

УДК 656.222.3

А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Рассмотрены основные концепции создания и уровни управления интеллектуальных систем. Определены особенности железнодорожной транспортной системы как объекта управления, которые не позволяют использовать типовые подходы интеллектуального управления. Установлены концептуальные подходы создания интеллектуальной системы управления перевозочным процессом, которые включают модели поведения системы, технологии реального масштаба времени и централизации информации, интегрированные адаптивные технологии управления перевозочным процессом. Рекомендована этапность разработки интеллектуальной системы управления и дано описание реализованных на Белорусской железной дороге этапов.

В современных условиях повышение эффективности функционирования железнодорожного транспорта неразрывно связано с увеличением уровня информатизации производственных процессов. При этом на смену информационно-справочным системам должны приходиться информационно-аналитические и информационно-управляющие системы. Из них наиболее перспективным на данный момент направлением является создание и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС).

Существует множество определений таких систем, но большинство из них сводится к определению, установленному директивой 2010/40/EU of 7 July 2010 об оборудовании и интерфейсе ИТС [1]. В соответствии с данной директивой ИТС трактуется как система, в которой применяются информационные и коммуникационные технологии в сфере автотранспорта (включая инфраструктуру, транспортные средства, участников системы, а также дорожно-транспортное регулирование), и имеющую наряду с этим возможность взаимодействия с другими видами транспорта. То есть ИТС является монотранспортной системой с возможностью информационного обмена с системами других видов транспорта.

Таким образом, общепризнанное определение ИТС для различных видов транспорта, в том числе железнодорожного, как и регламентированные структура и состав таких систем на данный момент отсутствуют. Соответственно при проектировании интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (ИСУПП) необходимо отталкиваться от классических подходов и концепций создания интеллектуальных систем.

Одной из таких общих концепций является теория функциональных систем, разработанная в 1930–70-х годах советским нейрофизиологом П. К. Анохиным. Функциональная система по П. К. Анохину – кибернетическая схема управления, нацеленная на достижение полезных для организма результатов [2].

Необходимо также подчеркнуть, что теория функциональных систем П. К. Анохина – не единственная концептуальная проработка общих схем интеллектуальных систем управления, которые были выполнены в XX веке. К таким работам можно отнести:

1 Теория ситуационного управления (Д. А. Поспелов и др. соавт.).

2 Теория перцептивного контроля (В. Пауэрс).

3 Модель концептуальной рефлекторной дуги (Е. Н. Соколов).

4 Схемы “интеллектуальных” систем распознавания (Д. С. Чернавский).

5 Концепция и модели автономного адаптивного управления (А. А. Жданов).

6 Модели адаптивного критического контроля (П. Вербос, В. Ванч, Д. Прохоров).

Работы XXI века характеризуются большей практической направленностью. В них основное внимание уделяется выбору методов решения задач интеллектуального управления. Так, в работе [3] установлены следующие уровни интеллектуального управления:

Уровень 0. Робастное управление с обратной связью.

Уровень 1. Адаптивное управление – уровень 0 + адаптивные управляющие параметры.

Уровень 2. Оптимальное управление – уровень 1 + минимизация или максимизация функции качества.

Уровень 3. Плановое управление – уровень 2 + способность планировать заранее неопределенные ситуации, имитировать и моделировать неопределенности.

С точки зрения технологии принятия решений *интеллектуальная система (ИС)* – это информационно-вычислительная система с интеллектуальной поддержкой, решающая задачи без участия человека – лица, принимающего решение (ЛПР), в отличие от *интеллектуализированной системы*, в которой оператор присутствует. С позиции технологии принятия решений выделяют следующие виды **интеллектуальных систем**:

- 1) интеллектуальная информационная;
- 2) экспертная;
- 3) расчётно-логические;
- 4) гибридная интеллектуальная;
- 5) рефлекторная интеллектуальная.

ИС в настоящее время активно применяются в поисковых системах, при распознавании образов объектов, в системах поддержки принятия решений ситуационных центров, в отдельных промышленных производствах.

