность железнодорожным путем маршрута движения поезда. Там же рассматриваются различные аспекты планирования движения поездов:

– место системы планирования движения поездов в рамках системы управления перевозочным процессом на железных дорогах, используемой на железных дорогах Европы, в том числе и высокоскоростных, – Европейской системы управления перевозочным процессом на железных дорогах (ERTMS) [5, 6, 7, 8];

– применение при построении оперативного графика движения поездов современных алгоритмов искусственного интеллекта [9], в частности генетических алгоритмов [10];

– оптимизация планового графика движения поездов [11], в частности методом Роя Частиц [12];

– планирование технического обслуживания подвижного состава [13];

– применение различных формализаций к решению задачи планирования и управления: языка графического описания/моделирования программного обеспечения Unified Modeling Language (UML) и сетей Петри [14], специализированного языка разметки метаданных RailML, наследника языка XML, используемого для определения железнодорожных терминов [15].

Вопросам автоматизации планирования перевозочного процесса в метрополитенах посвящено множество работ российских авторов, например [1, 16–31]. Один из возможных подходов к систематизации этих работ представлен на рис. 1.

2 Формализация описания бизнес-логики системного построения автоматизированного рабочего места графиста

При разработке средств автоматизации под бизнес-логикой понимается совокупность правил, принципов, зависимостей поведения объектов предметной области (области человеческой деятельности, которую система поддерживает) [32].

Разработка средств автоматизации построения ПГД подразумевает следующие этапы:

1. Разработка моделей бизнес-процессов, связанных с построением ПГД.
2. Формирование множества задач, решаемых в процессе построения ПГД, на основе разработанных моделей.
3. Формирование множества сценариев, представляющих собой формализованные схемы решения задач пользователей и, как правило, включающих в себя диалог пользователя и средств автоматизации.
4. Разработка информационного обеспечения средств автоматизации.
5. Разработка математического обеспечения средств автоматизации.
6. Разработка программного обеспечения средств автоматизации:
 - 6.1. Выбор схемы, применяемой для создания программного обеспечения.

