

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ МАШИНИСТОМ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ АВТОВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА

А.Ю. Заковоротный

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт",
г. Харьков, Украина

INTELLECTUAL SYSTEM A DECISION SUPPORT MACHINIST WITH THE POSSIBILITY OF AUTOMATIC DRIVING THE TRAIN

A.Y. Zakovorotnyi

National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukrainian

arcade@i.ua

Аннотация. Для дизель-поездов разработана структура интеллектуальной компьютерной системы поддержки принятия решений машинистом. Система в реальном времени выдает машинисту закон управления поездом при котором соблюдается график движения и минимизируется расход топлива. Предлагаемая система может также осуществлять автоматическое управление дизель-поездом в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений машинистом, автоматическое управление дизель-поездом, минимизация расхода топлива.

Abstract. For diesel-trains designed structure intelligent computer decision support systems machinist. The system gives out in real time control law machinist the train where complied with the timetable and minimized fuel consumption. The proposed system can implement automatic control of a diesel-train in real conditions.

Keywords: decision support system machinist, automatic control of diesel-trains, minimizing fuel consumption.

Постановка проблемы и анализ литературы

Тяговый подвижной состав железных дорог является крупным потребителем топливно-энергетических ресурсов. Поэтому одной из основных задач, которая ставится перед научным сообществом, является создание и внедрение на железнодорожном транспорте специализированных систем, позволяющих оптимизировать энергопотребление подвижного состава. Решение этих проблем видится не только в техническом перевооружении и структурной перестройке железнодорожного транспорта при сохранении объёмов перевозок, но и в повышении эффективности его эксплуатации. В связи с этим разработана и внедрена на железнодорожном транспорте надежных энергосберегающих систем, автоматизирующих процесс управления подвижным составом является своевременной и актуальной задачей. При этом особое внимание уделяется внедрению бортовых интеллектуальной систем поддержки принятия решений, которые позволяют в реальных условиях эксплуатации подвижного состава формировать для машиниста рекомендации по управлению поездом, при которых соблюдается заданный график движения с минимальным расходом топливно-энергетических ресурсов.

В современных автоматизированных системах управления сложными техническими объектами управление процессами может осуществляться автоматически в реальном времени, без участия лица принимающего решения, которое, в свою очередь, непрерывно контролирует процесс управления объектом и подключается только при возникновении, так называемых, проблемных ситуаций [1 – 6].

При этом под проблемной ситуацией понимается ситуация, которая возникает в процессе управления, при воздействии возмущающих факторов, носящих случайный характер и имеющих широкий спектр отрицательных последствий. Как правило, выход из таких ситуаций не может быть выполнен без участия лица принимающего решения. Выбор конкретной альтернативы управления осуществляется при наличии информации о состоянии объекта и системы управления при наличии критериев, решающих правил и собственной системы предпочтений. При этом советчиком, лица принимающего решения, является интеллектуальная система поддержки принятия решений.

Из практики управления подвижным составом известно, что расход энергоресурсов локомотивом или дизель-поездом за поездку во многом зависит от машиниста. Опытные машинисты часто экономят до 10% энергоресурсов по сравнению с заданной нормой, однако существуют и бригады, которые не укладываются в установленные нормы. Это связано с тем, что машинист при ведении состава не только выполняет требования «маршрутных карт», которые рассчитываются с помощью специального метода тяговых расчетов [7, 8], но и использует свой опыт, позволяющий учитывать вес состава, тип и загрузку вагонов, профиль и состояние пути, скорость движения, погодные условия и т.д. Это приводит к необходимости синтеза новых систем автоматизирующих процесс управления железнодорожным транспортом.

При совершенствовании уже существующих или синтезе новых систем управления необходимо учитывать сложность объекта управления, которым является

тяговый подвижный состав железнодорожного транспорта, разнообразие условий его эксплуатации и существующие ограничения, накладываемые на работу тягового оборудования. Для учета перечисленных особенностей необходим анализ множества разнообразных факторов, начиная с типа тягового электропривода и заканчивая существующими методами оптимизации процессов управления и их критериями оптимальности. В работах [9 – 17] отмечается, что на сегодняшний день основным направлением при создании подобных систем управления железнодорожным транспортом, является использование в их структуре вычислительной техники и современных компьютерных технологий.