Однако использовать накопленный в других отраслях опыт для создания ИСУПП сложно. Это объясняет-

ся следующими особенностями железнодорожной транспортной системы:

– в перевозочном процессе участвуют динамические единицы, которые постоянно перемещаются в пространстве и требуют непрерывного, а не дискретного контроля и управления их дислокацией;

– отсутствует возможность «складирования» перевозочных ресурсов как компенсатора неопределенности в математических моделях;

– система сбора информации для принятия управленческих решений существенно рассредоточена, из-за чего возникают задержки в передаче информации пользователям. В связи с этим в определенные периоды времени приходится принимать решения в условиях неполной или недостоверной информации;

– системы управления перевозочным процессом оказывают непосредственное влияние на безопасность движения, сохранность подвижного состава и грузов, безопасность перевозки пассажиров, что не позволяет использовать робастные интеллектуальные системы;

– объемы передаваемой и обрабатываемой информации о ходе перевозочного процесса на железнодорожном транспорте существенно превышают объемы информации самых крупных промышленных предприятий, что требует более производительных технологий и технических средств обработки данных;

– на железнодорожном транспорте используется множество информационных моделей, которые интегрированы между собой как вертикально, так и горизонтально. При возможных переходах на новые модели возникают угрозы технологической устойчивости транспортной системы;

– тесная интеграция моделей железнодорожного транспорта не позволяет реализовывать отдельные модули, а требует комплексного подхода к решению всего перечня задач.

В настоящее время значительное внимание созданию ИС на железнодорожном транспорте уделяется за рубежом. К признанным мировым лидерам (Германия, Великобритания, США, Япония) присоединяются Китай, Индия и др. Вместе с тем создаваемые системы в большинстве случаев относятся к интеллектуализированным информационным системам, в которых окончательное решение принимает человек, будь то работник железной дороги, пассажир или грузовладелец, а к ИС в классическом их понимании можно отнести только определенные элементы.

Внедрение интеллектуальных технологий управления на железнодорожном транспорте России предусмотрено Стратегией развития ОАО РЖД до 2030 года. Для этого начата реализация проекта по созданию Единой интеллектуальной системы управления железнодорожным транспортом. Необходимость создания такой системы обусловлена сложностью решаемых задач и динамичностью окружающей среды, требующей непрерывной адаптации системы к внешним воздействиям. На данный момент определена общая архитектура системы, решены отдельные теоретические задачи, накапливается опыт создания

прикладных решений [4]. Однако о каких-либо готовых к промышленному использованию ИТС говорить пока рано.

Таким образом, задачи создания интеллектуальных железнодорожных транспортных систем остаются нерешенными, что не позволяет использовать опыт их реализации на Белорусской железной дороге, а тем более купить готовый программный продукт. В связи с этим при создании ИСУПП требуется не только качественная математическая постановка, но и доскональное знание подходов к решению эксплуатационных задач транспорта.

Создание ИСУПП является распределенным во времени процессом, в котором функциональные подсистемы разрабатываются последовательно-параллельно. При проектировании подсистем предусматривается возможность их автономного функционирования. В связи с этим необходимо определить такие концептуальные подходы к созданию элементов ИСУПП, которые позволят при агрегировании получить синергетический эффект и достигнуть целей создания системы. Предлагаются следующие подходы к созданию системы [5].

Поведение системы. ИСУПП характеризуется проактивным поведением. Система, имея полную ситуационную осведомленность об объекте управления, выдает конкретные решения диспетчерскому аппарату и контролирует их выполнение. Проактивное поведение требует рациональной децентрализации в принятии решений и декомпозиции системы, в которой каждый элемент обеспечивает высокий уровень самоорганизации. Функционирование элементов системы должно быть организовано с учетом достижения общесистемных целевых параметров, а локальное решение конфликтов или эскалация на верхний уровень управления, при невозможности решить самостоятельно, приводят к динамическому согласованному перепланированию между всеми элементами и подсистемами.