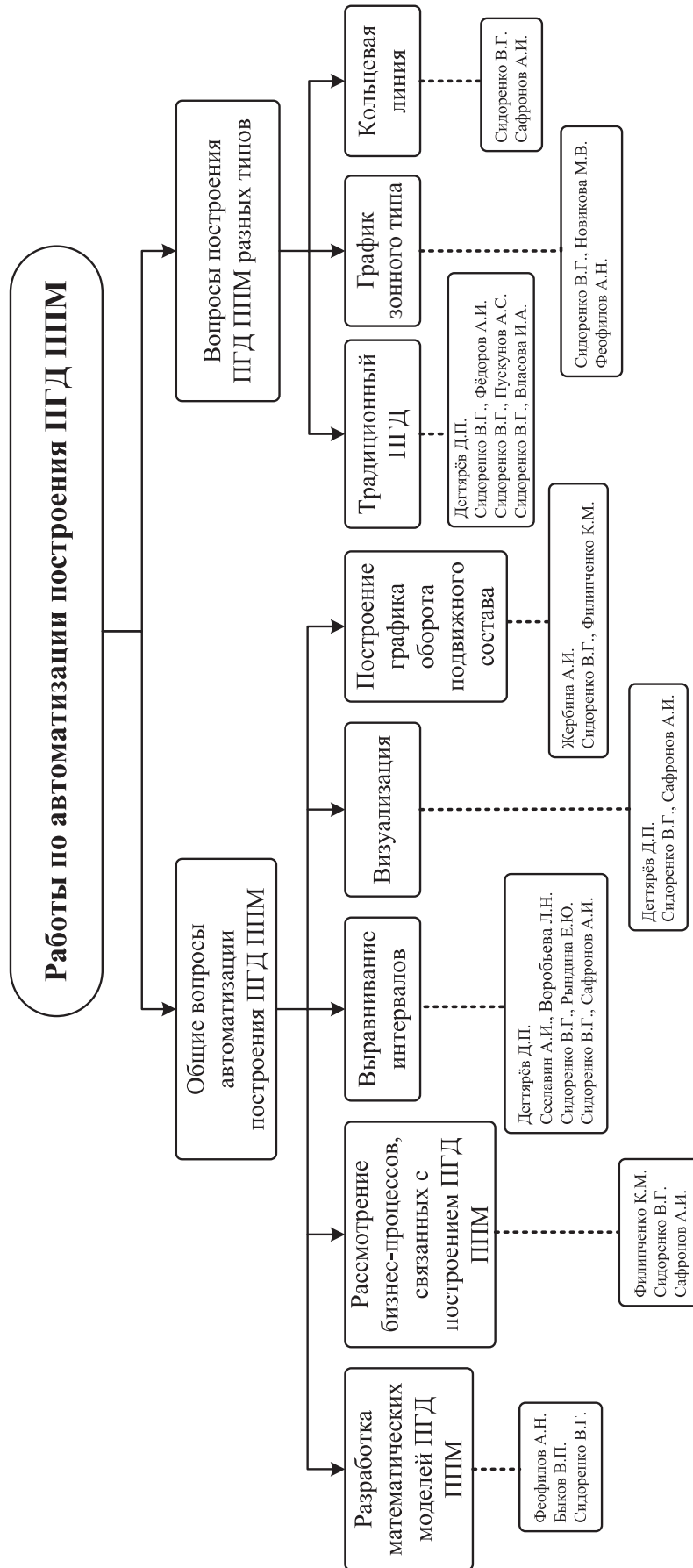


Рис. 1. Вклад ученых и разработчиков в развитие АСП ПГД ППМ

6.2. Реализация сценариев решения задач пользователей.

6.3. Определение множества элементов и разработка интерфейса средств автоматизации.

7. Разработка руководства пользователей средств автоматизации.

8. Определение места создаваемых средств автоматизации в общей структуре средств автоматизации в метрополитене.

В статье [18] представлена укрупненная диаграмма технологического процесса сбора и анализа данных, являющихся исходными для построения графика оборота подвижного состава и ПГД, выполненная с использованием нотации EPC (Event-driven Process Chain – событийная цепочка процессов). Технологический процесс сбора и анализа данных графика оборота и ПГД включает в себя следующие основные модели связанных с построением ПГД бизнес-процессов:

– подготовки исходных данных для автоматизированного построения графика оборота и ПГД;

– автоматизированного построения графика оборота и ПГД;

– анализа и передачи заинтересованным службам результатов автоматизированного построения графика оборота и ПГД.

Данные модели бизнес-процессов являются основой для успешного выполнения следующих этапов разработки средств автоматизации построения ПГД.

3 Выбор схемы, применяемой для создания автоматизированной системы построения плановых графиков движения пассажирских поездов метрополитена

Одной из широко применяемых схем для создания программных продуктов, которыми и являются средства автоматизации, является схема Model-View-Controller (MVC, модель – представление – контроллер) [32]. Она представлена на рис. 2. Логика работы программных продуктов, построенных с использованием схемы MVC, может быть различной, что объясняет присутствие в ней резервирующих друг друга связей.

Схема работает следующим образом:

1. Пользователь выбирает с использованием представления объект управления на экране (связь 1).

2. Представление отправляет запросы пользователя для контроллера (связь 2).

3. Контроллер инициирует изменение состояния модели в соответствии с запросами пользователя (связь 4).

4. Модель передает для контроллера информацию об изменении своего состояния в результате реализации бизнес-логики (связь 6).

5. Контроллер передает команду на отображение изменений состояния модели на экране представлению (связь 7).



Рис. 2. Модель – представление – контроллер

В рассматриваемой схеме предусмотрено резервирование:

1. Вместо связей 1 и 2 может использоваться связь 3. Наличие «горячих» клавиш и работа с клавиатурой позволяют пользователю выбирать команды управления, не обращаясь напрямую к графическим объектам управления, представленным на экране, минуя представление. В этом случае пользователь передает команды по управлению моделью непосредственно для контроллера.

2. Вместо связей 2 и 4 может использоваться связь 5. В этом случае запросы пользователя передаются от представления к модели, минуя контроллер.

3. Вместо связей 6 и 7 может использоваться связь 8. В этом случае модель напрямую обновляет представление в соответствии с результатами реализации бизнес-логики.

Использование связей 5 и 8 соответствует случаю использования активной модели [34].

Авторы статьи использовали различные подходы в рамках модели MVC.

Тренажер поездного диспетчера, который имеет в своем составе несколько автоматизированных рабочих мест (АРМ), используемых для различных видов представления результатов работы модели, объединенных локальной

вычислительной сетью, для отображения информации использует связи 6 и 7, т. е. модель передает информацию для представления через контроллер [32].

