

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034951**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.09

(51) Int. Cl. **B60L 15/20** (2006.01)
B60W 40/06 (2012.01)

(21) Номер заявки
201800512

(22) Дата подачи заявки
2018.09.12

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ЭНЕРГООПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ В РЕЖИМЕ ТЯГИ**

(43) **2020.03.31**

(56) EP-A2-2636557
US-A1-20140277860
US-A1-20170334414
US-A1-20100023190
WO-A1-2015152769
WO-A1-2016197044

(96) **2018000111 (RU) 2018.09.12**
(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"СМАРТВИЗ" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Сафро Михаил Владимирович,
Жебрак Леонид Михайлович, Жебрак
Светлана Александровна (RU)**

(74) Представитель:
Котлов Д.В. (RU)

(57) Настоящее техническое решение относится к вычислительной технике, в частности к системам и способам энергооптимального управления подвижным составом. Технический результат заключается в минимизации расхода энергии на выполнение поездной и маневровой работы, а также предотвращении буксования. Способ энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги включает следующие шаги: получают параметры подвижного состава, включающие, по крайней мере, коэффициент сцепления для режима тяги, параметры зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, априорный вектор параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, скорость, массу подвижного состава, силу тяги, признак наличия буксования, информацию о маршруте, включающую, по крайней мере, начальную и конечную точку маршрута, план и профиль пути; определяют значение коэффициента сцепления для режима тяги на основании данных, полученных на предыдущем шаге; проверяют точность зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, при этом, если она не точно описывает сцепление, уточняют параметры зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости; формируют план оптимального управления для оставшейся части маршрута с использованием, по крайней мере, параметров подвижного состава и зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости; реализуют оптимальное управление с использованием сформированного плана оптимального управления.

034951
B1

034951
B1

Область техники

Настоящее техническое решение относится к вычислительной технике, в частности к системам и способам энергооптимального управления подвижным составом, и предназначено для повышения эффективности использования железнодорожного подвижного состава, например локомотива, при выполнении поездной и маневровой работы, при вождении поездов в автоматическом режиме или в режиме помощи машинисту.

Уровень техники

В настоящее время эффективность управления железнодорожным составом зависит от квалификации машиниста, вследствие чего только опытные и знающие маршрут движения машинисты управляют железнодорожным составом наиболее эффективно.

Буксование - вращение движущих колес локомотива с угловой скоростью, превышающей поступательную скорость движения локомотива. Буксование у локомотивов является результатом превышения усилия, передающегося от тяговых двигателей, над силой сцепления колес с рельсами. В процессе буксования может произойти разрыв бандажей обмоток тяговых двигателей, повреждение зубчатой передачи, образование кругового огня на коллекторе. В момент прекращения буксования возникает резкое увеличение (толчок) силы тяги и опасность разрыва поезда. Буксование сопровождается интенсивным износом бандажей колесных пар и рельсов (Конарев Н.С. (ред.) - Железнодорожный транспорт. Энциклопедия, М, Научное Издательство "Большая Русская Энциклопедия" 1995 г., 292 стр.).

Буксование возникает на локомотиве или моторном вагоне моторвагонного подвижного состава (далее - моторном вагоне МВПС) вследствие превышения реализуемой колёсной парой силой тяги силы сцепления колеса с рельсом. Возникновению и развитию явления буксования способствуют:

- увлажнение поверхности рельса во время осадков;
- загрязнение поверхности рельса или поверхности катания бандажа колёсной пары маслянистыми жидкостями (масла, смазки, жир);
- разгрузка оси колесных пар тягового подвижного состава (далее - ТПС) ввиду неправильной развески ТПС;
- разгрузка первой оси в каждой тележке ТПС ввиду момента, возникающего при реализации тягового усилия;
- наличие на колёсной паре большого проката, что уменьшает пятно контакта колеса и рельса;
- нахождение тягового подвижного состава в кривой малого радиуса (при этом неизбежно возникает проскальзывание, так как колесо, идущее по внешней нитке рельсового пути, проходит путь больший, чем колесо, идущее по внутренней нитке).

Из патента US6012011B1 (МПК В60L 3/10, опубл. 04.01.2000) известен способ, характеризующий "Антипробуксовочную систему и способ устранения проскальзывания колеса".

В патенте описываются система и способ устранения проскальзывания колеса при сохранении максимальной мощности ускорения. Известное решение контролирует скорость каждого из тяговых двигателей, используемых для привода колес. Если скорость конкретного тягового двигателя превышает скорость других тяговых двигателей на определенный процент, то колеса, которые приводятся в движение этим конкретным тяговым двигателем, считаются проскальзывающими.

