

УДК 004; 656.21; 65.011.56

А. Б. Никитин, В. А. Грошев**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ХОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
СТАНЦИИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Дата поступления: 18.03.2016

Решение о публикации: 31.03.2016

Цель: Обосновать целесообразность применения подхода контроля и анализа технологического процесса станции в реальном масштабе времени. **Методы:** Рассмотрен наиболее популярный в настоящее время подход к анализу технологического процесса станции на основе имитационного моделирования. Представлены варианты данного подхода на отечественных и зарубежных железных дорогах. **Результаты:** Проанализировано влияние технологического сбоя на процесс принятия решения оператором при временных ограничениях. Представлен пример реализации функций автоматизации контроля технологических операций в реальном масштабе времени. Сформулированы достоинства и недостатки применяемых решений. Определена последовательность действий оператора при сбое технологического процесса. Обоснована необходимость разработки систем, реализующих возможности анализа технологического процесса станции и поддержки принимаемых решений в режиме реального времени. Определены направления дальнейших исследований. Даны рекомендации по структуре и технической реализации предлагаемого подхода. Сформулированы ограничения для систем анализа и планирования технологического процесса. **Практическая значимость:** Реализация представленного в работе подхода позволит повысить точность моделирования за счет применения фактических данных, поможет оценить возможные последствия решений, что снизит нагрузку на оперативный персонал.

Автоматизация технологического процесса, имитационное моделирование, системы автоматизированного управления, оперативное управление, план-график работы.

Alexander B. Nikitin, D. Eng., professor, nikitin@crtc.spb.ru; ***Vasiliy A. Groshev**, postgraduate student, was.groshev@yandex.ru (Petersburg State Transport University) AUTOMATISATION OF CONTROL OF STATION TECHNOLOGICAL PROCESS OPERATION IN REAL TIME

Objective: To justify usefulness of application of approach to control and analysis of station technological process in real time. **Methods:** Most popular current approach to analysis of station technological process was considered on the basis of simulation modelling. Variants of this approach on Russian and foreign railways were presented. **Results:** The influence of technological failure on operator's decision-making process under temporal constraints is analysed. An example of realisation of functions of control automation for technological operations in real time is provided. Positive and negative sides of applied solutions are formulated. Operator's response sequence in the event of a technological process failure is outlined. The need for development of systems which realise the possibilities of analysis of a station technological process and support for the decisions taken in real time is justified. Directions for further research are set out. Recommendations for structure and technical implementation of the proposed approach are provided. Limitations for technological process analysis and planning systems are outlined. **Practical importance:** Realisation of the approach set out in the paper will allow to increase accuracy of simulation due to use of actual data, will allow to evaluate possible consequences of decisions, which would decrease pressure on operating staff.

Automation of technological process, simulation modelling, automated control systems, operative control, work schedule.

Стабильная и бесперебойная работа железных дорог – одно из условий устойчивого развития отечественной экономики. Особое внимание при этом необходимо уделять станциям, так как на них производится основной объем работы. Сбои технологического процесса могут привести к потерям 10–15% производительности станции [14]. Это, в свою очередь, ведет к снижению объемов работы, к задержкам и в конечном итоге – к экономическим потерям.

Имеющиеся решения

В настоящее время наибольшее распространение на сети отечественных и зарубежных железных дорог получил метод имитационного моделирования виртуального технологического процесса для оценки влияния сбоев на работу станции, анализа возможных вариантов развития событий и выработки предложений по принимаемым решениям. Суть подхода заключается в оценке взаимного влияния элементов технологического процесса на основе нескольких проходов, каждый из которых базируется на случайных величинах.

Это нашло отражение в таких программных продуктах, как имитационная система транспорта «ИСТРА» (ООО «Транспортный алгоритм») (рис. 1), система «Аврора» (ПАО «Ленгипротранс»), OpenTrack (Швейцарская высшая техническая школа Цюриха), Rail Traffic Controller (RTC) (BerkleySimulation, Беркли, США) [6, 11, 15].

Упомянутые системы в качестве исходных данных требуют характеристики подвижного состава, инфраструктуры, графика движения поездов. Основные функции программ практически идентичны друг другу и заключаются:

- в расчете характеристик станций, перегонов, узлов и участков;
- моделировании технологического процесса в отсутствие нарушений (отклонений от графика, неисправности устройств и др.);
- моделировании сбоев технологического процесса и анализа их последствий;
- представлении полученных данных в графической форме (рис. 2).

