

ПРОЦЕССНО-ОБЪЕКТНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ЦЕЛЕВОЙ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Ерофеев А.А., Федоров Е.А.

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация. Определена проблематика применения интеллектуальных систем на транспорте. Изложены ключевые аспекты и принципы построения интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте. Обосновано применение процессно-объектного подхода в онтологии предметной области интеллектуальной системы управления перевозочным процессом для постановки и решения эксплуатационных задач управления. Приведен опыт Белорусской железной дороги в использовании процессно-объектного подхода в системе управления перевозочным процессом.

Ключевые слова: интеллектуальная система, перевозочный процесс, железнодорожный транспорт, процессно-объектный подход, модель, управление, эксплуатация.

PROCESS-OBJECT APPROACH TO FORMING THE TARGET MODEL OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM

Erofeev A. A., Fedorov E.A.

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The problems of using intelligent systems in transport are defined. The key aspects and principles of building an intelligent system for managing the transportation process in railway transport are outlined. The application of the process-object approach in the ontology of the subject area of the intellectual system for managing the transportation process for setting and solving operational control problems is substantiated. The experience of the Belarusian Railways in using the process-object approach in the system of transportation process management is presented.

Keywords: intelligent system, transportation process, railway transport, process-object approach, model, management, operation.

Транспортная отрасль, как и мир в целом, находится на пороге очередной технологической революции, основанной на переходе к интеллектуальным системам управления. На сегодняшний день такие системы созданы и функционируют в различных сферах деятельности людей, от сугубо профессиональных, таких как, например, вождение транспортного средства, до считающихся традиционно творческими – написание текстов, формирование изображений на заданную тематику, поиск и адаптация информации под запросы пользователя и др.

Развитие интеллектуальных систем на транспорте сталкивается с рядом принципиальных затруднений, существенно ограничивающих их применение на транспорте. Эти затруднения обусловлены как общими для сферы интеллектуальных систем проблемами, описанными, например в исследованиях [1], так и спецификой осуществления транспортной деятельности на железнодорожном транспорте, особенностями сложившейся в условиях фундаментального изменения подходов к организации транспортного бизнеса структуры

комплексов информационных технологий, применяемых железнодорожными администрациями для управления перевозочным процессом.

Ключевой организационной особенностью, ограничивающей развитие информационных и, соответственно, интеллектуальных систем для иностранных железнодорожных администраций, является обеспечение интеграционных процессов для формирования единого полигона из большой совокупности разнородных транспортных систем. Это определило первичные задачи в сфере цифровой трансформации железнодорожных перевозок, такие как:

- интеграция комплексов информационных технологий различных железнодорожных администраций, развивающихся независимо друг от друга в течение длительного промежутка времени;
- выработка единых стандартов в отрасли и проведение цифровой трансформации в первую очередь для «ключевых» процессов (например, вождение поездов, система технической эксплуатации, безопасность) при сохранении систем планирования и управления в рамках собственных разработок участников перевозочного процесса;
- обеспечение многовекторности модели транспортного бизнеса, вследствие значительного числа заинтересованных сторон, обуславливающего множественность целей перевозочного процесса.

Для железных дорог пространства колеи 1520 мм характерна несколько иная проблематика, породившая затруднения для развития комплексных информационных решений в сфере управления перевозочным процессом:

- наличие информационных систем для решения аналогичных задач от разных разработчиков, возникших вследствие естественной конкуренции научных центров в советском и раннем постсоветском периоде, а также необходимости создания собственных центров разработок железнодорожными администрациями на современном этапе;
- информационные системы на этапе значительной продолжительности создавались для решения прикладных задач управления без использования централизованных баз данных и со значительным объемом ручного ввода информации.