Недостатком данного технического решения является реагирование на уже возникшее буксование, а не предотвращение появления буксования, что является менее эффективным, невозможность использовать информацию о буксовании для энергооптимального управления подвижным составом.

Сущность изобретения

Технической проблемой, на решение которой направлено заявленное техническое решение, является создание способа энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги.

Данное техническое решение направлено также на устранение недостатков, присущих существующим решениям из уровня техники.

Технический результат заключается в минимизации расхода энергии на выполнение поездной и маневровой работы, а также предотвращении буксования.

Также заявленное решение обеспечивает увеличение пропускной способности дороги и уменьшает износ колесных пар подвижного состава.

Данный технический результат достигается благодаря способу энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги, заключающийся в выполнении этапов, на которых:

получают параметры подвижного состава, включающие, по меньшей мере, коэффициент сцепления для режима тяги, параметры зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, априорный вектор параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, скорость, массу подвижного состава, силу тяги, признак наличия буксования, информацию о маршруте, включающую, по крайней мере, начальную и конечную точку маршрута, план и профиль пути;

определяют значение коэффициента сцепления для режима тяги на основании полученных данных;

проверяют точность коэффициента сцепления для режима тяги, при этом, если она не точно описы-

вает сцепление, то уточняют коэффициент сцепления для режима тяги;

формируют план оптимального управления для оставшейся части маршрута с использованием, по меньшей мере, параметров подвижного состава и коэффициента сцепления для режима тяг;

осуществляют оптимальное управление с использованием сформированного плана оптимального управления.

В частном варианте шаги выполняются циклично.

В частном варианте размерность априорного вектора параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости определяется видом зависимости.

В другом частном варианте уточнение зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости происходит в момент, когда поезд реализует положительную силу тяги.

В другом частном варианте априорный вектор параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости задают до начала реализации способа.

В другом частном варианте уточнение вектора параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости происходит с помощью рекурсивного фильтра, оценивающего вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений.

В другом частном варианте координаты и скорость подвижного состава определяются с помощью радионавигационных систем.

В другом частном варианте радионавигационной системой является система GPS или Глонасс.

Данный технический результат достигается также благодаря системе энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги, содержащей по меньшей мере одно устройство обработки команд, по меньшей мере одно устройство хранения данных, по меньшей мере одну программу, сохраненную по меньшей мере на одном устройстве хранения данных, при этом по меньшей мере одна программа включает инструкции для реализации способа энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги по любому из пп.1-8. Данный технический результат достигается также благодаря машиночитаемому носителю данных, содержащему исполняемые одним или более процессором машиночитаемые инструкции, которые при их исполнении реализуют выполнение способа энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги по любому из пп.1-8.

Краткое описание чертежей

Реализация заявленного решения будет описана в дальнейшем в соответствии с прилагаемыми чертежами, которые представлены для пояснения сути изобретения и никоим образом не ограничивают область изобретения. К заявке прилагаются следующие чертежи:

фиг. 1 иллюстрирует пример графика продольного профиля пути;

фиг. 2 иллюстрирует зависимость коэффициента сцепления для режима тяги от скорости. Случай, когда при отсутствии буксования необходимо производить уточнение параметров зависимости коэффициента сцепления в режиме тяги от скорости;

фиг. 3 иллюстрирует зависимость коэффициента сцепления для режима тяги от скорости. Случай, когда при наличии буксования необходимо производить уточнение параметров зависимости коэффициента сцепления в режиме тяги от скорости;

фиг. 4 иллюстрирует пример плана оптимального управления;

фиг. 5 иллюстрирует систему для реализации способа энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги.

Подробное описание изобретения

В приведенном ниже подробном описании реализации изобретения приведены многочисленные детали реализации, призванные обеспечить отчетливое понимание настоящего изобретения. Однако квалифицированному в предметной области специалисту будет очевидно, каким образом можно использовать настоящее изобретение как с данными деталями реализации, так и без них. В других случаях хорошо известные методы, процедуры и компоненты не были описаны подробно, чтобы не затруднять излишне понимание особенностей настоящего изобретения.

Кроме того, из приведенного изложения будет ясно, что изобретение не ограничивается приведенной реализацией. Многочисленные возможные модификации, изменения, вариации и замены, сохраняющие суть и форму настоящего изобретения, будут очевидны для квалифицированных в предметной области специалистов.

Настоящее изобретение направлено на обеспечение способа и системы энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги.

В настоящих материалах заявки будут использованы следующие термины и определения.