Стоит отметить способность ряда разработок учитывать специфику применяемого в моделируемой зоне оборудования. Например, система OpenTrack строит модель с учетом типа системы управления движением поездов (система интервального регулирования –

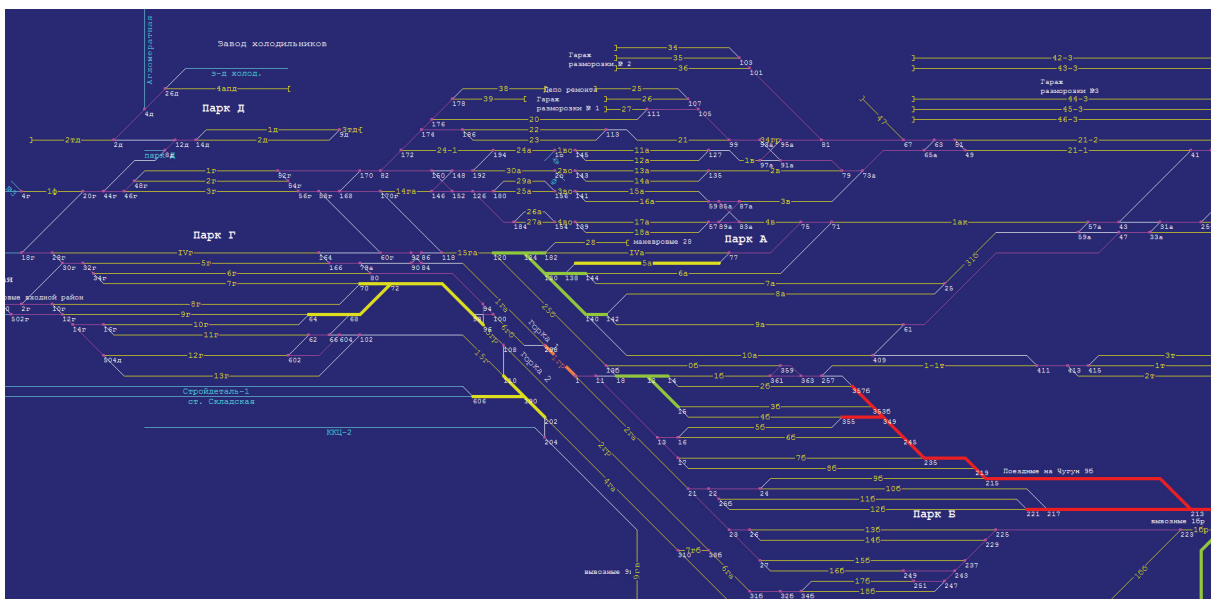


Рис. 1. Представление станции в системе ИСТРА

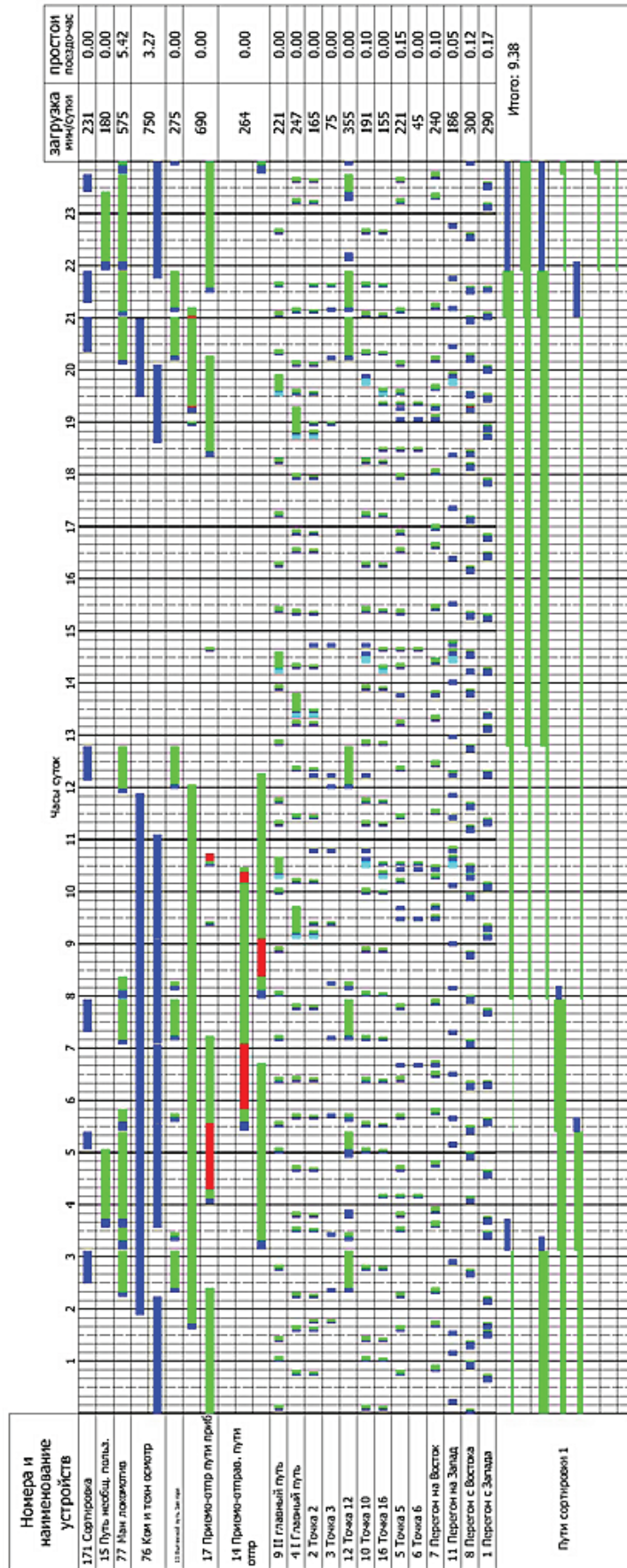


Рис. 2. Отображение суточного плана-графика работы станции в системе «Аврора»

Automatic Train Protection (АТР), система автоведения – Automatic Train Operation (АТО), единая европейская система управления движением поездов – European Train Control System (ETCS) и пр.). Результаты могут выводиться в разных формах, основными, как правило, являются:

- график движения поездов для моделируемой инфраструктуры;
- график движения выбранного поезда;
- построение плана-графика работы станции (рис. 2);
- диаграмма минимального межпоездного интервала (рис. 3);
- статистика загрузки элементов станционной инфраструктуры (занятость секций, путей и участков пути, количество переводов стрелок, работа грузовых фронтов и пр.);
- статистика по задержкам при выполнении операций и др.

Имитационное моделирование обладает рядом достоинств, среди которых:

- отсутствие необходимости тратить средства на натурные исследования;

- возможность предварительно оценить последствия сбоев;

- высокая степень достоверности результатов;

- экономия времени;

- наглядность представления данных.

С другой стороны, описанный подход имеет ряд существенных недостатков:

- трудоемкость построения модели;

- потребность в исследователях высокой квалификации [14];

- абстрагированность модели;

- неформализованность процесса верификации степени адекватности модели.

Технологический процесс станции в реальности может проходить иначе, чем при его моделировании. Причиной такого различия может оказаться просто неполнота или неточность учета факторов окружающей среды, отсутствие стандартизированного алгоритма описания технологического процесса станции и построения имитационной модели, отсутствие методов и алгоритмов проверки адекватности результатов моделирования до их внедрения.