Реальный масштаб времени. В ИСУПП должны формироваться управляющие решения в течение временных интервалов, соизмеримых со временем хода производственных процессов. На разных уровнях и элементах системы должны быть установлены временные границы реакции системы. Для систем реального масштаба времени решение, полученное после истечения заданного временного отрезка, соответствует неправильному. Для решения данной задачи необходимо повышение оперативности и достоверности поступающей информации с помощью новых технологий, таких как техническое зрение, мобильные устройства, спутниковые и речевые технологии.

Интегрированные адаптивные технологии управления перевозочным процессом. Реализация ИСУПП возможна только при разработке интегрированных технологий управления перевозочным процессом, которые обеспечиваются за счет создания единой технологии производственной деятельности подразделений железнодорожного транспорта, выраженной во взаимоувя-

занном наборе технологий по отдельным производственным функциям. При этом создаваемая система призвана обеспечить контроль технологии как в стратегическом плане, так и в части соблюдения дисциплины при выполнении технологических операций. В связи с этим параллельно с созданием ИСУПП необходимо разрабатывать сквозные технологии управления производственными процессами, учитывающие специфику работы объектов железнодорожного транспорта различных уровней.

Интеллектуальную основу ИСУПП составляет адаптивное планирование и динамическое распределение ресурсов. Плановые задачи и выделяемые на их выполнение ресурсы корректируются в режиме реального времени с учетом сложившейся обстановки. При решении таких задач используются эвристические алгоритмы, в основу которых положены комплексные технологии, рассмотренные выше. Практическая реализация таких технологий, организация взаимодействия между собой и с другими участниками перевозок требует пересмотра действующих нормативных документов и разработки адаптивных технологий перевозочного процесса.

Централизация информации. Одним из самых важных принципов работы ИСУПП, который позволяет говорить о реализации управляющей системы, является выполнение цикла «план – действие – контроль – корректировка» в автоматическом режиме. Информационная модель системы должна адекватно отображать единый производственный процесс и своевременно формировать регулировочные (корректирующие) решения. Этот подход предполагает:

- решение всего комплекса задач на основе единой среды исполнения;
- централизованное ведение динамических объектов моделей (поездная, вагонная, локомотивная, бригадная) для всех уровней управления;
- агрегирование имеющихся на железнодорожном транспорте информационно-управляющих решений в единое информационное пространство.

Использование приведенных выше концептуальных подходов к созданию ИСУПП позволит сократить затраты и сроки на разработку функциональных подсистем и повысить «полезность» выходных решений системы.

Работы по созданию ИСУПП на Белорусской железной дороге уже начаты и ведутся в рамках проекта «Комплексная система управления поездной работой на Белорусской железной дороге» (КС УПР БЧ), в котором участвуют кроме БелГУТа Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги (разработчик систем диспетчерской централизации и автоматизированного построения графика исполненного движения), Международный деловой альянс ИВА (разработчик ИАС ПУР ГП, АС ССП), Главный расчетный информационный центр Белорусской железной дороги и др.

Предусмотрены следующие **этапы формирования ИСУПП:**

1 Создание информационных и математических моделей перевозочного процесса на основании единой дорожной сети передачи данных, разработка и внедрение информационно-справочных систем, поэтапный переход к современным микропроцессорным системам диспетчерской централизации на участках Белорусской железной дороги.

2 Разработка и внедрение интеллектуализированных информационно-планирующих систем, ориентированных на оперативный диспетчерский аппарат ЦУП, реструктуризация системы управления перевозками на отделениях Белорусской железной дороги.

3 Переход к интеллектуальным системам прогнозирования, планирования, управления и поддержки принятия решений, проведение мероприятий по дополнительной централизации и концентрации управления на дороге, реструктуризация системы управления перевозками на линейном уровне, планирование перспективных мероприятий, разработка необходимой технической, технологической и нормативно-правовой документации.