Энергооптимальное управление - метод выбора оптимального управления движением поезда по критерию минимума расхода энергии на тягу или по критерию минимизации затрат на перевозку по заданному участку (Баранов Л.А. (под редак.) - Оптимизация управления движением поездов, Учебное пособие, М.:МИИТ, 2011.-164 с).

План пути - кривизна пути, определяемая его радиусом.

План линии - проекция трассы железной дороги на горизонтальную плоскость.

Профиль пути - величина превышения пути относительно некоторой точки.

Продольный профиль пути - проекция трассы железной дороги на вертикальную плоскость. На существующих линиях продольный профиль пути определяется уровнем головки рельса. Продольный профиль пути состоит из горизонтальных участков (площадок) и уклонов. Площадки и уклоны различной крутизны называют элементами профиля. При значительной разности уклонов смежных элементов (более 2-3%) они сопрягаются вертикальной сопрягающей кривой.

Как представлено на фиг. 1, h (сам параметр h на фигуре не отображен) - высота подъема элемента профиля пути над горизонтальной линией. Крутизна измеряется в тысячных долях и получается как частное от деления разности отметок конечных точек элемента профиля h на его длину l , т.е. равна тангенсу угла наклона элемента профиля к горизонту α . Крутизна уклона создаёт движению поезда дополнительное сопротивление от подъёма:

$$W_i = Q \cdot \sin \alpha$$

поскольку величина α мала (тысячные доли - количество метров подъёма на 1000 м длины), то

$$W_i = Q \cdot \operatorname{tg} \alpha = Q \cdot i \cdot 10^{-3}$$

где i - тысячные доли уклона.

Уклон - параметр железнодорожной линии, характеризующий крутизну элементов её продольного профиля. Крутизна измеряется в тысячных долях, получается как частное от деления разности отметок конечных точек элементов профиля на его длину, т.е. равна $\operatorname{tg} \alpha$ - тангенсу угла наклона элемента профиля к горизонту.

Фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (рекурсивный фильтр, БИХ-фильтр) или ПР-фильтр (ПР сокр. от infinite impulse response - бесконечная импульсная характеристика) - линейный электронный фильтр, использующий один или более своих выходов в качестве входа, то есть образует обратную связь. Основным свойством таких фильтров является то, что их импульсная переходная характеристика имеет бесконечную длину во временной области, а передаточная функция имеет дробно-рациональный вид. Такие фильтры могут быть как аналоговыми, так и цифровыми. Примерами БИХ-фильтров являются фильтр Чебышёва, фильтр Баттерворта, фильтр Калмана и фильтр Бесселя.

Динамическая система - множество элементов, для которого задана функциональная зависимость между временем и положением в пространстве каждого элемента системы.

Коэффициент сцепления (коэффициент продольного сцепления) - отношение максимального касательного усилия, действующего вдоль дороги на площади контакта заблокированного колеса с дорожным покрытием, к нормальной реакции в площади контакта колеса с покрытием. (ГОСТ 30413-96).

Режим тяги - режим движения, при котором сила тяги, развиваемая поездом, положительна (Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров; Под ред. И.П. Исаева. - М.: Транспорт, 1995. 294 с.)

Сила тяги - сила, которую развивает локомотив для передвижения поезда.

Априорный вектор параметров - начальное значение оцениваемых параметров (Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Часть 1 введение в теорию оценивания. ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", СПб ГУИТМО, Санкт-Петербург, 2009, 496 с.).

Буксование - вращение движущихся колёс локомотива с угловой скоростью, превышающей скорость, соответствующую поступательной скорости локомотива.

Данное изобретение в различных своих вариантах осуществления может быть выполнено в виде способа, в т.ч. реализуемого на компьютере, в виде системы или машиночитаемого носителя, содержащего инструкции для выполнения вышеупомянутого способа.

Система энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги может выполняться на базе широкого спектра электронно-вычислительных устройств, например персонального компьютера, ноутбука, серверного кластера и т.п.

Под устройством обработки команд подразумевается электронный блок либо интегральная схема (микропроцессор), исполняющая машинные инструкции (программы).

Устройство обработки команд считывает и выполняет машинные инструкции (программы) по меньшей мере с одного устройства хранения данных. Устройство хранения данных может представлять собой жесткий диск (HDD), твердотельный накопитель (SSD), флэш-память (NAND-flash, EEPROM, Secure Digital и т.п.), оптический диск (CD, DVD, Blue Ray), мини-диск или их совокупности.

Программа - последовательность инструкций, предназначенных для исполнения устройством управления вычислительной машины или устройством обработки команд.