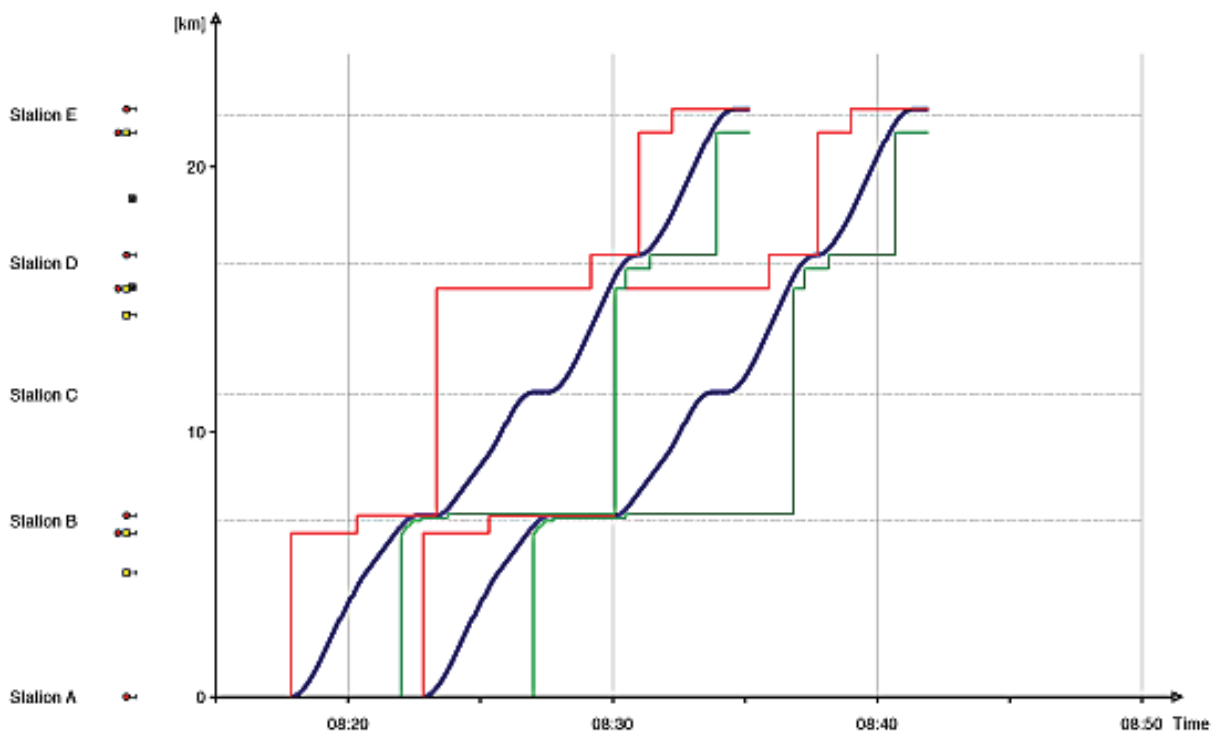


Рис. 3. Диаграмма минимального межпоездного интервала в системе OpenTrack

Контроль технологического процесса в реальном времени

Другим подходом является контроль технологического процесса и его анализ в режиме реального времени.

Процесс управления реализует четыре функции [10]. Как отмечалось выше, имитационное моделирование не помогает в случае возникновения сбоя в оперативном управлении станцией, когда необходимо действовать в условиях непредвиденной динамично изменяющейся обстановки. Оператору в этой ситуации необходимо собрать информацию от участников технологического процесса, проанализировать, сравнить с планом работы, продумать возможные решения, оценить их последствия, выбрать одно и выдать управляющее воздействие (рис. 4) [3].

В ходе получения информации о сбое лицо, принимающее решение (ЛПР), долж-

но обратиться ко множеству источников информации (рис. 5). Согласно исследованиям, только на сбор информации о выполнении графика движения поездов уходит 80–90 % рабочего времени управленческого персонала [8, 12].

Характер зависимости экономических потерь от длительности единичной временной задержки близок к линейному [5], но одна задержка может повлечь за собой другие, что увеличит потерю производительности. Это обусловлено представлением станции как системы и, как следствие, таким взаимодействием различных элементов, при котором свойства одного в общем случае зависят от условий, определяемых поведением другого [2]. Соответственно, для минимизации издержек сумма временных затрат на каждое звено процесса принятия решения ЛПР в случае сбоя ($t_{\text{реш}}$) должна стремиться к величине, заложенной в график бесперебойной работы ($t_{\text{план}}$):

