

УДК 656.21:004.94

И. В. КОРОТКЕВИЧ

*АО «Объединенная химическая компания „Уралхим”», г. Москва, Российская
Федерация*

ivan.korotkevich@uralchem.com

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
МАНЕВРОВЫМИ ЛОКОМОТИВАМИ
В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ
ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И ТЕЛЕМЕТРИИ**

Рассматривается возможность использования инновационных информационных систем, основанных на обработке входных массивов Big Data и высоко-производительных алгоритмов конечных автоматов, позволяющих в режиме реального времени продуктивно обрабатывать все данные телеметрии и формировать результатные параметры с визуализацией их диспетчеру на схемной модели путевого развития. Отмечается, что в условиях высокой загрузки топологически сложной инфраструктуры путевого развития подъездных путей и графиковой точности в обслуживании пунктов погрузки-выгрузки возникает необходимость решения задачи рационального использования ограниченных ресурсов маневровых локомотивов. Достигнутый уровень развития информационных технологий и технических средств контроля с гибкими настройками позволяют автоматизировать процессы сбора и анализа информации для решения данной задачи.

Традиционно для повышения эффективности производства технологических процессов и качества принятия управленческих решений на промышленных предприятиях используются аналитические инструменты информационных систем, позволяющих выделять проблемные позиции операционного взаимодействия и выявлять ошибки инженерно-технического и руководящего персонала. Анализ опыта использования информационно-управляющих систем на железнодорожных станциях и в узлах крупных промышленных предприятий показывает, что при выполнении маневровой работы хронометраж и нормирование операций позволяют получить эффект только в условиях, когда интенсивность работы станционных и грузовых устройств такова, что допускает в реальном масштабе времени проведение всех операций натурного съема информации. Поэтому для транспортных систем, функционирующих в условиях высокой загрузки, в настоящее время руководством крупных железнодорожных предприятий в целях обеспечения управляемости и упрощения анализа широко применяется практика ведения графика исполненной работы станции ручным способом. В ОАО «РЖД» созданы системы автоматизированного отображения графика исполненной

работы сортировочной станции на основании данных ручного ввода и разметки сортировочного листа. Однако специфика маневровой работы на промышленных предприятиях такова, что руководитель маневров не имеет возможности передавать всю информацию оператору, ответственному за ведение графика. Оператор вводит в информационную систему не все данные, а только полученные по докладу диспетчера и персонала коммерческой и вагонной служб, как правило, по завершению нескольких относительно быстро выполняемых операций. В результате к оператору-«визуализатору» поступает квантово-дозированная информация на некоторый отчетный момент времени с четким позиционированием последней операции и примерной оценкой всего того, что произошло до этого. Такие данные восстанавливаются «ручным вводом», а следовательно, не проходят валидацию и могут содержать достаточно произвольные значения времени. При этом отсутствует важная для анализа и последующей оптимизации маневровой работы информация:

- остановки перед неавтоматизированными стрелками, когда необходимо их переводить по маршруту следования маневрового состава или одиночного локомотива;
- кратковременные остановки перед стрелочными переводами при их занятии враждебными маршрутами;
- промежуточные операции на парковых путях;
- многократные маневровые полурейсы, когда для подачи нескольких вагонов из центра отцепа другие вагоны данного отцепа также участвуют в передвижениях по причине коротких соседних парковых путей, отсутствия башмаков для их закрепления или другим причинам;
- время занятия стрелок, стрелочных улиц и горловин;
- простои, стоянки и остановки локомотивов, а также конкретные позиции возникновения данных непроизводительных ожиданий.

Таким образом, получаемая информация по исполненной маневровой работе является неполной, достоверными оказываются только фиксированные времена некоторых регламентированных операций (например, завершения погрузки или выгрузки вагона).

Сопоставление координат масштабного плана путевого развития с позиционированным маршрутом следования маневрового состава позволит фиксировать и накапливать все данные по производительным и непроизводительным операциям, которые могут отражаться на контрольной панели экрана диспетчера и использоваться в дальнейшем для проведения анализа с целью оптимизации работы.

Система позиционирования и онлайн-телеметрии локомотивов (СПОТ-Л) основана на высоконадежной координатно-реперной технологии координирования объектов с обменом информацией в реальном масштабе времени между бортовыми и постовыми устройствами, предоставляя диспетчерскому аппарату визуальный динамический образ в виде мнемосхемы станции, на которой в квазимасштабном режиме отображаются текущее состояние и дислокация локомотивов [1, 2].