АСП ПГД ППМ, напротив, использует связь 8, т. е. модель напрямую передает информацию для представления.

Схема Model-View-Controller обладает рядом преимуществ.

Во-первых, при использовании этой схемы бизнес-логика, реализованная в модели, отделена от ее визуализации (представления, вида). Контроллер, связывающий пользователя и систему, отслеживает правильность ввода данных пользователем, а также использует модель и представление для реализации необходимой реакции [32].

В настоящее время при создании программного обеспечения используются паттерны (иначе шаблоны, стандартные блоки) проектирования, предназначенные для описания неоднократно возникающих в ходе работы задач и принципов их решения таким образом, чтобы это решение могло использоваться многократно, не изменяясь.

Выбранная схема создания АРМ графиста позволяет широко использовать паттерны проектирования. Согласно определению, данному в [32], *паттерн проектирования* – это «описание взаимодействия объектов и классов, адаптированных для решения общей задачи проектирования в конкретном контексте. Паттерн проектирования именуется, абстрагирует и идентифицирует ключевые аспекты структуры общего решения, которые и позволяют применить его для создания повторно используемого дизайна» [32]. Наличие развитого интерфейса АРМ графиста и, как будет показано ниже, большого количества разнообразных действий, выполняемых системой, делает актуальным использование паттерна «Команда» (Command), который позволяет инкапсулировать действие в объект и отделить инициатора этого действия от его исполнения.

За счет разделения модели и представления увеличивается возможность повторного использования результатов функционирования модели [32]. Например, для визуализации результатов построения ПГД используются две формы представления:

– графическое, которое применяется в ходе диспетчерского управления движением поездов и передается во все службы метрополитена;

– табличное (расписание движения поездов), выдаваемое машинистам поездов и загружаемое в автоматизированные средства управления движением поездов (поездные устройства автоведения, автоматизированные средства построения графика исполненного движения и др.).

Для визуализации в графической форме используются две традиционных формы:

– ПГД; при использовании этой формы представления ПГД отображается на координатной плоскости, на которой осью абсцисс является ось астрономического времени, а осью ординат – ось уровней станций линии;

– график оборота подвижного состава; при использовании этой формы представления ПГД отображается на координатной плоскости, на которой осью абсцисс является ось астрономического времени, а осью ординат – ось маршрутов (составов с присвоенными им на сутки номерами).

В работах разных авторов встречаются и другие подходы к визуализации ПГД [19, 26].

Во-вторых, при использовании схемы MVC изменение реакции на действия пользователя приводит только к использованию другого контроллера.

В-третьих, если ряд разработчиков специализируется только на одной из областей: либо разрабатывают графический интерфейс, либо разрабатывают бизнес-логику – возможно реализовать эффективное разделение труда.

4 Процедуры автоматизированного построения графика движения пассажирских поездов метрополитена

Основой автоматизированного построения ПГД является выполнение действий (императивов) с объектами ПГД [33].

Действия классифицируются по набору объектов, чьи свойства меняются в процессе выполнения действий, а также степени сложности и укрупнения, зависящей от числа ниток графика и связанных с ними объектов, свойства которых меняются в результате его реализации. В табл. 1 представлена классификация действий с точки зрения пользователя системы. Наличие возможности выполнения одного или нескольких видов действий применительно к одной или группе ниток позволило ввести аналогию с известной таксономией Флинна, выделяющей основные типы вычислительных процессов с точки зрения параллелизма.

Базовой сущностью является сущность *BaseAction*, которая является обобщением всех простейших действий, каждое из которых позволяет изменить какой-либо предикат только одной нитки, т. е. реализовать один императив.

В том случае, если один и тот же императив предполагается применять к группе ниток, реализуется групповое действие, в котором заданное простейшее действие реализуется применительно к каждой из ниток группы.

Следующим уровнем автоматизации является применение логико-трансформационных правил, которые представляют собой последовательное выполнение различных действий в соответствии с заданным алгоритмом и исходными данными с последующей оценкой результата выполнения, к одной нитке. Это так называемое комплексное действие.

В том случае, когда некое логико-трансформационное правило применяется последовательно к группе ниток, реализуются процессы, которые являются функциями, реализуемыми в ходе выполнения бизнес-процесса автоматизированного построения графика оборота и ПГД.