Для достижения заявленного технического результата предлагается способ энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги, заключающийся в выполнении этапов, на которых:

получают параметры подвижного состава, включающие, по меньшей мере: коэффициент сцепления для режима тяги - это вид зависимости коэффициента сцепления от скорости, параметры зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, априорный вектор параметров зависимости ко-

ээффициента сцепления для режима тяги от скорости, скорость, массу подвижного состава, силу тяги, признак наличия буксования, информацию о маршруте, включающую, по крайней мере, начальную и конечную точку маршрута, план и профиль пути.

Указанные параметры могут поступать от различных датчиков, установленных в подвижном составе. Зависимость коэффициента сцепления для режима тяги от скорости задается на основании технических характеристик подвижного состава, указанных в документации.

Например, такой параметр, как скорость, может быть получен из одометрического датчика, а такой параметр, как координаты, получают из навигационной системы (GPS или ГЛОНАСС), продольный профиль под поездом может определяться из базы данных, установленной в цифровой системе управления подвижным составом или передаваться по радиоканалу; параметр сила тяги может быть получен из датчика тяги.

Данная зависимость может быть задана в табличном или графическом виде, после чего ее задают в виде непрерывной функции F^{slip} .

Например, для грузового электровоза таблица значений коэффициента сцепления от скорости в режиме электрического торможения может быть следующей:

| v, м/с | F, кН |
|--------|----------|
| 0 | 600,0089 |
| 1 | 597,6188 |
| 2 | 595,2603 |
| 3 | 592,9334 |
| 4 | 590,6381 |
| 5 | 588,3744 |
| 6 | 586,1423 |
| 7 | 583,9418 |
| 8 | 581,7729 |
| 9 | 579,6356 |
| 10 | 577,5299 |
| 11 | 575,4558 |
| 12 | 573,4133 |
| 13 | 571,4024 |
| 14 | 569,4231 |
| 15 | 567,4754 |
| 16 | 565,5593 |
| 17 | 563,6748 |
| 18 | 561,8219 |
| 19 | 560,0006 |
| 20 | 558,2109 |
| 21 | 556,4528 |

Если по данной таблице построить непрерывную функцию, например, с помощью метода наименьших квадратов (МНК), то получим зависимость:

$$F_{\max} = 600.0089 - 2.4059 \cdot v + 0.0158 \cdot v^2$$

Априорный вектор параметров функции, которая определяет зависимость коэффициента сцепления для режима тяги от скорости p (для $i = \overline{1, n}$ следует, что $p_i = \text{const}$, n - размерность вектора p), определяется видом функции, которая описывает сцепление колеса с рельсом на этапе тестирования подвижного состава, до реализации данного способа. Размерность вектора зависит от зависимости, описывающей зависимость коэффициента сцепления от скорости. В описанном выше примере таблица значений получается в результате испытаний, а выбранная нами квадратичная зависимость определяет вектор параметров p , размерности 3: $p = [600.0089; -2.4059; 0.0158]$.

Признак буксования проявляется при появлении отличия скорости вращения по крайней мере одной из колесных пар по сравнению с остальными. В некоторых вариантах реализации скорость и текущее местоположение (координаты) подвижного состава определяют с помощью спутниковых систем навигации. В некоторых вариантах реализации при определении координат и скорости используют спутниковую радионавигационную систему GPS или Глонасс. Определяют значение коэффициента сцепления для режима тяги от скорости на основании данных, полученных на предыдущем шаге. Зависимость коэффициента сцепления для режима тяги от скорости определяется как

$$F^{slip}(p, v),$$

где v - скорость движения;

p - вектор параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости (для $i = \overline{1, n}$ следует, что $p_i = \text{const}$, n - размерность вектора p).

Т.е. для каждого значения скорости v получаем значение максимальной по сцеплению силы тяги.

Например, для электровоза серии ВЛ8 коэффициент сцепления имеет вид [Правила тяговых расчётов для поездной работы. - М.: Транспорт, 1985. 287с.]:

$$\psi_k = 0.25 + \frac{8}{100 + 20 \cdot v}$$

или, что-то же самое

$$\psi_k = 0.25 + \frac{1}{12.5 + 2.5 \cdot v}$$

В этом случае можно записать:

$$\psi_k = p_1 + \frac{1}{p_2 + p_3 \cdot v},$$

где $P=[p_1, p_2, p_3]=[0.25, 12.5, 2.5]$.

При скорости $v=10$ км/ч следует, что

$$\psi_k = p_1 + \frac{1}{p_2 + p_3 \cdot v} = 0.276$$

Пусть масса локомотива $m_l=200$ т. Сила сцепления в этом случае:

$$F_{sceptl} = m_l \cdot g \cdot 0.276 = 200 \cdot 9.81 \cdot 0.276 = 541 \text{ кН}$$

То есть при скорости $v=10$ км/ч сила тяги должна быть меньше, чем 541 кН.