Бурное развитие микропроцессорных систем [12 – 14] позволяет реализовывать на их основе все более и более сложные алгоритмы управления тяговым подвижным составом. Так в работе [18] описывается аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики (МСУД), которая выполняет автоматическое управление электроприводом и электрическими аппаратами серийного электровоза в режимах тяги и торможения. Аппаратура МСУД построена на программных принципах обработки информации, поступающей от датчиков тока, скорости, узлов коммутации, сельсинов задатчиков тока и скорости, а также ряда дискретных сигналов состояния оборудования электровоза. Аппаратура МСУД состоит из трех контроллеров: центрального и двух технологических с разделенными функциями управления электрооборудованием, диагностики и возможностью передачи управления друг другу при реконфигурации в случае повреждения одного из контроллеров, а также двух блоков индикации на пультах машиниста.

Аппаратура МСУД позволяет реализовать на магистральном пассажирском электровозе режим автоведения. База данных для автоведения записывается в энергонезависимый накопитель МСУД и содержит информацию о профиле пути, действующих скоростных ограничениях на участке следования и графике движения. Для активизации режима автоведения достаточно ввести номер поезда, в составе которого следует электровоз, и включить режим автоведения. Режим автоведения обеспечивает движение по графику, выполнение всех ограничений скорости и минимизирует расход электроэнергии на тягу.

Однако подходы, реализованные в режиме автоведения рассмотренной МСУД, не предполагают, при изменении дорожной ситуации, считывания новых параметров движения с энергонезависимого накопителя информации или пересчета параметров движения подвижного состава в реальном времени. Это, в свою очередь, приводит к тому, что дальнейшее движение поезда по оставшемуся участку пути, будет далеко от оптимального и будет зависеть только от опыта и уровня квалификации машиниста.

В работе [19] рассмотрена структура автоматической системы управления (АСУ) «Локомотив» основным модулем которой, является аппаратно-программный комплекс (АПК) «Пилот». АПК «Пилот» состоящий из центрального блока управления (ЦБУ), который предназначен для сбора информации от дискретных, аналоговых и частотных датчиков и выдачи управляющего воздействия на исполнительные устройства, а также формирования сигналов для управления тиристорным преобразователем и

электронным регулятором частоты вращения вала дизеля. Еще одна функция блока – сохранение диагностической информации в сменной кассете. Имеются также два температурных измерителя, которые обеспечивают прием сигналов от датчиков температуры и передачу информации в ЦБУ. Температура измеряется для диагностики систем дизеля, а также для индикации состояния контролируемых сред на пульте машиниста.

Применение бортовых АПК «Пилот» приносит экономический эффект по таким позициям, как снижение расхода топлива на 8%, уменьшение расходов на ремонт тепловоза на 8%, повышение производительности тепловоза на 10%. Однако дополнительные возможности, связанные с экономией топлива за счет определения и реализации оптимальных законов управления подвижным составом в данном аппаратно-программном комплексе не реализованы.

В работах [20, 21] рассмотрены примеры применения на железных дорогах Германии и Японии бортовых компьютерных систем, оптимизирующих, по потреблению энергии, режимы вождения подвижного состава. Это становится возможным благодаря тому, что в системе моделируются многочисленные варианты движения поезда на рассматриваемом участке, для которых принимаются различные режимы ведения поезда и прогнозируется потребление энергии. В зависимости от потребления энергии производится отбор режимов, из которых выбирается оптимальный. Таким образом, рассмотренный метод позволяет выявить энергооптимальный режим ведения путем математической оценки случайно распределенных резервов времени и общего потребления энергии. Однако рассмотренные подходы, многократно проводимых последовательных расчетов и их математической оценки, являются не самыми лучшими при построении систем оптимального управления. Это связано, в первую очередь, с невысокой точностью результатов, получаемых с помощью подобного рода методов случайного поиска и многовариантных просчетов. Кроме того, полученные управления не учитывают особенности работы привода, который используется на локомотиве, в различных режимах его функционирования, что необходимо для выработки управляющих воздействий при оптимальном ведении подвижного состава. Как видно из вышеизложенного, созданию и внедрению, на тяговом подвижном составе, современных бортовых компьютерных систем управления и поддержки принятия решений уделяется большое внимание. Подобного рода системы представляют собой сложные технические объекты с высокоинтеллектуальными системами управления с применением программируемых микропроцессоров и ЭВМ, в которых используются передовые информационные технологии. Однако определение оптимальных законов управления подвижным составом в большинстве из них не рассмотрены, либо реализованы на базе многовариантных просчетов, на основе существующих тяговых расчетов, это связано, в первую очередь с тем, что проблема разработки и поиска оптимальных законов управления для тягового подвижного состава во многом не решена и по сей день. Таким образом, при разработке бортовой компьютерной системы управления и поддержки принятия решений, необходимо, с одной стороны, определение оптимальных законов управления движением подвижного состава, которые учитывают особенности работы используемого