Таблица 1. Описание сущностей действий

Сущности действий	Тип действий с точки зрения пользователя	Количество задействованных ниток ПГД	Количество типов реализуемых простейших действий	Аналог из таксономии Флинна
Базовое действие BaseAction	Базовое действие BaseAction	Одна	Один	Вычислительная система с одиночным потоком команд и одиночным потоком данных (SISD, Single Instruction, Single Data)
Простейшие действия SimpleAction	Простейшие действия SimpleAction	Одна	Один	SISD
Процесс Process	Групповое действие GroupAction	Много	Один	Вычислительная система с одиночным потоком команд и множественным потоком данных (SIMD, Single Instruction, Multiple Data)
	Комплексное действие ComplexAction	Одна	Много	Вычислительная система со множественным потоком команд и одиночным потоком данных (MISD, Multiple Instruction Single Data)
	Процесс Process	Много	Много	Вычислительная система со множественным потоком команд и множественным потоком данных (MIMD, Multiple Instruction Multiple Data)

С точки зрения разработчиков АРМ графиста, групповые, комплексные действия и процессы могут быть сведены к одной сущности – процессу, в рамках которого они различаются только количеством выполняемых действий и количеством ниток, к которым эти действия применяются.

Опыт создания АРМ графиста показал, что со временем перечень и способ реализации действий меняется, при этом задача реализации действий остается неизменной. В связи с этим в нашем случае имеет смысл использовать паттерн «Стратегия», который определяет семейство алгоритмов, инкапсулируя их все и позволяя подставлять один вместо другого [32]. Использование паттерна «Стратегия» обосновано наличием множества родственных классов, отличающихся только поведением. В табл. 2 приведены результаты применения паттерна «Стратегия» и определения связей между сущностями с применением языка UML к сущностям действий.

Таблица 2. Описание сущностей действий

Сущности действий	Тип связи с BaseAction в терминах UML	Роль в паттерне проектирования «Стратегия»
Базовое действие BaseAction	Обобщение	Стратегия
Простейшие действия SimpleAction	Реализация	Конкретная стратегия
Процесс Process	Композиция	Клиент

Для пояснения информации, представленной в табл. 2, приведем несколько определений [32, 35].

Сущность BaseAction заявляет общий для всех поддерживаемых алгоритмов интерфейс, поэтому в рамках паттерна проектирования «Стратегия» (Strategy) играет роль Strategy, а сущности простейших действий SimpleAction реализуют алгоритмы, используя интерфейс, заявленный в сущности BaseAction, поэтому являются конкретными реализациями стратегии ConcreteStrategyA, ConcreteStrategyB и т. д. Сущность Process использует различные конкретные стратегии, а значит, является клиентом стратегии Context.

Обобщение показывает, что одна из двух связанных сущностей (подтип, класс-наследник, в нашем случае это сущность SimpleAction) является частной формой другой (надтипа, класса-родителя, в нашем случае это сущность BaseAction), которая называется обобщением первого. Реализация – отношение между двумя элементами модели, в котором один элемент (клиент, в нашем случае это сущность SimpleAction) реализует поведение, заданное другим (поставщиком, в нашем случае это сущность BaseAction).

Композиция – форма агрегации со строгим владением и совпадением времени жизни частей некоего целого. Агрегация – разновидность ассоциации (структурной связи – набора ссылок, где ссылка представляет собой соединение между объектами), описывающая связь между агрегатом (целым, в нашем случае это сущность Process) и компонентом (частью, в нашем случае это сущность BaseAction).

Заключение

По итогам проделанной работы, а также на основе опыта отечественных и зарубежных ученых авторы отмечают неспадающую тенденцию автоматизации процессов, протекающих в метрополитене.

Анализ технической стороны вопроса показал, что абсолютно все разрабатываемые системы склонны к моральному устареванию, нуждаются в непрерывном сопровождении и своевременной модернизации с последую-

щей «горячей заменой». Последние из перечисленных мер требуют участия в проектах высококвалифицированных специалистов, владеющих современными технологиями программирования, а также знанием, собственно, транспортных процессов.

Изложенные в статье подходы наиболее полно описывают перечень мер, необходимых для поддержания высококачественного и эффективного функционирования действующей автоматизированной системы АРМ графиста. Вместе с тем эти подходы пригодны для столь же высококачественной и эффективной «горячей замены» действующей системы перспективной АРМ графиста 2 без потерь для модели, представления и, безусловно, контроллера.

