



Защитные функции интеллектуальных систем локомотива



Александр ГОРОБЧЕНКО

Alexander N. GOROBCHENKO

Protective Functions of Locomotive Intelligent Systems

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 197)

Рассмотрены вопросы повышения эффективности и безопасности эксплуатации локомотивов путем снижения влияния человеческого фактора на управление движением поезда. Предложено использовать интеллектуальные системы поддержки принятия решений на борту для частичной (а в перспективе, возможно, и полной) замены машиниста в момент принятия управляющих решений, способных защитить от рисков и угроз, соблюсти предусмотренный технологический и экологический режимы.

Ключевые слова: железная дорога, локомотивная бригада, человеческий фактор, безопасность, интеллектуальная система управления, поддержка принятия решений, экология человека.

Горобченко Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Эксплуатация и ремонт подвижного состава» Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, Харьков, Украина.

Современный локомотив является сложным техническим устройством, для управления которым машинистам требуется расширенный спектр знаний. Для облегчения их работы внедрены такие технические новинки, как бортовые системы диагностики, автоматизированные системы управления тяговым и тормозным усилиями, системы контроля безопасности движения и прочие.

Каждое поколение этих систем обходится все дороже, тяговый подвижной состав становится все сложнее. Но если посмотреть на то, как изменились показатели себестоимости перевозок, безопасности движения, стоимости жизненного цикла, то темпы их улучшения значительно снизились по сравнению с темпами роста финансовых затрат.

Напрашивается вывод о том, что эффективность классических систем управления и обеспечения безопасности локомотивов приблизилась к своему пределу и дальнейшее их совершенствование не приведет к радикальным изменениям ситуации.

БОРТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ТЕСНИТ ЧЕЛОВЕКА

Одной из причин описанной ситуации является то, что ограничителем эффектив-

ного управления локомотивом является человек-оператор. Какие бы автоматизированные системы ни применялись, какую бы часть функций контроля и управления они не брали на себя, но окончательное решение по переводу штурвала контроллера на ту или иную позицию, приведению в действие тормозов поезда, остановки или снижения скорости перед светофором и т.п. принимает именно машинист. И здесь вступает в силу так называемый человеческий фактор. То есть качество принятого управленческого решения (а соответственно безопасность и эффективность эксплуатации локомотива), несмотря на высокий уровень автоматизации и информатизации процесса ведения поезда, в большой степени зависит от психофизиологического состояния машиниста, его уровня знаний и практической подготовки, мотивации, дисциплины и прочих характеристик [1, 2].

Так, по данным ВНИИЖТ в режиме ручного управления алгоритм действий машиниста при прохождении станций имеет факты превышения допустимых величин показателей психофизиологической нагрузки [3]. Анализ данных обследования машинистов показал, что при работе в таком напряженном режиме начальные признаки усталости проявляются через 3-4 часа, в отличие от режима автоведения, где они возникают лишь спустя 4-5 часов.

Комплексы автоведения были созданы и интегрированы на локомотивах новых серий, подобных ЭП20, ЭП1М, 2ЭС5К и 3ЭС5К, с бортовыми микропроцессорными системами управления. Для автоматизации пригородных перевозок за рубежом широко используются такие комплексы, как Cityflo 650 от Bombardier [4], Urbalis компании Alstom [5] и другие. К недостаткам можно отнести немалую сложность в реализации алгоритмов, которые при этом не позволяют накапливать опыт и самостоятельно корректировать управление с целью улучшения показателей предыдущих поездок, то есть отсутствует функция самообучения.

Если раньше локомотивная бригада рассматривалась как необходимое управляющее звено с такими функциями (упрощенно): 1) контроль поездной обстановки;

2) принятие управленческого решения; 3) реализация решения путем воздействия на разрозненные органы управления в зависимости от ситуации, то сейчас существует большой запас наработок, позволяющих решать те же задачи без участия человека. Современная электроника уже давно способна эффективно собирать и обрабатывать любую информацию и приводить в действие механизмы любой сложности. Иными словами, первый и третий пункты, если иметь в виду функции по управлению поездом, технически обеспечены. Наибольшие же трудности представляет оставшийся второй пункт, касающийся сферы принятия управленческого решения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Развитие теории искусственного интеллекта открывает широкие возможности для кардинального изменения подходов к управлению тяговым подвижным составом. Она позволяет моделировать деятельность локомотивных бригад во время ведения поезда. Это даст возможность минимизировать, а в будущем вообще отказаться от прямого участия человека в регулировании движения локомотива.