В этом случае буксование происходит не должно. Если буксование в этом случае происходит, то это означает, что параметры $P=[p_1, p_2, p_3]$ коэффициента сцепления Ψ_k заданы не точно.

Проверяют точность зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, при этом, если она не точно описывает сцепление, то уточняют зависимость коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, как это происходит описано ниже.

Значение коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, полученное на предыдущем шаге, сравнивается с реализованной в текущий момент силой тяги, после чего проверяют точность зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости. Зависимость коэффициента сцепления для режима тяги от скорости точно описывает сцепление колеса с поверхностью (например, с рельсом в случае подвижного состава), если выполняются два нижеследующих условия.

Если при заданной скорости движения фактическая сила тяги меньше, чем значение коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, то не происходит буксование (см. фиг. 2). Если при заданной скорости движения фактическая сила тяги больше, чем значение коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, то происходит буксование (см. фиг. 3). Вектор параметров p задан точно, если при любых возможных значениях скорости v и силы тяги F коэффициент сцепления для режима тяги от скорости точно описывает сцепление колеса с рельсом. Если хотя бы для одной пары значений (v, F) коэффициент сцепления для режима тяги от скорости описывает сцепление колеса с рельсом не точно, то происходит уточнение вектора параметров p . Уточнение вектора параметров может быть осуществлено с помощью дискретного фильтра Калмана, фильтра Винера, но не ограничивается ими и на сущность изобретения не влияет.

На каждом шаге получают измерения текущей скорости и силы тяги, далее осуществляется шаг алгоритма фильтрации.

Например, может быть использован следующий алгоритм:

$$x_i = x_{i-1} + K_i \cdot (y_i - H_i \cdot x_{i-1}),$$

где x_i - оцениваемые параметры (в случае грузового электровоза, сцепление которого в режиме тяги описано выше на первом шаге $x=[600.0089; -2.4059; 0.0158]$),

H_i - матрица, определяющая отношение между измерениями и состоянием системы (в некоторых частных случаях $H=1$);

y_i - измерения в текущий момент времени, в нашем случае - измерения скорости v и силы тяги F ;

K_i - коэффициент усиления, который может быть вычислен следующим образом:

$$K_i = P_i \cdot H \cdot (H \cdot P_i \cdot H + R),$$

где R - ошибка измерений; может быть определена испытанием измерительных приборов (например, одометрического датчика для скорости и амперметра и вольтметра для тяги);

P_i - ковариационная матрица ошибок измерения.

Формируют план оптимального управления для оставшейся части маршрута с использованием, по крайней мере, параметров подвижного состава и зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости.

Уравнение движения:

$$(1 + \gamma) \cdot m \cdot v \frac{dv}{dx} = F - W(v) - i,$$

где F - сила тяги или электрического торможения;

γ - коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс;

m - масса подвижного состава;

$W(v)$ - сопротивление движению;

i - продольный профиль пути.

При формировании плана оптимального управления необходимо выполнение ограничений по сцеплению, т.е. для каждой скорости v сила тяги F должна быть меньше, чем значение коэффициента сцепления:

$$F < F^{slip}(p, v)$$

Соответственно, чем точнее известны параметры p , тем точнее можно рассчитать энергооптимальное управление F .

Для каждой точки (координаты) маршрута рассчитывается значение управляющего воздействия таким образом, чтобы суммарное количество энергии, потраченной на всю дорогу (весь маршрут движения) было минимально

$$\int_{x_0}^{x_k} F(x) dx \rightarrow \min$$

где $F(x)$ - сила тяги или торможения в координате x ;

x_0, x_k - начальная и конечная координаты маршрута.

При формировании плана оптимального управления учитываются также, по крайней мере, план и профиль пути, ограничения скорости, расписание, масса состава, максимальная сила тяги, развиваемая подвижным составом. Сила тяги, которую реализует локомотив, должна быть меньше, чем значение кривой сцепления в режиме тяги при заданной скорости. Тем самым накладываются ограничения на силу тяги.