Расширение модульного и объектно-ориентированного принципа проектирования на паттерны проектирования делает систему обитаемой и осваиваемой с точки зрения пользователей, разработчиков и технологов. Этот подход позволил существенно упростить развитие АРМ графиста 2.

Выполненные авторами декомпозиция моделей бизнес-процессов, связанных с построением ПГД, выбор схемы, применяемой для создания программного обеспечения, обоснование использования паттернов проектирования и языка UML в ходе программной реализации действий по автоматизированному построению ПГД позволяют продолжить исследования в направлении формирования сценариев решения множества задач построения ПГД; совместного использования различных способов описания элементов сценариев и их преимущества при переходе от создания одного типа обеспечения средств автоматизации (информационного, математического и программного) к другому; создания интерфейса соответствующих средств автоматизации.

Библиографический список

1. Сидоренко В. Г. Автоматизированное построение планового графика движения пассажирских поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 2. – С. 99–104.
2. Брукшир Д. Г. Введение в компьютерные науки / Д. Г. Брукшир, В. Штонда. – М. : Вильямс, 2001. – 688 с.
3. Терелянский П. В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования : монография / П. В. Терелянский. – Волгоград : ВолгГТУ, 2009. – 127 с.
4. Turner C. A Review of Key Planning and Scheduling in the Rail Industry in Europe and UK / C. Turner, A. Tiwari, A. Starr, K. Blacktop // Rail and Rapid Transit: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F. – Vol. 230 (3). – 2016. – Pp. 984–988.
5. Abed Sayed K. European rail traffic management system / Sajed K. Abed // International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ), 2010. – Pp. 173–180.

6. Baba Y. Radio-based train control system / Y. Baba, A. Hiratsuka, E. Sasaki, O. Yamamoto, M. Miyamoto // *Hitachi Review*. – 2012. – N 61. – Pp. 341–346.
7. Lu J. HCSP formal modelling and verification method and its application in the hybrid characteristics of a high speed train control system / J. Lu, K. Li, T. Tang, L. Chen // *WIT Transactions on the Built Environment*. – Southampton : WIT Press, *Computers in Railways XIII*, 2012. – Pp. 15–25.
8. Guo B. Y. Research on the simulation of an automatic train over speed protection driver-machine interface based on model driven architecture / B. Y. Guo, W. Du, Y. J. Mao // *Computers in Railways XII: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems*. – WIT Press, 2010. – Pp. 13–120.
9. Kuckelberg A. Real-time asynchronous conflict solving algorithms for computer aided train dispatching assistance systems / A. Kuckelberg, E. Wendler // *Computers in Railways XI: WIT Transactions on the Built Environment*. – WIT Press, 2008. – Pp. 555–563.
10. Wegele S. Comparing the effectiveness of two real-time train rescheduling systems in the case of perturbed traffic conditions / S. Wegele, F. Corman, A. D'Ariano // *Timetable Planning and Information Quality*. – WIT Press, 2010. – Pp. 189–199.
11. Forsgren M. Using timetabling optimization prototype tools in new ways to support decision making / M. Forsgren, M. Aronsson, S. Gestrelus, H. Dahlberg // *Computers in Railways XIII: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems*. – WIT Press, 2012. – Pp. 439–450.
12. Ho T. K. Train service timetabling in railway open markets by particle swarm optimisation / T. K. Ho, C. W. Tsang, K. H. Ip, K. S. Kwan // *Expert System Applications*. – 2012. – Issue 39. – Pp. 861–868.
13. Noah J. Goodall. Ethical Decision Making During Automated Vehicle Crashes / Goodall Noah J. *Transportation Research Record // Journal of the Transportation Research Board*. – 2014. – N 2424. – Pp. 58–65.
14. Jabri S. European railway traffic management system validation UML / S. Jabri, E. M. Koursi, T. Bourdeaud'huy, E. Lemaire // *Petri nets modelling strategy, European transport Research Review*. – 2010. – Issue 2. – Pp. 113–128.
15. Nash A. RailMI-a standard data interface for railroad applications / A. Nash, D. Huerlimann, J. Schuette, V. P. Krauss // *Computers in Railways IX, WIT Transactions on the Built Environment*. – WIT Press, 2004. – Pp. 233–240.
16. Феофилов А. Н. Математическая модель составления графиков движения поездов на линиях метрополитена / А. Н. Феофилов // *Вестник ВНИИЖТ*. – 1991. – № 7. – С. 10–13.
17. Быков В. П. Теоретические и методологические основы построения систем поддержки принятия решений при управлении движением поездов на участках железных дорог / В. П. Быков. – Хабаровск : ДВГУПС, 1999. – 135 с.
18. Сидоренко В. Г. Автоматизация планирования работы ЭПС метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов, К. М. Филипченко // *Мир транспорта*. – 2015. – Т. 13. – № 4. – С. 154–165.
19. Дегтярев Д. П. Проблемы визуального анализа графика движения поездов на метрополитене и методы их решения / Д. П. Дегтярев, М. Н. Василенко,