Перспективность интеллектуальных систем управления (ИСУ) для тягового подвижного состава обусловлена несколькими причинами. Первая из них состоит в том, что управление локомотивом на основе традиционных технологий не может обеспечить существенного повышения эффективности эксплуатации. Совершенствование алгоритмов адаптивного управления приводит к их значительному усложнению и трудностям реализации непосредственно на борту локомотива. При этом не учитывается ряд неопределенностей, воздействующих на систему «поезд-машинист». Также предпосылками внедрения ИСУ является наличие фундаментальной научной базы [6,7], которая может быть использована совместно с теорией тяги поездов и теорией автоматического управления. Совместное использование этих знаний позволяет разработать и эффективно внедрять интеллектуальные элементы в процессы вождения поездов. И еще одна несомненная причина разви-



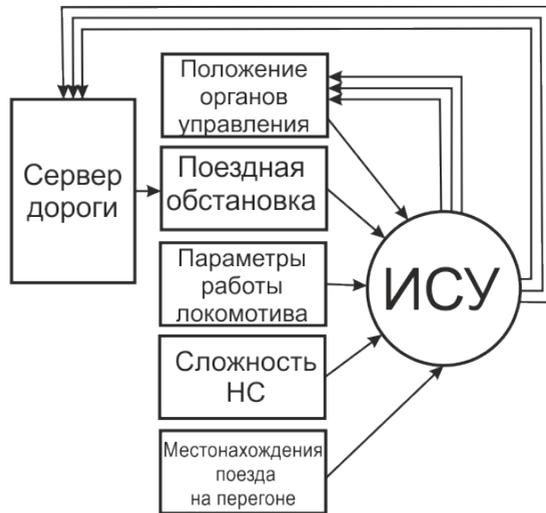


Рис. 1. Схема обмена информацией для бортовой ИСУ.

тия интеллектуальных технологий управления тяговым подвижным составом (ТПС) – резко возросший уровень информатизации всех сфер железнодорожного транспорта, наличие качественной элементной базы, широко распространенные системы беспроводной передачи данных.

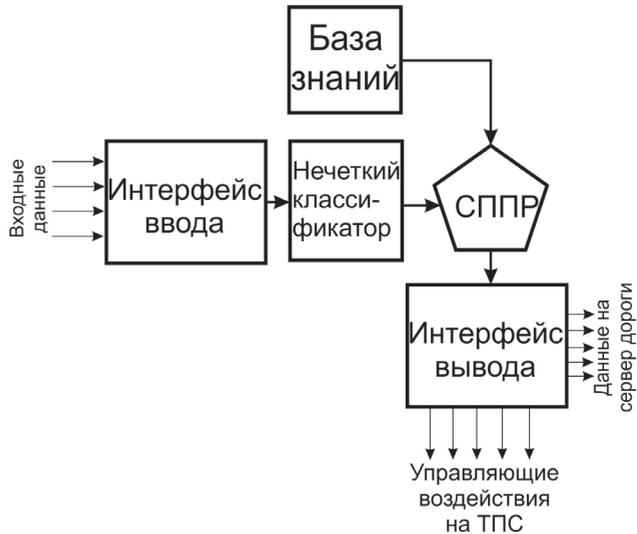
Основные преимущества ИСУ по сравнению с традиционными:

- наличие общей базы знаний;
- возможность принятия решения в условиях неопределенности;
- предпосылки к самообучению;
- возможность интегрирования в единый комплекс управления транспортом в масштабах региона;
- управление ТПС с учетом комплексной оценки эффективности использования всех средств транспорта на данном участке (плече, дороге, сети дорог).

Однако ИСУ имеет и ряд недостатков, которые обусловлены развитием смежных областей техники: качество и распространенность беспроводной связи в рамках СНГ находится на низком уровне, недоукомплектованность существующих локомотивов специальным оборудованием, дефицит серверов и программного обеспечения, отсутствие системы обновления знаний у обслуживающего персонала.