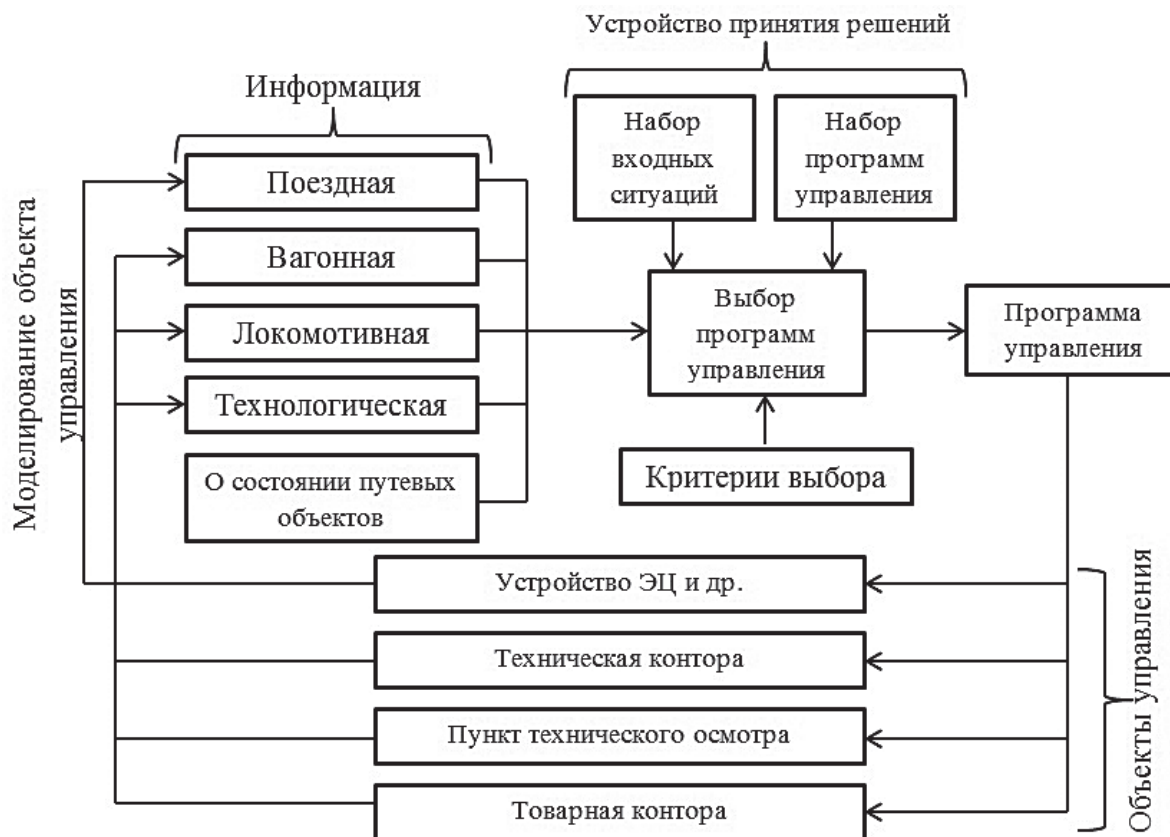


Рис. 4. Схема информационных моделей системы управления станцией

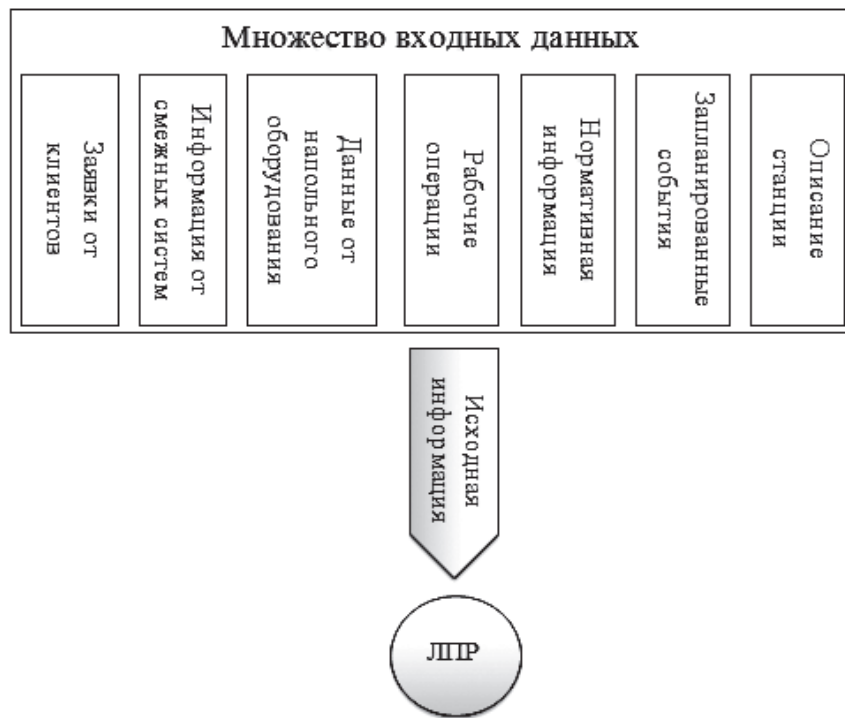


Рис. 5. Множество входных данных для ЛПР

$$t_{\text{реш}} = \sum_{i=1}^n t_i,$$

где t_i – временные затраты на i -е звено процесса принятия решения

$$t_{\text{реш}} \rightarrow t_{\text{план}}.$$

Естественно, в реальности это не всегда ведет к лучшим решениям, даже если имитационная модель станции была достаточно точна. Это подтверждается исследованиями [7, 13].

При контроле и анализе технологического процесса в реальном времени средствами вычислительной техники входные данные постоянно актуализируются программно-аппаратным комплексом автоматически (рис. 6).

На их основе строят график состояний технологического процесса, рассчитывают план дальнейшей работы, актуализируют состояние вагонной модели. В случае технологических сбоев программно-аппаратный комплекс способен предложить возможные решения, выступив в качестве «советчика».

Реализация систем, основанных на описанном подходе, требует решения не только алгоритмических и математических, но и аппаратных задач. Наиболее простым и явным выходом представляется построение отдельной АСУ. Примером такой системы можно назвать АСУ ГИР (график исполненной работы) [4]. Недостатками указанного пути являются увеличение количества оборудования на станции, временные и денежные затраты на обучение персонала. При этом не раз отмечалось, что потенциальные возможности автоматизированных систем управления гораздо шире, чем используемые в настоящее время [1, 9, 12]. С учетом сказанного реализация контроля и анализа технологического процесса видится не в разработке принципиально новых систем, а в качественном развитии существующих. Но такой выбор упирается в недостаточную проработанность вопросов построения, функционирования таких решений, их взаимодействие с другими устройствами и системами и как следствие – в отсутствие нормативных актов, регламентирующих указанные сферы.