При формировании плана оптимального управления может использоваться один из известных методов, в частности также методы теории оптимального управления, динамического программирования, вариационного исчисления. Например, может использоваться следующий алгоритм поиска оптимального управления:

Привести задачу к классической формулировке (Галеев Э.М. Оптимизация: Теория, примеры, задачи. М.: Либроком, 2010. 336 с.):

$$B_0(x(\cdot), u(\cdot), t_0, t_k) \rightarrow \min$$

$$\Phi(x(\cdot), u(x(\cdot)), t_0, t_k) = \dot{x}(t) - \phi(t, x(t), u(t)) = 0$$

$$B_i(x(\cdot), u(\cdot), t_0, t_k) \leq 0, \quad i = \overline{1, m'}$$

$$B_i(x(\cdot), u(\cdot), t_0, t_k) = 0, \quad i = \overline{m', m},$$

где

$$B_i(x(\cdot), u(\cdot), t_0, t_k) = \int_{t_0}^{t_k} f_i(t, x, u) dt + \psi_i(t_0, x(t_0), t_k, x(t_k)); \quad i = \overline{0, m}$$

Далее необходимо:

1. Составить функцию Лагранжа;

2. Выбрать необходимые условия оптимального в слабом смысле процесса:

а) стационарности по x - уравнение Эйлера для лагранжиана;

б) трансверсальности по x ;

в) стационарности по u ;

г) стационарности по t_k ;

д) дополняющей нежесткости;

е) неотрицательности множителей Лагранжа.

3. Найти допустимые управляемые процессы, для которых выполняются условия п.2 с множителями Лагранжа λ и $p(\cdot)$, одновременно равными нулю.

4. Среди всех найденных в п.3 допустимых экстремальных процессов найти решение.

Реализуют оптимальное управление с использованием сформированного плана оптимального управления.

Например, если план оптимального управления представляет собой фиг. 4, то поезд, находясь в координате 300 м, реализует управление 200 кН. Реализуемое оптимальное управление, соответствующее текущей точке (координате) маршрута, передается в систему управления подвижного состава для исполнения. План оптимального управления - это значение управляющего воздействия (тяги, торможение или

выбег) для каждой координаты пути. То значение управления, которое соответствует текущей координате, в данный момент реализуется.

Согласно фиг. 5 примерная система для реализации технического решения включает в себя устройство обработки данных 500. Устройство обработки данных 500 может быть сконфигурировано как клиент, сервер, мобильное устройство или любое другое вычислительное устройство, которое взаимодействует с данными в системе совместной работы, основанной на сети. В самой базовой конфигурации устройство обработки данных 500, как правило, включает в себя по меньшей мере один процессор 501 и устройство хранения данных 502. В зависимости от точной конфигурации и типа вычислительного устройства системная память 502 может быть энергозависимой (например, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ, RAM)), энергонезависимой (например, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ, ROM)) или некоторой их комбинацией. Устройство хранения данных 502, как правило, включает в себя одну или более прикладных программ 503 и может включать в себя данные 504 программ. Настоящее техническое решение как способ, описанное в деталях выше, реализовано в прикладных программах 503.

Устройство обработки данных 500 может иметь дополнительные особенности или функциональные возможности. Например, устройство обработки данных 500 может также включать в себя дополнительные устройства хранения данных (съёмные и несъёмные), такие как, например, магнитные диски, оптические диски или лента. Такие дополнительные хранилища проиллюстрированы на фиг. 5 посредством несъёмного хранилища 507 и съёмного хранилища 508. Компьютерные носители данных могут включать в себя энергозависимые и энергонезависимые, съёмные и несъёмные носители, реализованные любым способом или при помощи любой технологии для хранения информации. Устройство хранения данных 502, несъёмное хранилище 507 и съёмное хранилище 508 являются примерами компьютерных носителей данных. Компьютерные носители данных включают в себя, но не в ограничительном смысле, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), электрически стираемое программируемое ПЗУ (EEPROM), флэш-память или память, выполненную по другой технологии, ПЗУ на компакт-диске (CD-ROM), универсальные цифровые диски (DVD) или другие оптические запоминающие устройства, магнитные кассеты, магнитные ленты, хранилища на магнитных дисках или другие магнитные запоминающие устройства, или любую другую среду, которая может быть использована для хранения желаемой информации и к которой может получить доступ устройство обработки данных 500. Любой такой компьютерный носитель данных может быть частью устройства 500. Устройство обработки данных 500 может также включать в себя устройство(а) 505 ввода, такие как клавиатура, мышь, перо, устройство с речевым вводом, устройство сенсорного ввода и так далее. Устройство(а) 506 вывода, такие как дисплей, динамики, принтер и тому подобное, также могут быть включены в состав устройства.