Если рассматривать мировые тренды, касающиеся интеллектуальных технологий, то можно сделать вывод о том, что наибольший эффект получается при сочетании использования современного оборудования с интеллектуальными системами. Применительно к железнодорожному транспорту это означает, что внедрение ИСУ должно предусматриваться на этапе проектирования и реконструкции

Рис. 2. Структура ИСУ и место в ней системы поддержки принятия решений.



основных объектов инфраструктуры или транспортных средств. Оборудовать устаревшие локомотивы, диспетчерские центры, станции, тяговые подстанции и прочие системами интеллектуального управления в расчете на долгосрочную перспективу оказывается нецелесообразным. В то же время, проектируя крупные и дорогостоящие объекты транспорта со сроками эксплуатации более 25-40 лет и закладывая в них элементы ИСУ, отраслевые корпорации или компании будут создавать серьезную базу для технического прорыва в будущем.

При проектировании бортовых интеллектуальных систем предлагается схема, которая сразу учитывала бы перспективные модельные элементы с интеллектуальной нагрузкой, помогающие машинисту защитить себя от вероятных угроз рабочей среды, в том числе внешней (рис. 1).

ПОЛЕЗНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ СИСТЕМЫ

Одним из главных элементов ИСУ (и, как отмечалось, самым проблемным) является система поддержки принятия решений (СППР), обеспечивающая механизм ответных реакций на вызов среды в текущей ситуации (рис. 2).

Основным критерием работы СППР служит полезность принятых системой решений. На локомотиве они касаются трех центральных задач: провести поезд с минимальными затратами энергии, минимальным отклонением от графика движения и наиболее безопасно.

Представим величину критерия полезности действия в виде модуля вектора $P(X_{НС}, G, \Delta t)$, где $X_{НС}$ – прогнозируемая сложность нештатной ситуации (НС), G – прогнозируемый расход энергии (топлива), Δt – прогнозируемое отклонение от графика движения (рис. 3).

Прогнозируемая сложность нештатной ситуации ($X_{НС}$) – величина, определяющая степень влияния различных факторов на ее возникновение [8,9]. Расчет этих влияний производится с применением методов нечеткой логики, что позволяет выявить воздействие значительно большего круга факторов и формализовать даже такие, которые описываются исключительно лингвистически.

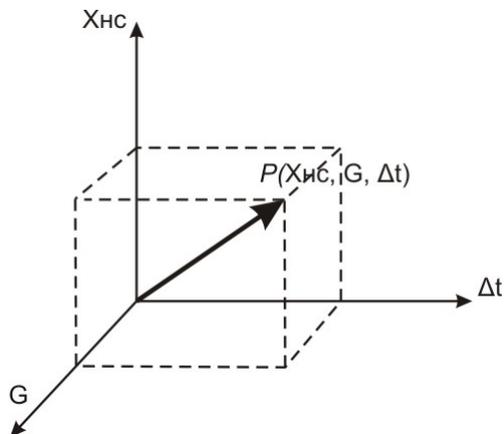


Рис. 3. Графическое определение полезности действия.

В качестве самого полезного действия нужно принимать то, у которого прогнозное значение $P(X_{НС}, G, \Delta t)=0$.

В результате расчетов была определена предельная величина сложности НС на уровне 0,219. При достижении этого значения нештатную ситуацию нужно считать опасной. Поэтому в алгоритм работы интеллектуальной системы необходимо заложить функцию проверки величины $X_{НС}$. В том случае, когда ее прогнозируемая величина превышает предельную, следует переходить к расчету другого управляющего действия без определения P .

Если при расчете полезности окажется одинаковой величина P для двух или больше управляющих действий, то целесообразно реализовать то действие, которое обеспечит минимальный расход энергии на тягу (принимается действие с минимальным прогнозным значением G).

Пути улучшения точности и адекватности модели является сокращение времени прогнозирования, а также учет профиля пути, на котором будет находиться поезд в конце прогнозного срока.