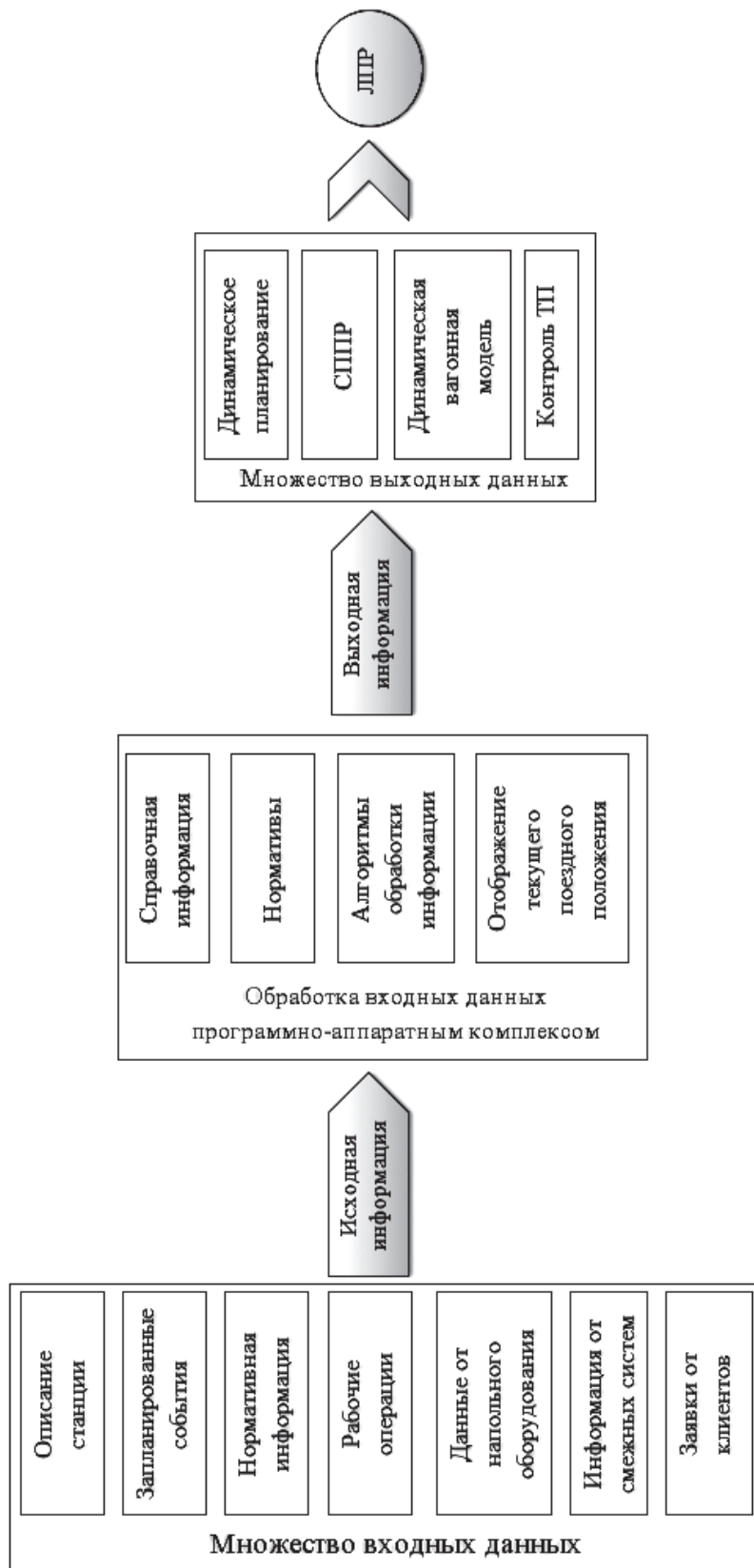


Рис. 6. Обработка данных программно-аппаратным комплексом и передача оператору

Пример реализации

Примером реализации обозначенного подхода может являться программный комплекс Центра компьютерных железнодорожных технологий (ЦКЖТ) ПГУПС – Автоматизированное построение графика работы станции.