На данный момент в значительной мере решены задачи первого этапа: контроль и отображение состояния устройств СЦБ, отслеживание поездной ситуации, автоматизация задания маршрутов следования поездов, ведение исполненного графика движения и приложений к нему, анализ выполнения графика, ведение вагонной и локомотивной моделей дороги в рамках системы ИАС ПУР ГП. Внедрение данного комплекса задач позволило существенно снизить загрузку поездных диспетчеров. В результате потребное количество диспетчерских кругов сократилось с 33 до 21.

К задачам второго этапа относятся: построение прогнозного графика движения поездов, планирование состава образования на станциях и обеспечения локомотивами и локомотивными бригадами составов, готовых к отправлению на основе имитационного моделирования поездной работы. В настоящее время большинство из этих систем находится в промышленной и опытной эксплуатации в ЦУП. В их разработке принимали участие специалисты Белорусской железной дороги и сотрудники БелГУТа. Внедрены в промышленную эксплуатацию автоматизированная система сбора заявок и планирования предоставления «окон» АС «Окна» и система учета и выдачи предупреждений на поезда АС «ПРЕД», а также система оперативного планирования состава образования УСОГДП и система автоматического построения прогнозного графика движения поездов АС ПГДП.

На всем полигоне дороги действует сквозная система сменно-суточного планирования погрузки-выгрузки. Параллельно специалистами НИЛ УПП БелГУТа выполнены работы по автоматизации разработки нормативного и вариантных графиков движения поездов, решены отдельные задачи автоматизации расчета плана формирования поездов. Внедрение задач второй очереди позволило обеспечить ритмичность пропуска поездопотоков, сократить простой составов на станции в ожидании отправления, снизить потребный парк поездных локомотивов.

Таким образом, созданы предпосылки для внедрения интеллектуальных систем управления третьей очереди. К таким системам относятся: автоматическое приготовление поездных маршрутов, выдача рекомендаций по вводу поездов в график движения, оптимальному скрещению и обгону поездов, регулировочным мерам по недопущению или ликвидации затруднений в пропуске поездов.

По предварительным оценкам внедрение ИСУПП в полном объеме и переход к интеллектуальному ситуационному управлению позволит увеличить производительность поездных локомотивов не менее чем на 5 %, сократить оборот вагонов на 2,5 % и на 30 % повысить производительность труда оперативных работников.

Список литературы

1 Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road

transport and for interfaces with other modes of transport Text with EEA relevance. Official Journal L 207, 06/08/2010 P. 1 – 13.

2 **Анохин, П. К.** Системные механизмы высшей нервной деятельности / П. К. Анохин. – М. : Наука, 1979. – 453 с.

3 **Кришнакумар, К.** Иммуный адаптивный критик в задаче автономного управления летательными аппаратами. Искусственные иммунные системы / К. Кришнакумар, Д. Нейдхофер. – М., 2006. – 344 с.

4 **Матюхин, В. Г.** ИСУЖТ. Концепция и реализация / В. Г. Матюхин, А. Б. Шабунин // Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. (ИСУЖТ-2012) : тр. Первой науч.-техн. конф. – М. : ОАО «НИИАС», 2012. – С. 15–18.

5 **Ерофеев, А. А.** Концептуальные подходы к созданию интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте / А. А. Ерофеев // Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015) : материалы Междунар. науч. конф. / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2015. – С.44–45.

Получено 09.05.2017

A. A. Erofeev. Prerequisites establishment of the intelligent management system of transport process.

The basic concepts of creation and levels of management of intellectual systems are considered. The peculiarities of the railroad transport system as a control object that do not allow the use of standard approaches of intellectual control are determined. The conceptual approaches to the creation of an intelligent transportation management system are established, which include models of system behavior, real-time technology and centralization of information, integrated adaptive control technologies for the transportation process. The stages of the development of the intellectual control system are determined and the description of the stages implemented at the Belarusian Railroad is described.