Устройство обработки данных 500 содержит коммуникационные соединения, которые позволяют устройству связываться с другими вычислительными устройствами, например, по сети. Сети включают в себя локальные сети и глобальные сети наряду с другими большими масштабируемыми сетями, включая, но не в ограничительном смысле, корпоративные сети и экстрасети. Коммуникационное соединение является примером коммуникационной среды. Как правило, коммуникационная среда может быть реализована при помощи машиночитаемых инструкций, структур данных, программных модулей или других данных в модулированном информационном сигнале, таком как несущая волна или в другом транспортном механизме, и включает в себя любую среду доставки информации. Термин "модулированный информационный сигнал" означает сигнал, одна или более из его характеристик изменены или установлены таким образом, чтобы закодировать информацию в этом сигнале. Для примера, но без ограничения, коммуникационные среды включают в себя проводные среды, такие как проводная сеть или прямое проводное соединение, и беспроводные среды, такие как акустические, радиочастотные, инфракрасные и другие беспроводные среды. Термин "машиночитаемый носитель", как употребляется в этом документе, включает в себя как носители данных, так и коммуникационные среды.

Специалисту в данной области очевидно, что конкретные варианты осуществления способа и системы энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги были описаны здесь в целях иллюстрации, допустимы различные модификации, не выходящие за рамки и сущности объема изобретения.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Железнодорожный транспорт. Энциклопедия / Главный редактор Н.С. Конарев. - М.: Научное издательство "Большая Российская энциклопедия", 1995. 559 с.: ил.

Баранов Л.А. (под редак.) - Оптимизация управления движением поездов, Учебное пособие, М.: МИИТ, 2011. 164 с. ГОСТ 30413-96

Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров; Под ред. И.П. Исаева. - М.: Транспорт, 1995. 294 с.

Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Часть 1 введение в теорию оценивания. ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", СПб ГУИТМО, Санкт-Петербург, 2009, 496с.

Правила тяговых расчётов для поездной работы. - М.: Транспорт, 1985. 287с.
Галеев Э.М. Оптимизация: Теория, примеры, задачи. М.: Либроком, 2010. 336 с.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги, включающий следующие шаги:

получают параметры подвижного состава, включающие, по крайней мере, коэффициент сцепления для режима тяги, параметры зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, априорный вектор параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, скорость, массу подвижного состава, силу тяги, признак наличия буксования, информацию о маршруте, включающую, по крайней мере, начальную и конечную точку маршрута, план и профиль пути;

определяют значение коэффициента сцепления для режима тяги на основании данных, полученных на предыдущем шаге;

проверяют точность зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости, при этом, если она не точно описывает сцепление, то уточняют параметры зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости;

формируют план оптимального управления для оставшейся части маршрута с использованием, по крайней мере, параметров подвижного состава и зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости;

реализуют оптимальное управление с использованием сформированного плана оптимального управления.

2. Способ по п.1, характеризующийся тем, что шаги выполняются циклично.

3. Способ по п.1, характеризующийся тем, что размерность априорного вектора параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости определяется видом зависимости.

4. Способ по п.1, характеризующийся тем, что уточнение зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости происходит в момент, когда поезд реализует положительную силу тяги.

5. Способ по п.1, характеризующийся тем, что априорный вектор параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости задают до начала реализации способа.

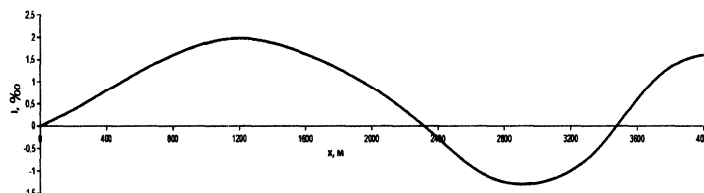
6. Способ по п.1, характеризующийся тем, что уточнение вектора параметров зависимости коэффициента сцепления для режима тяги от скорости происходит с помощью рекурсивного фильтра, оценивающего вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений.

7. Способ по п.1, характеризующийся тем, что координаты и скорость подвижного состава определяются с помощью радионавигационных систем.

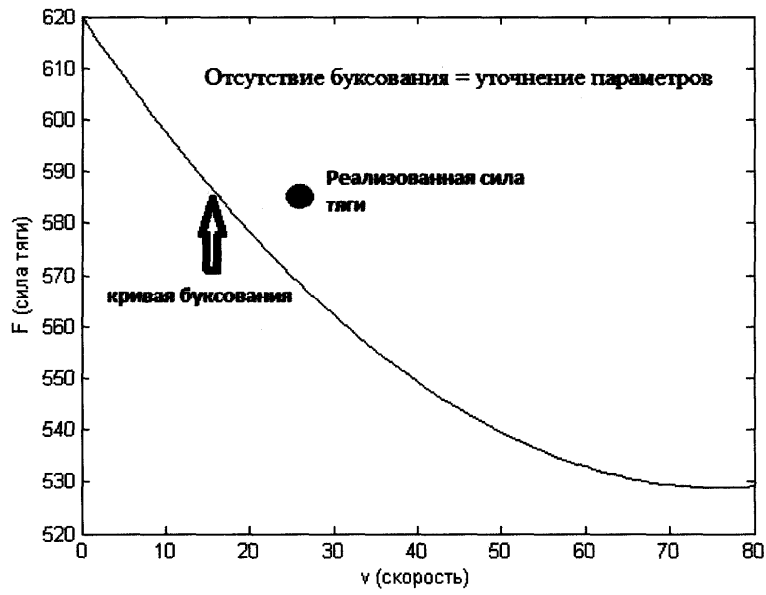
8. Способ по п.7, характеризующийся тем, что радионавигационной системой является система GPS или Глонасс.