Следует отметить, что в отличие от традиционных систем телеметрии, передающих значения ограниченного числа параметров (скорость, линейный пробег, GPS-координату), СПОТ-Л построена по протоколу ETCS/ERTMS level 2/3 и передает полноценные координаты положения сигнализирующего объекта, vital-статус целостности, широкий набор диагностирующих параметров движения и состояния отдельных подсистем (например, исправность бортового оборудования, работу ДВС). Все бортовые устройства локомотива работают по протоколу синхронизации времени со станционным контроллером. Измеренная средняя задержка передачи данных с маневрового локомотива на пост с использованием радиоканала публичного оператора связи составляет менее 70 мс, что для систем подобного класса является высоким показателем.

Обработка массивов телеметрии, содержащих сотни миллионов записей средствами SQL-языков обработки данных, позволяет получить только средние значения скоростей локомотивов за год, их суммарного пробега и некоторые другие. Попытки получения аналитического материала, касающегося загрузки отдельных маршрутов следования маневровых составов, загрузки отдельных стрелочных переводов, посредством сопоставления посекундных координат и параметров движения средствами SQL-запросов трудновыполнимы из-за высокой вычислительной сложности. Например, для одного подобного расчета и получения конечного результата потребуется подвергнуть анализу гигантские массивы данных с большим временем выполнения расчетов на высокопроизводительном компьютере.

Важно отметить, что достигнутый в настоящее время уровень информатизации позволяет обеспечить глубокую обработку Big Data в онлайн-режиме [3]. Реализованная в СПОТ-Л бортовая система обработки телеметрии способна без участия оператора проанализировать координатные изменения локомотива по цифровой модели станции, изменения и значения параметров движения и состояния бортовых систем и автоматически сгенерировать сообщения о критических событиях для постового контроллера и АРМ диспетчера.

В настоящее время СПОТ-Л работает со следующими классами технологических событий.

1 Базовые технологические события:

- бортовые (включение и выключение дизеля и других локомотивных устройств, их неисправности, отсутствие связи и др.);
- маневровые (трогание и остановка, занятие и освобождение элементов инфраструктуры) (рисунок 1).

2 Высокоуровневые события, отражающие технологические операции маневровой и станционной работы:

- начало, завершение полурейса или движение состава;
- начало, завершение стоянки между полурейсами;
- начало, завершение стоянки в депо;
- заход, выход в зоны или маневровые районы;
- выход за пределы контролируемой зоны;
- начало, завершение смены.

1134	ЗАН	C: 445 гр: 2...	52	3...	+	+	+	+	+	0	мнв	18:41	1...	57	37	0	8	54
1135	ОСТ	C: 445 гр: 2...	50	0...	+	+	+	+	+	0	ост	18:41	1...	57	37	0	8	54
1136	ТРГ	C: 445 гр: 2... C: 445 гр: 2... 31 м.	50	0...	+	+	+	+	+	0	ост	18:42	1...	57	37	0	8	54
1137	ОСВ	C: 445 гр: 2...	2	3...	+	+	+	+	+	0	мнв	18:42	1...	57	37	0	8	54
1138	ЗАН	П: 31-1#16...	0	3...	+	+	+	+	+	0	мнв	18:42	1...	57	37	0	8	54
1139	ОСВ	П: 31-1#16...	11	3...	+	+	+	+	+	0	мнв	18:42	1...	57	37	0	8	54
42	КПД2	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	+	+	+	0	ост	15:42	2	2	2	1	0	0
43	КПД1	П: 38#19. 2...	173	0...	-	+	+	+	+	0	ост	15:44	2	2	2	1	0	0
44	КПД2	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	+	+	+	0	ост	15:44	2	2	2	1	0	0
45	СФС2	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	-	+	+	0	ост	15:46	2	2	2	1	0	0
46	КПД1	П: 38#19. 2...	173	0...	-	+	+	+	+	0	ост	15:48	2	2	2	1	0	0
47	СФС1	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	+	+	+	0	ост	15:48	2	2	2	1	0	0

Рисунок 1 – Скрин-файл работы СПОТ-Л по базовым технологическим событиям

Для каждого высокоуровневого события или операций кроме места и времени начала и окончания также в системе доступны входящие в них базовые события. Таким образом, можно получить необходимые для анализа маневровой и станционной работы данные по количеству остановок и троганий с места, максимальным или средним значениям скорости движения для полурейсов, количествам проездов элементов и среднему или суммарному времени занятия элементов. Благодаря интенсивному обмену данными по линии связи напольных и бортовых устройств с визуальным динамическим образом на экране диспетчера реализуются сложные задачи оперативного контроля и принятия эффективных решений на уровне узлового диспетчера.