Однако, наличие комплексного подхода в стратегии цифровизации транспорта, обеспечило своевременное формирование необходимого базиса для интеллектуализации процессов управления транспортными процессами. На сегодняшний день созданы и успешно развиваются интегрированные информационные системы, охватывающие значительный спектр событий, обеспечивающих информатизацию ключевых технологических процессов [3] и выступающие основой для создания интеллектуальной транспортной системы (ИТС).

Вместе с тем, процесс разработки и внедрения ИТС является фрагментарным и охватывает только отдельные технологические процессы. Большинство функционирующих и внедряемых информационных систем все еще является интеллектуализированными (в которых окончательное решение принимает человек, а к интеллектуальным в классическом их понимании можно отнести только отдельные элементы [3]).

В сфере искусственного интеллекта (нейронных сетей) согласно исследованиям [7] выделяют два принципиальных типа интеллектуальных систем: традиционные, в которых функционирование системы начинается с формулирования целей, трансформирующихся в процессе поиска решения в конечный результат, и системы интеллектуального поиска, в которых единая цель процесса поиска не формулируется, ее заменяет система множественных частных, промежуточных целей-результатов, которые появляются и анализируются в процессе функционирования.

Первый тип систем очевидно применим для решения задач, имеющих достаточно четкую формулировку конечных целей. В транспортной сфере такие задачи ставятся в системах управляющих непосредственным процессом движения, системах поддержки деятельности людей в «однозначно трактуемых» процессах (например, системы по распознаванию голоса и его трансформации в документацию различного рода), системах непрерывной диагностики с применением BigData и др. Второй тип систем считается не

применимым в управлении транспортной деятельностью вследствие традиционного представления о невозможности организации перевозочного процесса без predetermined цели. Однако, анализ систем управления железнодорожным транспортом, их специфика, многовекторность и динамичность изменения целей и способов поиска управленческих решений на разных уровнях управления, подталкивает нас к тому, что интеллектуальная система управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (ИСУПП) должна объединить в себе оба типа интеллектуальных систем с четким пониманием сфер эффективного применения каждого из них.

Для создания ИСУПП, соответствующей заявленному подходу, разработаны и систематизированы теоретические принципы, методы, модели и технологии интеллектуального управления, совокупность которых позволяет сформировать единую технологию управления перевозочным процессом, обеспечивающую повышение эффективности перевозочной деятельности, уровня безопасности перевозок, качества предоставляемых услуг [3].

Определение конечных и промежуточных целей перевозочного процесса для всего множества заинтересованных сторон, понимание их множественности в различных эксплуатационных ситуациях, диктуемых, как правило, внешними по отношению к транспорту факторами, позволило создать необходимые условия для накопления опыта, самообучения и формирования базы знаний ИТС без которых все попытки ее создания могут продолжаться и далее носить характер решения отдельных локальных задач.

Принципы построения ИСУПП, позволяющей разрешить принципиальные противоречия целей и методов решения задач управления перевозочным процессом, разработаны в исследованиях [4, 5, 8, 9, 10].

Оценка эффективности функционирования ИСУПП будет различаться для планового и оперативного управления.

При плановом управлении производится поиск оптимальных управляющих решений с целью достижения максимального финансового результата:

$$F_i^{\text{план}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i) = \{F_{l_i}(\bar{a}_{l_i}, \bar{b}_{l_i}), \dots, F_{w_i}(\bar{a}_{w_i}, \bar{b}_{w_i}), \dots, F_{Y_i}(\bar{a}_{Y_i}, \bar{b}_{Y_i})\} \rightarrow \max \sum E_{ij}, \quad (1)$$

где F_i – вектор критериев оптимальности, характеризующих качество принятия УР на i -м этапе принятия решения; $i = 1, \dots, j$ – число этапов принятия решения; $\bar{a}_i = \{\bar{a}_{l_i}, \dots, \bar{a}_{p_i}, \dots, \bar{a}_{j_i}\}$ – вектор технических параметров на i -м этапе принятия решения; $\bar{b}_i = \{\bar{b}_{l_i}, \dots, \bar{b}_{p_i}, \dots, \bar{b}_{j_i}\}$ – вектор технологических параметров на i -м этапе принятия решения; $j = 1, \dots, p$ – число подсистем ИСУПП, участвующих в разработке и реализации УР; $Y_i = 1, \dots, w_i$ – число критериев оптимальности на i -м этапе разработки УР; $\sum E_{ij}$ – функция оценки финансового результата от реализации УР на i -м этапе в j -й подсистеме.