В настоящее время указанная система способна в автоматическом режиме строить график исполненного движения по станции, определять операции погрузки и выгрузки (рис. 7). В качестве входной информации используются данные о передвижениях, получаемые от системы электрической централизации. У пользователя есть возможность редактировать график. При необходимости оператор может изменять тип операций, добавлять или удалять маршрут, корректировать его номер и трассу и др.

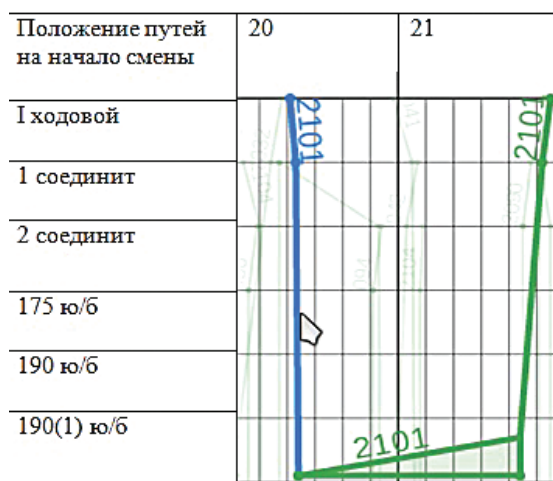


Рис. 7. Отображение исполненной операции погрузки на предприятии промышленного транспорта вагонов группы 2101

Начало применению системы положено на станциях промышленного транспорта. Дальнейшее развитие идет в направлении адаптации к требованиям магистральных дорог.

Заключение

Обеспечение бесперебойности технологического процесса – одна из основных за-

дач работников железных дорог. В настоящее время для анализа причин сбоев, оценки их последствий и формирования рекомендаций оперативному персоналу все активнее применяется имитационное моделирование станций.

В то же время ограничения этого подхода свидетельствуют о необходимости развития программно-аппаратных комплексов в направлении получения оперативных достоверных данных в режиме реального времени в увязке с системами управления. Реализация представленного в работе подхода позволит повысить точность моделирования за счет применения фактических данных, поможет оценить возможные последствия решений, что снизит нагрузку на оперативный персонал.

С другой стороны, разработка и применение указанных систем в настоящее время усложняется рядом нерешенных теоретических и практических вопросов. Этот факт обуславливает ведение дальнейших исследований в направлениях решения:

- математических и алгоритмических задач, связанных с анализом и планированием технологического процесса;
- технических задач, связанных с аппаратной реализацией программно-аппаратных комплексов, описанных в статье;
- организационных и нормативных вопросов, связанных с разработкой, функционированием и применением указанных систем.

Библиографический список

1. Балувев Н. Н. Автоматизация оперативного управления перевозочным процессом на станциях в компьютерных системах электрической централизации / Н. Н. Балувев, Г. Ф. Насонов, А. Б. Никитин и др. // Интеллектуальные системы на транспорте: материалы Третьей междунар. науч.-практич. конф. «ИнтеллектТранс – 2013». – М. : Перо, 2013. – С. 8–12.
2. Бусленко В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В. Н. Бусленко. – М. : Наука. Физматлит, 1977. – 240 с.

3. Гавзов Д. В. Системы диспетчерской централизации : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Д. В. Гавзов, О. К. Дрейман, В. А. Кононов, А. Б. Никитин ; под общ. ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2002. – 407 с.

4. График исполненной работы (ГИР) ТрансСистемоТехника в базовой версии АСУ СТ 2013. – URL : <http://www.transsys.ru/content/products/products/gir.php> (дата обращения 04.02.2016).

5. Грошев В. А. Расширение функциональности СЖАТ / В. А. Грошев // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сб. трудов LXXIV Всерос. науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 21–25 апр. 2014 г., Санкт-Петербург. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – С. 318–322.

6. ИСТРА-САПР. – URL : <http://trans-expert.net/IstraSapr/index.html> (дата обращения 04.02.2016).

7. Каталевский Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учеб. пособие / Д. Ю. Каталевский. – М. : Дело, 2015. – 496 с.

8. Ковалев К. Е. Метод распределения функций и зон управления между оперативным персоналом крупных участковых станций : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / К. Е. Ковалев. – СПб., 2015. – 16 с.

9. Корниенко А. А. Интеллектуальные компьютерные системы оперативного управления движением поездов на станциях / А. А. Корниенко, А. Б. Никитин, А. Д. Хомоненко // Изв. ПГУПС. – 2012. – № 2 (31). – С. 116–119.

10. Микони С. В. Теория принятия управленческих решений : учеб. пособие / С. В. Микони. – СПб. : Лань, 2015. – 448 с.

11. Моделирование транспортных систем. – URL : <http://oder-lgt.ru/modest1.html> (дата обращения 04.02.2016).