Однако, несмотря на формирование прозрачной для анализа среды, за счет применения надежной автоматики и систем позиционирования и телеметрии, дальнейшее развитие систем аналитики с переходом от информационно-аналитических систем к информационно-управляющим и автоматическим системам сдерживается из-за преобладания традиционных подходов к разработке информационных систем. Например, при создании УВК и АРМ систем микропроцессорной и диспетчерской централизации, АСОУП-2,3, АСУ СТ, ПТК ЦУП использованы языки программирования 3-го и 4-го поколений, которые для решения задач онлайн-обработки объемов Big Data таких сложных процессов, как маневровая работа, малоэффективны.

Описание модели поведения локомотива, имеющей на входе текущие координатные значения, параметры движения и состояния бортовых устройств, не позволяет решить задачу автоматической генерации поименованного перечня технологических событий на выходе модели. Для этого необходимо добавлять во входной контур модели возможность рекурсивного чтения предыдущих значений координат и других данных телеметрии, а также реализовать в модели рекурсивный поиск и мажоритарную логику переоценки предыдущих событий относительно связанных с ними последующих.

Например, реализация такой модели поведения для весьма узкого перечня операций занимает не менее 90 страниц программного кода на языке 3-го поколения. Причем добавление новых операций или корректировка условий для старых влечет глубокую переработку кода, затрагивающую обширный список связанных функций и условий. Также следует отметить, что даже при наличии структурирования и комментариев такой код практически нечитаем (особенно для программистов, не принимавших участие в разработке исходных текстов программ). Кроме того, следует учитывать, что тестирование и отладка проведенных изменений также требует больших затрат времени. Кроме того, перенос знаний от владельцев компетенций по станционным процессам (опытный диспетчерский персонал и руководители) подразумевает многоуровневую формализацию (согласование глоссария, обучение методологии, описание постановки задачи, разработку технического задания), что превращает любой проект в громоздкий и многолетний труд.

Предпочтительным и доступным вариантом решения данной проблемы является использование модельно-ориентированного подхода к разработке программного обеспечения (Model-driven engineering), основанного на абстрактных описаниях через артефакты. Особенностью архитектуры модели, пригодной для обработки последовательных во времени потоков данных телеметрии и синтезируемых событий-операций, является использование последовательных конечных автоматов. С точки зрения описания процессов с позиции последовательных конечных автоматов достаточно двух таблиц, первая из которых – это таблица активностей, описывающая состояния (входные, выходные и внутренние), вторая – таблица описания переходов состояний. Модель на основе последовательных конечных автоматов автоматически преобразуется в исполняемый код. Учитывая высокую абстракцию описания последовательного конечного автомата целесообразно использовать преобразование модели на последовательных конечных автоматах в соответствующую модель Крипке, которая может быть верифицирована [4].

Модель Крипке применяется при проверке моделей для представления поведения системы и является элементарной абстрактной машиной, позволяющей описать процесс в системе обработки данных. Модель представляется ориентированным графом, вершины которого описывают достижимые состояния системы, а рёбра – соответствующие переходы. Функция пометок позволяет сопоставить каждой вершине список свойств, которые выполняются в определенном состоянии.

Задача преобразования модели последовательных конечных автоматов в модель Крипке чрезвычайно сложная. Например, прямое преобразование простейшего последовательного автомата с тремя внутренними состояниями, парой логических переменных и четырьмя вариантами перехода порождает 2880 вариантов состояний модели Крипке. Использование правил преобразования позволяет снизить количество вариантов состояний модели Крипке до 64, что делает практически осуществимым выполнение валидации модели Крипке.