привода, а с другой стороны, реализация возможности пересчета параметров движения подвижного состава в реальном времени.

Цель статьи – разработка структуры системы поддержки принятия решений машинистом, которая обеспечит управление дизель-поездом в реальном времени с минимальным расходом топлива при соблюдении заданного графика движения.

Основной раздел

При оптимальном ведении поезда по маршруту машинист должен учитывать множество различных факторов, к которым, в первую очередь, относится расписание движения, профиль железнодорожного пути, текущие погодные условия, параметры, характеризующие подвижной состав (вес состава, его загрузка и технические характеристики и т.д.), время, оставшееся для преодоления перегона, текущую скорость движения, а также различные ограничения, принятые как для всего маршрута следования состава так и для конкретного участка пути (если они существуют). При этом опытный машинист может определить, с одной стороны, необходимую в текущий момент времени позицию контроллера машиниста, а с другой стороны, будущую стратегию управления подвижным составом, т.е. будущую последовательность переключений тягового и тормозного контроллера машиниста. В этом машинисту поезда помогает маршрутная карта движения состава, которая рассчитана заранее для каждого

железнодорожного перегона, согласно существующего графика движения и определенных погодных условий. Однако при возникновении в процессе движения подвижного состава ситуаций, которые существенно отличаются от принятых при расчете маршрутной карты и ведущих к отклонению от рассчитанного графика движения по перегону, карта становится практически бесполезной, а оставшийся путь, до конечного пункта назначения, машинист дизель-поезда выполняет, основываясь на своем опыте.

Кроме этого, возникновение непредвиденных ситуаций ведет и к отклонениям в системе ориентиров, которыми пользуется машинист при штатном ведении дизель-поезда по данному участку железнодорожного пути. В связи с этим необходимым является оперативный пересчет маршрутной карты во время движения состава, с текущего места на железнодорожном перегоне до конечного пункта назначения с учетом изменившихся условий движения поезда, оставшегося времени по расписанию, а также минимизации расхода энергоресурсов.

Для обеспечения этого поезд должен быть снабжен бортовой компьютерной интеллектуальной системой поддержки принятия решений машинистом (ИСППРМ) (рис. 1), которая бы выдавала машинисту необходимую информацию для оптимального ведения подвижного состава, в частности, законы переключения позиций тягового и тормозного контроллеров машиниста.