- О. А. Максименко // Неделя науки-2002 : тр. науч.-практ. конференции. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2002. – С. 12–13.
20. Сеславин А. И. Градиентный способ централизованного управления городскими транспортными системами / А. И. Сеславин, Л. Н. Воробьева // Наука и техника транспорта. – 2004. – № 2. – С. 71–73.
 21. Сидоренко В. Г. Методы выравнивания интервалов движения поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко, Е. Ю. Рындина // Вестник МИИТа. – 2008. – № 18. – С. 8–10.
 22. Сидоренко В. Г. К вопросу об оценке быстродействия метода выравнивания временных интервалов / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Информатизация образования и науки. – 2014. – Т. 1. – № 21. – С. 120–130.
 23. Сидоренко В. Г. Методика выравнивания интервалов движения пассажирских поездов метрополитена в условиях ограниченных ресурсов / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 2. – С. 69–76.
 24. Сафронов А. И. Систематизация способов отображения информации планового графика движения пассажирских поездов метрополитена / А. И. Сафронов, В. Г. Сидоренко, М. В. Ковалёв // Инновационные технологии в автоматике, информатике и телекоммуникациях : тр. Международной конференции ученых транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки. – Хабаровск : ДВГУПС, 2008. – С. 244–248.
 25. Жербина А. И. Построение на ЭВМ графиков движения поездов метрополитена / А. И. Жербина, Л. А. Баранов // Вестник ВНИИЖТа. – 1981. – № 2. – С. 17–20.
 26. Василенко М. Н. Автоматическое построение графиков движения поездов на метрополитене / М. Н. Василенко, Д. П. Дегтярев, О. А. Максименко // Труды Международной конференции «Транспорт XXI век». – Варшава, 2001. – С. 24–34.
 27. Сидоренко В. Г. Автоматизированный синтез стационарных режимов планового графика движения поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. В. Фёдоров. – Мир транспорта. – 2004. – № 2. – С. 88–92.
 28. Сидоренко В. Г. Процедуры организации ночной расстановки составов на линии метрополитен / В. Г. Сидоренко, А. С. Пискунов // Вестник МИИТа. – 2008. – № 18. – С. 3–7.
 29. Сидоренко В. Г. Подсистема автоматизированного построения выхода составов метрополитена из расстановки на ночь / В. Г. Сидоренко, И. А. Власова, Е. Ю. Рындина // Неделя науки-2008. Наука МИИТа транспорту : тр. науч.-практ. конференции. Т. VII. – М. : МИИТ, 2008. – С. 38.
 30. Сидоренко В. Г. Математическое обеспечение планирования зонного движения поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко, М. В. Новикова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 2. – С. 99–104.
 31. Сидоренко В. Г. Влияние планового графика движения пассажирских поездов метрополитена на режим работы системы тягового электроснабжения /

- В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – № 1. – С. 10–13.
32. Гамма Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Д. Влссидес. – СПб. : Питер, 2012. – 366 с.
33. Сидоренко В. Г. Методика автоматизация построения планового графика движения пассажирских поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов, М. А. Чжо, А. С. Петров // Транспорт и образование : Актуальные вопросы и тенденции : тр. Международной науч.-практ. конф. – Челябинск : ЧИПС УрГУПС, 2015. – С. 74–80.
34. Баранов Л. А. Тренажер поездного диспетчера линии метрополитена / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Е. В. Ерофеев, В. М. Максимов, Д. Б. Васьков // Вестник РГРТУ. – 2012. – № 10. – С. 32–35.
35. Буч Г. Язык UML : руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон. – М. : ДМК-пресс, 2007. – С. 469–474.