Оперативное управление предполагает организацию функционирования системы в соответствии с заранее разработанным планом. Оптимизация допускается только в рамках решения конкретной эксплуатационной задачи и в пределах объекта управления при условии, что оптимизированное решение не потребует изменения условий функционирования смежных подсистем и объектов. Тогда функция эффективности оперативного управления может быть описана в общем виде выражением

$$F_i^{\text{опер}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i) = \{F_{l_i}(\bar{a}_{l_i}, \bar{b}_{l_i}, \bar{c}_{l_i}), \dots, F_{w_i}(\bar{a}_{w_i}, \bar{b}_{w_i}, \bar{c}_{w_i}), \dots, F_{Y_i}(\bar{a}_{Y_i}, \bar{b}_{Y_i}, \bar{c}_{Y_i})\} \rightarrow F_i^{\text{план}}(\bar{a}_i, \bar{b}_i), \quad (2)$$

где $\bar{c}_i = \{\bar{c}_{l_i}, \dots, \bar{c}_{i_i}, \dots, \bar{c}_{w_i}\}$ – вектор неуправляемых параметров на i -м этапе принятия решения.

Для различных подсистем ИСУПП помимо экономических могут устанавливаться технические и технологические критерии оптимальности. К таким критериям можно отнести, например, оборот вагона, маршрутную скорость, потребность в перевозочных ресурсах, пропускную способность элементов инфраструктуры, выполнение договорных обязательств,

производительность труда, потребность в локомотивах и локомотивных бригадах, затраты на топливно-энергетические ресурсы. Перечень критериев в зависимости от решаемой эксплуатационной задачи может изменяться в широком диапазоне, при этом на эффективность принятия управленческих решений количество критериев оптимальности и их структура влияния не оказывают. В результирующей целевой функции результаты управленческих решений оцениваются через приведенные экономические результаты.

ИСУПП должна эффективно сочетать преимущества плановых и оперативных видов управления и обеспечивать своевременный переход от одних методов к другим в зависимости от информационной осведомленности от складывающейся эксплуатационной обстановки.

Для этого в ИСУПП необходимо предусматривать возможность:

- формализации и дополнения новыми критериями эффективности СУПП;
- выбора из множества имеющихся алгоритмов тех, которые обеспечивают достижение цели с учетом новых критериев эффективности;
- формирования новых алгоритмов путем модификации существующих;
- добавления новых алгоритмов формирования управляющих решений.

Все перечисленные выше функции присущи «обучению» экспертных систем (компонента приобретения знаний).

Формирование УР как при плановом, так и при оперативном управлении сопряжено с отсутствием полной и достоверной информации о ходе ПП, а отдельные параметры или показатели качества являются неопределенными или случайными. В одних случаях путем использования массива данных и знаний возможно установить вероятностные характеристики параметров задач, в других сделать это не представляется возможным [2].

Управляющее решение может формулироваться в виде чистых или смешанных стратегий. Решение в чистых стратегиях – это вектор – оптимальный план решения эксплуатационной задачи. Смешанные стратегии представляют собой вероятностные распределения компонент оптимального плана зависимости от складывающейся эксплуатационной обстановки.

В рамках ИСУПП чистые стратегии предлагается называть **решающими правилами**, которые описываются в виде соответствующих моделей или алгоритмов. Для задач данного типа характерны идентификация ситуации и выбор (формирование) для нее соответствующего алгоритма.