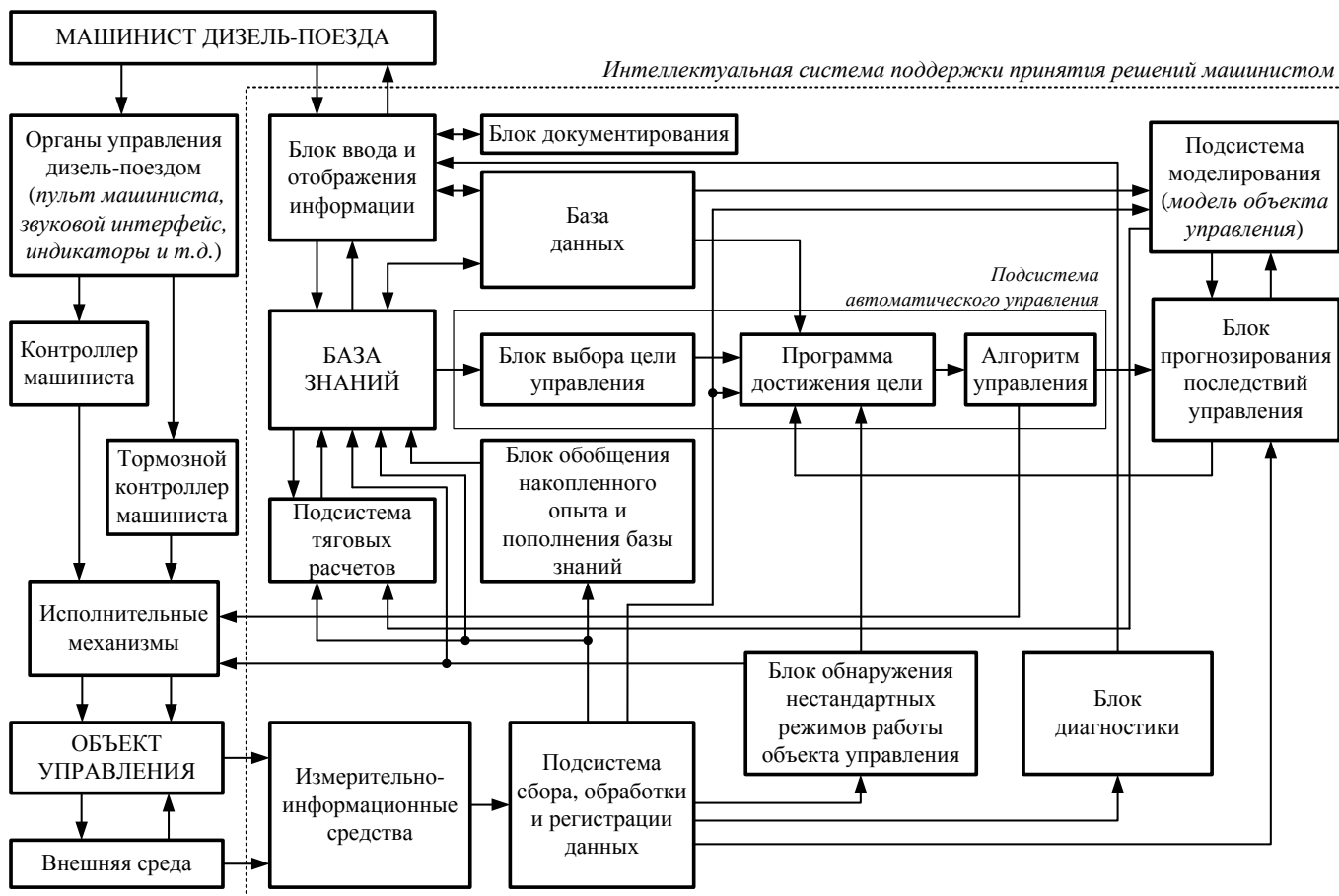


Рис. 1. Структура интеллектуальной системой поддержки принятия решений машинистом дизель-поезда

Для этого структура ИСППРМ должна содержать как минимум:

- блок ввода и отображения информации в каждой из двух кабин дизель-поезда, куда входит экран дисплея вывода данных и устройство ввода;
- базу знаний, хранящую электронные маршрутные карты движения по всем перегонам маршрута;
- базу данных, хранящую дополнительную информацию об объекте управления, параметрах и маршрутах движения, расписании и т.д.;
- подсистемы тяговых расчетов на основе алгебраических и дифференциальных моделей движения составов, позволяющие пересчитывать, в случае необходимости, электронную маршрутную карту движения;
- подсистему сбора, обработки и регистрации данных (ПСОРД);
- измерительно-информационные средства;
- блок обобщения накопленного опыта и пополнения базы знаний;
- блок обнаружения нестандартных режимов работы объекта управления;
- блок прогнозирования последствий управления;
- подсистему моделирования;
- блок диагностики;
- блок документирования;
- подсистему автоматического управления, которая должна включать в себя блок выбора цели управления, программу достижения цели и алгоритм управления.