*Valentina G. Sidorenko,
Anton I. Safronov,
Konstantin M. Philipchenko,
Min Aung Kyaw*

«Controls and information security» department,
Moscow state university of railway engineering

Technique of the automatic construction of traffic schedule plan for subway passenger train

This paper investigated the analysis of Russian and foreign authors' results related to the automation of railway scheduling. It focused on the development of automated planning of subway train schedule; the development of business process models related to automated planning of train schedule; diagrams for the software development; program for the implementation of the automated planning train schedule.

The results showed that the close cooperation between scheduling systems and train traffic control, the requirement of a unified approach for the train scheduling problems and rolling stock maintenance scheduling problems, and the applicability of artificial intelligence algorithms and advances of computer science for solving those problems.

The article performed the decomposition process of data collecting and analyzing of rolling stock turnover and train schedule in three parts: preparation of input data for the automated scheduling; automated planning of rolling stock turnover and train schedule; analyzing the results of automated scheduling system and transmission these results to related services.

The authors proposed to use a software architectural pattern called *Mode-View-Controller (MVC)* while creating the software tools and showed that its advantages, such as the separation of business logic with visualization for users and developers of the system.

Railway scheduling system can be performed with different levels of automation devices. The composition of lower assets means the better tools. The use of design patterns and software modeling language *UML (Unified Modeling Language)* is effective to describe the interaction with different levels of automation.

Nowadays the initiative work is leading to modernize the operation of the automated train scheduling system based on the principles outlined in this article.

automation, performance of procedures, building PGD, initialization, check the possibility of the action

References

1. Sidorenko V.G., Safronov A.I. (2012). Automated construction of the underground trains planned schedule. Proceedings of Rostov State Transport University, N 3, pp. 99–104.
2. Brookshire J.G., Shtonda V. (2001). Introduction to Computer Science. Overview, Williams, 688 p.
3. Terelyansky P.V. (2009). Decision support systems. Experience in design, monograph, Volgograd, 127 p.
4. Turner C., Tiwari A., Starr A., Blacktop K. (2015). A Review of Key Planning and Scheduling in the Rail Industry in Europe and UK. Rail and Rapid Transit: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F, vol. 230(3), pp. 984–988.
5. Abed Sajed K. European rail traffic management system (2010). International. Conference on Energy, Power and Control (EPC–IQ), pp. 173–180.
6. Baba Y., Hiratsuka A., Sasaki E., Yamamoto O., Miyamoto M. (2012). Radio-based train control system. Hitachi Review, N 61, pp. 341–346.
7. Lu J., Li K., Tang T., Chen L. (2012). HCSP formal modelling and verification method and its application in the hybrid characteristics of a high speed train control system. WIT Transactions on the Built Environment, Southampton, WIT Press, Computers in Railways XIII, pp. 15–25.
8. Guo B.Y., Du W., Mao Y.J. (2010). Research on the simulation of an automatic train over speed protection driver-machine interface based on model driven architecture. Computers in Railways XII: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, WIT Press, pp. 13–120.
9. Kuckelberg A., Wendler E. (2008). Real-time asynchronous conflict solving algorithms for computer aided train dispatching assistance systems. Computers in Railways XI: WIT Transactions on the Built Environment, WIT Press, pp. 555–563.
10. Wegele S., Corman F., D'Ariano A. (2010). Comparing the effectiveness of two real-time train rescheduling systems in the case of perturbed traffic conditions, Timetable Planning and Information Quality. WIT Press, pp. 189–199.
11. Forsgren M., Aronsson M., Gestrelus S., Dahlberg H. (2012). Using timetabling optimization prototype tools in new ways to support decision making. Computers in Railways XIII: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, WIT Press, pp. 439–450.