Управляющие решения в смешанных стратегиях называют **решающими распределениями**. Для них характерно использование технологий Big Date и формирование (уточнение) обучающих выборок.

Создание ИСУПП предполагает наличие единых способов описания системы и протекающих в ней процессов – онтологии предметной области. Эта задача неразрывно связана с механизмами информационного обеспечения функционирования системы. Актуальные механизмы формирования цифровых моделей объектов управления должны позволять в оперативном режиме осуществлять моделирование состояния перевозочного процесса. Для этого требуется унификация требований к содержанию и форме представления информации о параметрах функционирования объектов перевозочного процесса [3].

Традиционно автоматизированные системы управления ориентированы на сбор, агрегирование и представление информации лицу, принимающему решения. Отличительной особенностью ИСУПП должна стать ее ориентация на решение эксплуатационных задач (проблемная ориентация). ИСУПП как проблемно-ориентированная система формируется на основе двух подходов [6]:

- объектно-ориентированного, базирующегося на представлении каждого объекта предметной области ПП в виде классификатора и описания его набором свойств – характеристик;
- процессно-ориентированного, базирующегося на формировании модели выполнения технологических операций перевозочного процесса, направленной на достижение конечной

цели решения эксплуатационной и (или) завершения решения задачи в установленные технологией сроки.

Предлагаемый в ИСУПП процессно-объектный подход предполагает симбиоз объектно-ориентированного и процессно-ориентированного подходов в соответствии с которым при решении эксплуатационных задач управления процессы следует рассматривать как перемещение множества транспортных потоков на полигоне железнодорожной инфраструктуры, реализуемое в результате определенного технологического процесса (технология работы станции, технология взаимодействия станции и мест необщего пользования, ГДП, системы эксплуатации локомотивов, организации вагонопотоков и иных процессов), то есть совокупности последовательных процессов и операций, выполняемых множеством участников перевозочного процесса. На объектах инфраструктуры под процессом можно также рассматривать и обслуживание транспортного потока без перемещения подвижного состава (техническое, коммерческое, таможенное, пограничное и иное). В этом случае присутствует совокупность операций в стационарной точке объекта инфраструктуры.

Сущность процессно-ориентированного подхода применительно к моделированию перевозочного процесса заключается в систематизации и объединении на полигоне инфраструктуры процессов перемещения (обслуживания) транспортного потока в соответствии с требованиями к параметрам перемещения (обслуживания) заявленного транспортного потока и возможностями инфраструктуры по их пропуску.

Многие железнодорожные администрации проводят активную работу по внедрению процессного подхода в управлении [11], но они, по нашему мнению, ограничены классическим пониманием бизнес-процесса, в котором обязательным результатом трактуется создание/изменение ценности.

На Белорусской железной дороге начато внедрение процессного подхода в управлении техническими станциями, для которых выделены три группы процессов:

- 1) управляющие процессы: стратегическое планирование работы станции; оперативное планирование работы; планирование развития инфраструктуры;
- 2) основные процессы: организация грузовой работы на станции; переработка грузовых вагоно- и поездопотоков; переработка пассажирских поездопотоков; предоставление услуг инфраструктуры станции;
- 3) вспомогательные процессы: содержание и эксплуатация инфраструктуры; предоставление услуг локомотивной тяги (в пассажирском и грузовом движении); ремонт подвижного состава; содержание социальной сферы; управление финансами; другие виды деятельности.

Одним из инструментов, позволяющих приблизиться к формализации и практической реализации ИСУПП является, по нашему мнению, разработка комплексной модели функционирования транспорта на основе предлагаемого процессно-объектного подхода. Белорусским государственным университетом транспорта на полигоне БЧ параллельно работам по внедрению процессного подхода начата работа по формированию процессно-объектной модели эксплуатационной деятельности, в которой конечные цели бизнес-процессов задаются через эксплуатационные показатели или КРІ, отражающие их эффективность для участников в рамках реализации Единой технологии перевозочного процесса, как глобального бизнес-процесса с классическим определением цели. Разработанная методология построения модели перевозочного процесса в полной мере соответствует онтологии предметной области ИСУПП.