Одним из основных элементов, входящих в структуру ИСППРМ, является база знаний. Она осуществляет компактное хранение информации о программной траектории движения поезда и электронных маршрутных картах движения подвижного состава, которые рассчитаны заранее для всех перегонов маршрута с учетом расписания, возможных погодных условий, а также возможных ограничений по скорости и времени. Эти данные необходимы машинисту при движении поезда из начального в конечный пункт назначения по заданному перегону железнодорожного пути с соблюдением определенного графика движения подвижного состава при текущих погодных условиях. Заполнение базы знаний осуществляется электронными маршрутными картами, с одной стороны, рассчитанными в подсистеме тяговых расчетов с помощью алгебраических и дифференциальных моделей движения составов, которые хранятся в подсистеме моделирования, а с другой стороны, полученными от блока обобщения накопленного опыта и пополнения базы знаний, который берет информацию из ПСОРД в виде данных о поездках опытных машинистов. При этом база знаний обеспечивает пополнение хранимой информации без потерь или искажения уже запомненных ранее данных, а также хранить: номер и длину перегона, время и скорость движения по перегону, профиль пути, режим ведения подвижного состава, имеющиеся ограничения и т.д. Для устранения влияния изменяющихся условий внешней среды, которые ведут к нарушению графика движения подвижного состава, ИСППРМ должна позволять оперативно пересчитывать траектории движения подвижного состава из текущего положения на перегоне до конечного пункта назначения на основе метода тяговых расчетов при каждом изменении дорожной ситуации. Расчет основных параметров движения подвижного со-

става (силы тяги, подведенной и полезной мощности, тягового момента, силы сопротивления движению и т.д.), на основании которых осуществляется расчет программной траектории движения поезда, а значит и электронной маршрутной карты, должен вестись с использованием реального значения тягового момента, величина которого снимается непосредственно с объекта управления с помощью ПСОРД, что в значительной степени повышает точность проводимых расчетов. При этом маршрутные карты, полученные в результате работы подсистемы тяговых расчетов, запоминаются в имеющейся базе знаний и могут использоваться в последующем при ведении подвижного состава в подобных условиях поведения внешней среды.

ПСОРД, заложенная в структуру ИСППРМ, в реальном времени производит опрос датчиков и устройств системы управления с помощью измерительно-информационных средств, принимает текущее значение сигналов управления, выполняет предобработку, масштабирование и фильтрацию сигналов, а также нормализацию и преобразование данных в формат, соответствующий физическим сигналам, протекающим в объекте управления. К данным, поступающим на входы ПСОРД, относятся действующие и активные токи двигателя, напряжения генераторов и выпрямителей, частоты оборотов дизеля и частоты вращения роторов всех четырех двигателей дизель-поезда, а также температуры двигателей и генераторов. Наряду с этим ПСОРД перенаправляет поступающие в неё сигналы другим блокам, которые входят в структуру ИСППРМ. Так, с одной стороны, реальные значения тяговых моментов двигателей дизель-поезда, которые снимаются с объекта управления, передаются подсистеме тяговых расчетов, для осуществления более точных вычислений, а с другой стороны, значения полученных фазовых координат поступают на вход подсистемы моделирования в математическую модель тягового асинхронного привода, на основании которых осуществляется уточнение и подстройка управляющих воздействий на объект управления, в следствие чего достигается оптимизация расхода топлива. При этом ПСОРД позволяет передавать при необходимости полученную информацию для хранения в имеющуюся базу знаний через блок обобщения накопленного опыта и пополнения базы знаний, который также входит в состав структуры ИСППРМ и позволяет фиксировать и сохранять в виде маршрутной карты действия машиниста по переключению контроллеров дизель-поезда, при ведении подвижного состава по различным перегонам заданного маршрута. Кроме того, переменные, снимаемые с реального объекта, поступают на блок обнаружения нестандартных режимов работы объекта управления для выявления и борьбы с такими процессами как буксование и юз, также и на блок диагностики, для контроля параметров работы объекта управления, и блок прогнозирования последствий управления, для проверки оптимальности выбранного алгоритма управления в подсистеме автоматического управления на основе данных о текущем состоянии управляемого объекта. Наряду с этим текущие параметры погодных условий передаются из ПСОРД непосредственно в базу знаний, для выбора соответствующей электронной маршрутной карты движения по заданному перегону.

В состав ИСППРМ входит и подсистема моделирования с математической моделью движения дизель-поезда, представленной в линейной канонической форме Бруновского, которая получена с помощью геометрической теории управления, и используется для определения оптимальных, с точки зрения расхода топлива, управляющих воздействий [22 – 24]. Математическая модель объекта управления работает на основании данных, получаемых от ПСОРД, которые, в свою очередь, представлены в виде реальных значений фазовых координат, на основании которых формируются уточнённые управляющие воздействия. Подсистема моделирования, имитирующая поведение реального объекта может выступать, как агент данных о состоянии объекта на этапах тестирования и настройки ИСППРМ, а также может быть использована совместно с блоком прогнозирования последствий управления для предсказания последствий применения управляющих воздействий, полученных в результате работы подсистемы автоматического управления на основе данных о текущем состоянии управляемого объекта, которые поступают от ПСОРД, а также данных хранящихся в базе данных.