Для практического применения результатов расчета полезности решений необходимо, чтобы величины, характеризующие расход топлива, сложность НС и отклонение от графика движения, имели одинаковую размерность. Этого несложно достичь при помощи перехода от абсолютных значений к относительным в виде коэффициентов. Но для большей



информативности результатов расчета предлагается перевести эти параметры в стоимостный эквивалент. В упрощенном виде целевая функция принятия решения для локомотивной СППР выглядит так:

$$|P| = \sqrt{\bar{W}^2 + B_{\Pi}^2 + B_{ГР}^2} \Rightarrow \min ,$$

где $|P|$ – критерий полезности принимаемого решения в виде минимизируемой нормы вектора;

\bar{W} – математическое ожидание убытков от транспортного происшествия (получено на основе теории рисков с применением параметра сложности НС), у.е.;

B_{Π} – прогнозируемые затраты на топливо (электроэнергию) в течение прогнозного периода, у.е.;

$B_{ГР}$ – прогнозируемые потери от невыполнения графика движения, у.е.

Таким образом, суть работы СППР сводится к следующему. Система получает внешние данные об условиях, в которых находится управляемый поезд через интерфейс ввода (рис. 2) и нечеткий классификатор, имеющий задачу описать в приемлемой для восприятия форме эти условия. Далее идет сравнение существующей обстановки с набором вариантов поездных условий, хранящихся в базе знаний. СППР выбирает определенное количество правил из базы знаний и рассчитывает полезность применения каждого из них. То из правил, управляющее воздействие которого будет иметь максимальную полезность в данных условиях, применяется бортовой ИСУ путем воздействия непосредственно на органы управления локомотивом или же путем выдачи рекомендаций по ведению поезда локомотивной бригаде.

Выводы

Применение разработанных подходов к локомотивным ИСУ предполагает существенно повысить эффективность эксплуатации ТПС. Ожидается прямой эффект в виде снижения расхода энергии (топлива) на тягу поездов от 0,3% до 1,6% за счет более рационального управления, при котором

минимизируются степень риска и влияние человеческого фактора. Кроме того, безопасность движения повышается благодаря мониторингу поездной обстановки в целом по участку (движение впереди- и сзади идущих поездов, положения сигналов на несколько перегонов вперед, постоянный контроль скорости с учетом предупреждений, оценка экологической обстановки и пр.) через связь с сервером дороги.

При масштабном внедрении ИСУ на уровне дороги (или сети дорог) возникает возможность решения таких задач, как гибкая оптимизация графика движения, более рациональное использование комплекса электроподстанций, переход на обслуживание локомотивов в одно лицо в поездной работе и т.д. Нельзя не учитывать и способность интеллектуальной системы в будущем более комплексно контролировать параметры, связанные с экологией человека и окружающей природной и городской среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самсонкин В. Н. Прогнозирование надежности железнодорожных операторов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 5. – С. 54-55.
2. Губинский А. И., Кобзев В. В. Оценка надежности деятельности человека-оператора в системах управления. – М.: Машиностроение, 2000. – 47 с.
3. Волковский Д. В. Системы автоведения поездов и безопасность движения // Евразия-Вести XII 2013. <http://www.eav.ru/publ1.php?publ1=2013-12a15>. Доступ 10.11.2014.
4. A new generation for driverless automated transit systems // <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-control-solutions/mass-transit-solutions/cityflo-650.html>. Доступ 25.05.2015.
5. Alstom to supply automatic train control system to Santiago de Chile metro's line 1 // <http://www.alstom.com/press-centre/2010/1/Alstom-to-supply-automatic-train-control-system-to-Santiago-de-Chile-metros-line-1-20100120/>. Доступ 23.01.2012.
6. Рассел С., Норвич П. Искусственный интеллект: современный подход. – 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
7. Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта. – М.: Изд-во МГТУ им.Баумана, 2001. – 352 с.
8. Горобченко О. М. Розробка методу оцінки факторів, що впливають на дві локомотивних бригад в нештатних ситуаціях // Збірник наукових праць ДонІЗТ, вип.24 – Донецьк, 2010. – С. 131-143.
9. Ломотько Д. В., Горобченко О. М. Визначення форми вихідних даних для моделювання нештатних ситуацій при веденні поїзду // Збірник наукових праць ДонІЗТ, вип.20 – Донецьк, 2009. – С. 74-80. ●

Координаты автора: Горобченко А. Н. – superteacher@yandex.ua.

Статья поступила в редакцию 05.12.2014, актуализирована 25.05.2015, принята к публикации 27.03.2015/10.06.2015.