Следует отметить, что графическое представление модели Крипке в визуальном редакторе оказывается наиболее удобным для задания правил и условий обработки потока данных телеметрии и вторичных сообщений. Таким образом, можно избежать трудоемкой нотации таблиц, описывающей последовательные конечные автоматы, посредством обратного преобразования в визуальном графическом редакторе, что позволяет использовать компьютерное преобразование модели обработки данных на основе последовательных конечных автоматов без валидации программного кода.

Внесение изменений в систему машинной обработки телеметрии маневровой работы объемов данных уровня BigData и изменение правил определения и детектирования технологических событий позволяет существенно упростить громоздкие конструкции программного обеспечения, используемые в языках 3-го и 4-го поколений и разработать компактную среду, которая достаточно легко адаптируется к различным технологическим задачам. Наличие визуального представления модели позволяет участвовать в мероприятиях оценки качества работы программного продукта носителям компетенций по технологическому процессу, не имеющим познаний в языках программирования и опыта разработки технических заданий.

Диспетчерский аппарат получает эффективный инструмент управления маневровыми ресурсами с возможностью оперативного отклика по совершенствованию графиков обслуживания пунктов местной работы, выявления точек с максимальной загрузкой путевого развития и разработкой вариантов переустройства станций и горловин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Короткевич, И. В.* Моделирование работы железнодорожной станции по адекватному функционалу цифрового двойника / И. В. Короткевич, Ю. С. Смагин // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 3. – С. 140–145.

2 *Короткевич, И. В.* Инновационная система онлайн-контроля дислокации маневровых локомотивов на основе использования цифрового двойника железнодорожной станции / И. В. Короткевич // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 4. – С. 155–158.

3 *Prevos, P.* Principles of Strategic Data Science / P. Prevos. – London : Packt Publishing, 2019. – 104 p.

4 *Онопrienко, А. А.* Семантика типа Крипке для пропозиционной логики задач и высказываний / А. А. Оноприенко // Математический сборник. – 2022. – Т. 211, № 5. – С. 98–125.

I. V. KOROTKEVICH

INCREASING THE EFFICIENCY CONTROL OF SHUNTING LOCOMOTIVES IN A RAILWAY JUNCTION WITH THE INTEGRATED USE OF NAVIGATION AND TELEMETRY SYSTEMS

The organization of the efficient operation of railway transport at an industrial enterprise determines the schedule for the supply of raw materials and the exact implementation

of the schedule for the shipment of final products to consumers. In conditions of high loading of the branched complex infrastructure of railway tracks and the required accuracy in servicing loading and unloading points, it becomes necessary to solve the problem of rational use of limited resources of shunting locomotives when performing various technological operations. The achieved level of information technologies and control tools with flexible settings make it possible to automate the processes of collecting and analyzing information to solve this problem. However, the output material turns out to be so weakly structured and very diverse in typing that its processing by existing systems and software requires significant computational and time resources. The article discusses the possibility, confirmed by certain practical experience in the use of innovative process control systems based on the processing of Big Data input arrays using high-performance algorithms for the sequence of finite automata, which allow real-time efficient processing of all telemetry data and the formation of result parameters with their visualization to the dispatcher on schematic model of railway infrastructure.

Получено 29.10.2024

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024

УДК 656.029.4.004

П. В. КУРЕНКОВ, В. А. САДЧИКОВА, С. П. ВАКУЛЕНКО, А. В. АСТАФЬЕВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ВАКУУМНОГО МАГНИТО-ЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

По аналогии с путевым развитием железнодорожных станций рассматриваются варианты схемы раздельных пунктов вакуумного магнито-левитационного транспорта. Показано, что маглев и железнодорожный транспорт объединяет родственная технология обслуживания транспортных потоков, организованных в поезда, которые требуется перерабатывать до их поступления на конечные пункты производства грузовых операций.

110 лет назад российскими учеными в лабораторных условиях была доказана возможность существования транспорта без колес, рельсов и крыльев – вакуумного магнито-левитационного транспорта (ВМЛТ), позволяющего добиться оптимального сочетания скорости, производительности, высокой энергетической эффективности и независимости от погодных условий. Вакуумная магнито-левитационная транспортная технология (маглев) дает следующие преимущества для перевозок: высокую скорость, производительность, высокую энергетическую эффективность и независимость от любых погодных условий. Таких преимуществ не имеет ни один другой вид транспорта. Однако чтобы реализовать их в полном объеме, необходимо тщательное технико-технологическое обоснование проекта.