База данных осуществляет хранение информации об объекте управления, параметрах и маршрутах движения, расписании, а также о всех машинистах, закрепленных за данным поездом. Кроме того, она хранит данные, поступающие в процессе работы от машиниста, объекта управления и от самой ИСППРМ.

Подсистема автоматического управления включает в себя блок выработки цели управления, программу достижения цели, а также блок выбора алгоритма управления. Данная подсистема для конкретного участка маршрута и расписания следования состава реализует оптимальный с точки зрения расхода энергии алгоритм управления подвижным составом на основании знаний, хранящихся в базе знаний и информации из базы данных. При этом обязательно проводится проверка адекватности выбранного алгоритма управления с помощью блока прогнозирования последствий управления и подсистемы моделирования. В случае прохождения данной проверки выбранный алгоритм применяется для автоматического управления подвижным составом через соответствующие исполнительные механизмы, а в случае не прохождения – изменяется или модифицируется, и снова проходит повторную проверку.

Блок обнаружения нестандартных режимов работы объекта управления включает в себя устройства для выявления и защиты от таких процессов как буксование и юз. При этом для обнаружения буксования и юза выполняется вычисление разницы частот вращения тяговых двигателей и потребляемых токов каждым из двигателей, а также значения производных частот вращения и потребляемых токов. При обнаружении буксования в процессе разгона поезда система с помощью исполнительных механизмов удерживает напряжение питания соответствующих тяговых асинхронных двигателей на уровне, который соответствовал моменту обнаружения буксования за счет чего происходит подавление его развития. В свою очередь, при обнаружении юза в процессе торможения противоюзное устройство, входящее в структуру блока обнаружения нестандартных режимов работы объекта управления, с помощью исполнительных механизмов

переводит соответствующий двигатель из генераторного режима в режим тяги до прекращения юза, т.е. пока частота его вращения не станет соответствовать частоте, предшествующей юзу.

Блок диагностики осуществляет тестирование исполнительных устройств и механизмов, датчиков и подсистем, а также выдачу диагностической информации в подсистему визуализации данных блока ввода и отображения информации.

Блок ввода и отображения информации выполняет функции визуального представления данных, поступающих от ИСППРМ и предназначенных для машиниста дизель-поезда, а также для ввода информации, необходимой для работы ИСППРМ.

Энергонезависимый блок документирования ИСППРМ выполняет функцию записи и хранения текущей информации о характеристиках всего дизель-поезда, отдельных систем и агрегатов, параметрах движения во время поездки, а также диагностической информации, которая может быть использована при проведении работ по техническому обслуживанию подвижного состава.

Выводы

Для дизель-поездов разработана структура бортовой интеллектуальной компьютерной системы поддержки принятия решений машинистом, которая в реальном времени выдает машинисту дизель-поезда необходимую информацию для ведения подвижного состава по перегону. ИСППРМ на основе специализированной базы знаний и подсистемы тяговых расчетов определяет приближенные управления подвижным составом на заданном маршруте, которые уточняются с помощью вспомогательной математической модели объекта – системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений в форме Бруновского, полученной на основании геометрической теории управления путем динамической линеаризацией исходной нелинейной модели. ИСППРМ позволяет в реальных условиях эксплуатации подвижного состава и текущего изменения дорожной обстановки выдавать машинисту закон управления, при котором соблюдается график движения при минимальном расходе топливо-энергетических ресурсов, а также осуществлять автоматическое управление дизель-поездом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Асратян, Р.Э.** Распределенная интегрированная информационная система поддержки принятия решений / Р.Э. Асратян, А.Д. Козлов, В.Н. Лебедев, И.Н. Мараканов // Проблемы управления. – 2004. – №2. – С. 14-20.
2. **Виссия, Х.** Модели, алгоритмы и технология интеллектуализации принятия решений на основе предметных коллекций / Х. Виссия // Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Минск: БГУ. – 2012. – 24 с.
3. **Кузнецов, М.А.** Современная классификация систем поддержки принятия решений / М.А. Кузнецов, С.С. Пономарев // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2009. – № 3. – С. 52-58.
4. **Лычкина, Н.Н.** Имитационные модели в процедурах и системах поддержки принятия стратегических решений на предприятиях / Н.Н. Лычкина // Бизнес-информатика. – 2007. – №1. – С. 29-35.