12. Никитин А. Б. Методы и технические средства концентрации и централизации оперативного управления движением поездов (развитие теории и практические приложения) : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / А. Б. Никитин. – СПб., 2005. – 50 с.

13. Осокин О. В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / О. В. Осокин. – М., 2014. – 46 с.

14. Тимухина Е. Н. Методология исследования работоспособности станций при технологических сбоях / Е. Н. Тимухина // Транспорт Урала. – 2011. – № 4. – С. 58–62.

15. OpenTrack Railway Technology. – URL : http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html (дата обращения 04.02.2016).

References

1. Baluyev N. N., Nasonov G. F., Nikitin A. B., Moiseyev V. V. & Groshev V. A. Avtomatizatsiya operativnogo upravleniya perevozhnym protsessom na stantsiyakh v kompyuternykh sistemakh elektricheskoy tsentralizatsii [Automatisation of Operating Control of Transportation Process at Stations by Microprocessor-based Interlocking]. *III mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Intellektualnyye sistemy na transporte" – IntellektTrans – 2013. (3rd Int. Sci. and Practical Conf. "Intellectual Systems in Transport" – IntellektTrans – 2013)*. Moscow, Pero, 2013. Pp. 8-12.

2. Buslenko V. N. Avtomatizatsiya imitatsionnogo modelirovaniya slozhnykh sistem [Automation of Imitating Modelling of Complex Systems]. Moscow, Nauka, Phizmatlit, 1977. 240 p.

3. Gavzov D. V., Dreyman O. K., Kononov V. A. & Nikitin A. B. Sistemy dispetcherskoy tsentralizatsii: uchebnik dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta [Centralized Traffic Control Systems: Course Guide for Railway Universities]; ed. V. V. Sapozhnikov. Moscow, Marshrut, 2002. 407 p.

4. Grafik ispolnennoy raboty (GIR) TransSistemoTehnika v bazovoy versii ASU ST 2013 [Schedule of Executed Work TransSystemTechnic in Basic Version ASU ST 2013], available at: <http://www.transsys.ru/content/products/products/gir.php>.

5. Groshev V. A. Rashirenije funktsionalnosti SZhAT [Extending of Railway Control System Functionality]. *Transport: problemy, idei, perspektivy: sbornik trudov LXXIV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Transport: Problems, Ideas, Perspectives: Coll. Papers of 74th All-Russian Conf. for Students, Postgraduate Students and Young Sci.)*, April 21–25, 2014, St. Petersburg. St. Petersburg, FGBOU VPO PGUPS, 2014. Pp. 318-322.

6. ISTRASAPR, available at: <http://trans-expert.net/IstraSapr/index.html>.
7. Katalevskiy D. Yu. Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii [Basic Imitation Modelling and System Analysis in Management]. Moscow, Delo, 2015. 496 p.
8. Kovalev K. Ye. Metod raspredeleniya funktsiy i zon upravleniya mezhdru operativnym personalom krupnykh uchastkovykh stantsiy [Method of Distribution of Functions and Zones of Management between Operational Personnel of Large Local Stations]. St. Petersburg, 2015. 16 p.
9. Korniyenko A. A., Nikitin A. B. & Khomonenko A. D. *Izvestiya PGUPS – Proc. Petersburg Transp. Univ.*, 2012, Is. 2 (31), pp. 116-119.
10. Mikoni S. V. Teoriya prinyatiya upravlechenskikh resheniy: uchebnoye posobiye [Theory of Making Administrative Decisions: Course Book]. St. Petersburg, Lan, 2015. 448 p.
11. Modelirovaniye transportnykh sistem [Simulation of Transport Systems], available at: <http://oder-lgt.ru/modest1.html>
12. Nikitin A. B. Metody i tekhnicheskiye sredstva kontsentratsii i tsentralizatsii operativnogo upravleniya dvizheniyem poyezdov (razvitiye teorii i prakticheskiye prilozheniya) [Methods and Technical Means for Concentration and Centralisation of Railway Operating Control (Theoretical Developments and Practical Applications)]. St. Petersburg, 2005. 50 p.
13. Osokin O. V. Intellektualnoye soprovozhdeniye proizvodstvennykh protsessov na zheleznodorozhnom transporte [Intellectual Support for Production Processes on Railway Transport]. Moscow, 2014. 46 p.
14. Timukhina Ye. N. *Transport Urala – Urals Transport*, 2011, no. 4, pp. 58-62.
15. OpenTrack Railway Technology, available at: http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html.

НИКИТИН Александр Борисович – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой;
*ГРОШЕВ Василий Александрович – аспирант, was.groshev@yandex.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).