12. Ho T. K., Tsang C. W., Ip K. H., Kwan K. S. (2012). Train service timetabling in railway open markets by particle swarm optimisation. *Expert System Applications*, vol. 39, pp. 861–868.
13. Goodall N. J. (2014). Ethical Decision Making During Automated Vehicle Crashes. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*. N 2424, pp. 58–65.
14. Jabri S., Koursi E. M, Bourdeaud'huy T., Lemaire E. (2010). European railway traffic management system validation UML. Petri nets modelling strategy. *European transport Research Review*, vol. 2, pp. 113–128.
15. Nash A., Huerlimann D., Schuette J., Krauss V. P. (2004). RailMI-a standard data interface for railroad applications. *Computers in Railways IX, WIT Transactions on the Built Environment*. WIT Press, pp. 233–240.
16. Feofilov A. N. (1991). A mathematical model of scheduling of trains on the lines of the subway. *Herald*, N 7, pp. 10–13.
17. Bykov V. P. (1999). The theoretical and methodological bases of construction of decision support systems in the management of the movement of trains on the railway sections. *Khabarovsk*, 135 p.
18. Sidorenko V. G., Safronov A. I., Philipchenko K. M. (2015). Automated planning EPS subway *Transportation World*, vol. 13, N 4, pp. 154–165.
19. Degtyarev D. P., Vasilenko M. N., Maksimenko O. A. (2002). Problems of visual analysis of the schedule of subway trains and their solutions. *Week of Science 2002: Proceedings of the scientific-practical conference*, pp. 12–13.
20. Seslavin A. I., Vorobyov L. N. (2004). Gradient method for centralized management of urban transport systems. *Transportation Science and Technology*, N 2, pp. 71–73.
21. Sidorenko V. G., Ryndina E. Y. (2008). Methods of alignment intervals for subway trains *MIIT Herald*, N 18, pp. 8–10.
22. Sidorenko V. G., Safronov A. I. (2014). The estimation of speed for the method of time intervals alignment. *Informatization of Education and Science*, vol. 1, N 21, pp. 120–130.
23. Sidorenko V. G., Safronov A. I. (2014). Methods of underground passenger trains intervals alignment in conditions of limited resources. *Proceedings of of the Rostov State University of Railways*, N 2, pp. 69–76.
24. Safronov A. I., Sidorenko V. G. Kovalev M. V. (2008). Systematisation ways to display the information of the planned schedule of passenger subway trains. *Innovative technologies in automation, informatics and telecommunications: Proceedings of the International conference of scientists transport universities, engineering professionals and representatives of academy*. Khabarovsk, pp. 244–248.
25. Shcherbina A. I., Baranov L. A. (1981). Scheduling subway train schedules on the computer. *Herald*, N 2, pp. 17–20.
26. Vasilenko M. N., Degtyarev D. P., Maksimenko O. A. (2001). Automatic plottig the subway train schedule. *Proceedings of the International Conference «Transport XXI Century»*, Warsaw, pp. 24–34.
27. Sidorenko V. G., Fedorov A. V. (2004). Automated synthesis of stationary modes of planned subway trains schedule. *Transportation World*, N 2, pp. 88–92.
28. Sidorenko V. G., Piskunov A. C. (2008). Procedures for the arrangement organization of underground trains at night. *MIIT Herald*, N 18, pp. 3–7.
29. Sidorenko V. G., Vlasov I. A., Ryndina E. Y. (2008). The subsystem of automated construction of subway trains outlet arrangement for the night. *Week of Science*

2008. MIIT transportation Science: Proceedings of Scientific-Practical Conference. Vol. VII, p. 38.
30. Sidorenko V.G., Novikov M.V. (2012). Mathematical software for planning of the band of underground trains. Proceedings of the Rostov State University of Railways, N 2, pp. 99–104.
 31. Sidorenko V.G., Safronov A.I. (2014). The impact of the planned schedule of passenger trains in the subway system mode of the traction power supply. Electronics and electrical transport, N 1, pp. 10–13.
 32. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J. (2012). Object-oriented design. Design Patterns, 32 p.
 33. Sidorenko V.G., Safronov A.I., Kyaw M.A., Petrov C.A. (2015). The methodology of scheduling automation planned schedule of passenger subway trains. Transportation and Education: Current Issues and Trends, pp. 74–80.
 34. Baranov L.A. Yerofeyev E.V., Maksimov V.M., Vasiliev D.B. (2012). The simulator of train dispatcher subway lines. Herald, N 10, pp. 32–35.
 35. Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I. (2007). The Unified Modelling Language. Reference Manual. DMK press, pp. 469–474.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Л. А. Барановым
Поступила в редакцию 30.11.2015, принята к публикации 15.01.2016*

Сидоренко Валентина Геннадьевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление и защита информации» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II.
e-mail: valenfalk@mail.ru

Сафронов Антон Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II.
e-mail: flash_a@mail.ru

Филипченко Константин Михайлович – аспирант кафедры «Управление и защита информации» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II.
e-mail: konstantin-649@mail.ru

Чжо Мин Аунг – аспирант кафедры «Управление и защита информации» Московского государственного университета путей сообщения Императора Николая II.
e-mail: Kyawminaung52@gmail.com

© Сидоренко В.Г., Сафронов А.И., 2016

© Филипченко К.М., Чжо М.А., 2016