5. **Моргунов, Е.П.** Система поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем: принципы разработки, требования и архитектура / Е.П. Моргунов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2007. – №3. – С. 59-63.
6. **Сороколетов, П.В.** Построение интеллектуальных систем поддержки принятия решений / П.В. Сороколетов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 4. – С. 117-124.
7. **Осипов, С.И.** Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / С.И. Осипов, С.С. Осипов. – М.: УМК МПС России. – 2000. – 592 с.
8. **Кузьмич, В.Д.** Теория локомотивной тяги / В.Д. Кузьмич, В.С. Руднев, С.Я. Френкель // Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут. – 2005. – 448 с.
9. **Скалозуб, В.В.** Ресурсосберегающие методы управления тягой поездов и совершенствование конструкции подвижного состава: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.07 / В.В. Скалозуб. – Днепропетровск, 2003. – 533 с.
10. **Скалозуб, В.В.** Модели и методы компромиссно-оптимальных режимов движения поезда / В.В. Скалозуб // Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Днепропетровск, 2002. – Вип. 3. – С. 137-146.
11. **Скалозуб, В.В.** Оптимизация режимов ведения поездов на основе непрерывного динамического программирования / В.В. Скалозуб, К.И. Железнов // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2002. – № 2. – С. 32-36.
12. **Горбунов, Н.Н.** Улучшение тягово-тормозных свойств локомотивов за счет применения микропроцессорных систем / Н.Н. Горбунов, А.Л. Кашура, В.И. Спирагин и др. // Перспективні задачі інженерної науки. – Днепропетровск: GAUDEAMUS, 2002. – Вип. 4. – С. 168-172.
13. **Абрамов, В.М.** Повышение надежности и перспективы развития микропроцессорных систем управления и обеспечения безопасности движения поездов / В.М. Абрамов, Л.А. Мугинштейн, Б.Д. Никифоров и др. // Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – № 5. – С. 9-14.
14. **Жуковский, В.И.** Об одной особенности «многокритериальных» дифференциальных игр / В.И. Жуковский // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 3. – С. 181-188.
15. **Могилевкин, И. М.** Транспорт и коммуникации: прошлое, настоящее, будущее / И. М. Могилевкин. – М.: Наука, 2005. – 357 с.
16. **Корниенко, В.В.** Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт / В.В. Корниенко, В.И. Омеляненко. – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.
17. **Horstmann, D.** 100 Jahre Entwicklung der Antriebs-technik für elektrische Bahnen. Teil 2 / Daniel Horstmann, Rudolf Wagner, Wolf-Dieter Weigel // Elek. Bahnen. – 2003. – № 7. – P. 338-345.
18. **Бадьян, И.П.** Аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики электровоза / И.П. Бадьян // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 4. – С. 48-52.
19. Пат. 116114 Российская Федерация, МПК В61L. Микропроцессорная система управления и диагностики локомотива / Федоров Е.В.; заявитель и патентообладатель ООО «Центр инновационного развития СТМ»; заявл. 7.11.2011; опубл. 20.05.2012; Бюл. № 23.
20. **Töpfer, C.** Optimierung Kompetenz des Zugs anhand Bordscomputers / C. Töpfer // Eisenbahningenieur. – 1998. – № 2. – P. 68-70.
21. **Киселёв, И.П.** Краткий обзор истории высокоскоростных поездов в Японии / И.П. Киселёв. Железные дороги мира. – 2005. – № 7. – С. 7-16.
22. **Дмитриенко, В.Д.** Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. – Х.: Изд. центр «НТМТ», 2013. – 248 с.
23. **Дмитриенко, В.Д.** Математическая модель для исследования и оптимизации электропривода дизель-поезда / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Электротехнические системы и комплексы. – Магнитогорск, 2014. – № 1(22). – С. 35 – 40.
24. **Дмитриенко, В.Д.** Автоматизация процессов преобразования нелинейных моделей к эквивалентным линейным в форме Бруновского / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Вісник НТУ «ХПИ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2014. – № 62 (1104). – С. 22 – 37.