Применение процессно-объектного подхода позволяет оценить существующий уровень операционной эффективности деятельности непосредственно на объекте инфраструктуры, ведь вслед за моделированием/описанием бизнес-процесса сразу возникают предложения по его оптимизации, а также задачи по его автоматизации и контролю через систему показателей и аналитических разрезов.

Предлагаемая модель перевозочной деятельности позволяет определить ключевые направления системного развития комплекса информационных технологий в сфере

организации перевозочного процесса в условиях интеллектуализации управляющих систем. Такая модель с одной стороны позволяет установить эффективность и выявить недостатки реализованных информационных систем и, с другой стороны, установить первоочередные процессы, в которых внедрение компонентов интеллектуальных информационных систем/сервисов позволит достичь значимого эффекта для улучшения управляемости перевозочного процесса и перейти, в конечном счете, к управлению перевозочным процессом посредством ИСУПП.

Список литературы

1. Голенков, В. В. Интеллектуальные системы. Проблемы и перспективы / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина // Информационные технологии и системы 2016 (ИТС 2016) : материалы международной научной конференции (БГУИР, Минск, Беларусь, 26 октября 2016). – Information Technologies and Systems 2016 (ITS 2016): Proceeding of the International Conference (BSUIR, Minsk, Belarus, 26th October 2016) / редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 13–20.
2. Ерофеев, А. А. Влияние сбоев в информационных системах дорожного уровня на организацию перевозочного процесса / А. А. Ерофеев // Транспортный комплекс в регионах: опыт и перспективы организации движения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 28 мая 2015 г. ; под ред. А. А. Платонова. – Воронеж : Руна, 2015. – № 1. – С. 11–15.
3. Ерофеев, А. А. Интеллектуальная система управления на железнодорожном транспорте : монография / А. А. Ерофеев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 407 с.
4. Ерофеев, А. А. Интеллектуальное управление перевозочным процессом: от оперативного к плановому / А. А. Ерофеев // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 4. – С. 74–77.
5. Ерофеев, А. А. Перспективы внедрения интеллектуальных систем управления на железнодорожном транспорте / А. А. Ерофеев, В. В. Голенков // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 11–12 окт. 2018 г. / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 96–98.
6. Ерофеев, А. А. Практико-ориентированные методы принятия управленческих решений с использованием моделей транспортных процессов / А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов // Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана : материалы науч.-практ. конф., Минск, 13 окт. 2016 г. – Минск, 2016. – С. 60–61.
7. Колешко, В. М. Интеллектуальная система поиска научных открытий / В. М. Колешко, А. В. Гулай // Теоретическая и прикладная механика : международный научно-технический сборник. – Вып. 18. – 2005. – С. 241–248.
8. Кузнецов, В. Г. Оценка организации перемещения вагонов на инфраструктуре с применением процессно-объектного подхода / В. Г. Кузнецов, Е. А. Федоров, К. И. Гедрис // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 107–111.
9. Фёдоров, Е. А. Композиция расчетного полигона инфраструктуры железной дороги для процессно-объектного моделирования графика движения поездов / Е. А. Федоров // Вестник Белорус. гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт. – 2019. – № 1. – С. 90–95.
10. Фёдоров, Е. А. Организация перевозочного процесса с использованием процессно-объектного графика движения поездов на инфраструктуре железнодорожного транспорта / Е. А. Федоров // Вестник Белорус. гос. ун-та транспорта: Наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 114–119.
11. Шатров, С.Л. Процессный подход к аналитической оценке эффективности функционирования транспортных систем / С.Л. Шатров // Бухгалтерский учет и анализ. – 2018. – № 9. – С. 14–22.