9. Система энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги, содержащая по меньшей мере одно устройство обработки команд, по меньшей мере одно устройство хранения данных, по меньшей мере одну программу, сохраненную по меньшей мере на одном устройстве хранения данных, при этом по меньшей мере одна программа включает инструкции для реализации способа энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги по любому из пп.1-8.

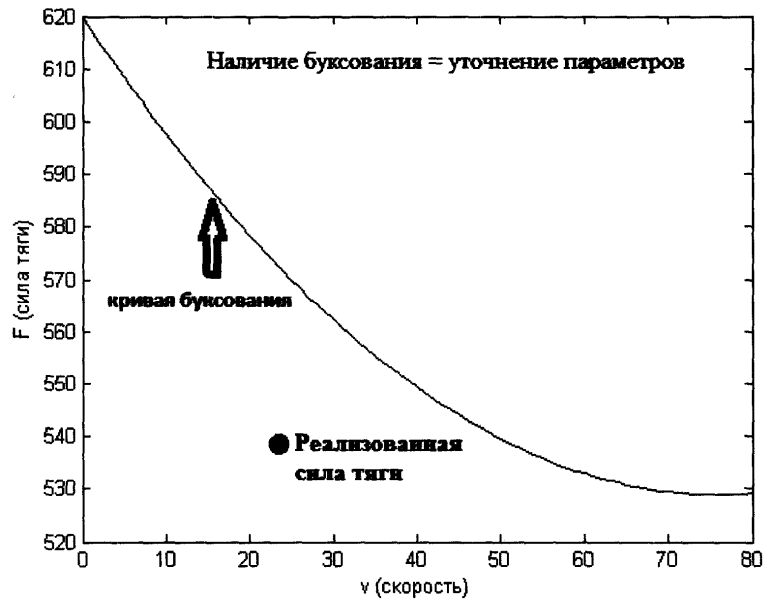
10. Машиночитаемый носитель данных, содержащий исполняемые одним или более процессором машиночитаемые инструкции, которые при их исполнении реализуют выполнение способа энергооптимального управления подвижным составом с использованием коэффициента сцепления в режиме тяги по любому из пп.1-8.



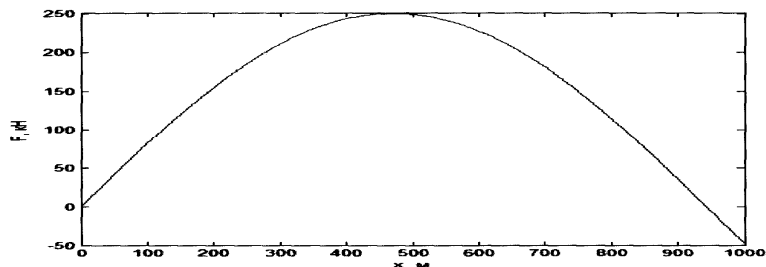
Фиг. 1



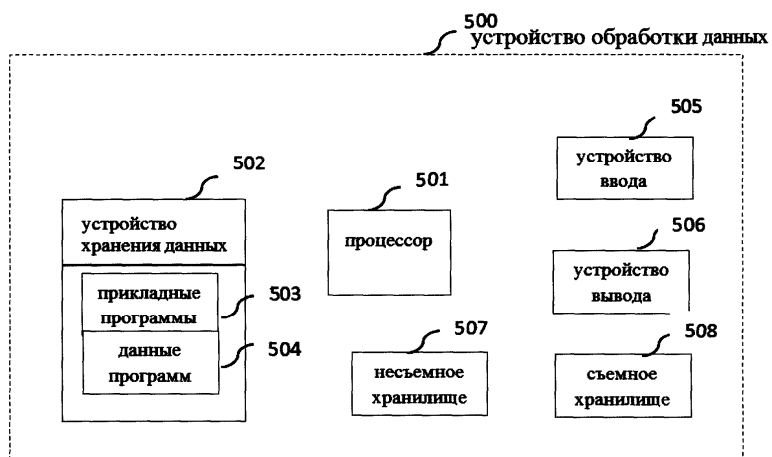
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5