

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **027967**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2017.09.29

(21) Номер заявки
201400515

(22) Дата подачи заявки
2014.04.04

(51) Int. Cl. **B60L 15/20** (2006.01)
B60L 15/38 (2006.01)
B60T 8/17 (2006.01)

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА ПОВЫШЕНИЯ КПД ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

(43) **2015.10.30**

(96) **2014000037 (RU) 2014.04.04**

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

(56) RU-C1-2237589
RU-C2-2409484
US-A-5950967
JP-A-2011205738
RU-C1-2320498

(72) Изобретатель:
Жебрак Леонид Михайлович (RU)

(74) Представитель:
Котлов Д.В. (RU)

(57) Изобретение предназначено для экономии энергии, затрачиваемой железнодорожным подвижным составом, например локомотивом, на выполнение поездной и маневровой работы при вождении поездов в автоматическом режиме или в режиме помощи машинисту. Способ повышения КПД подвижного состава включает следующие шаги: получают параметры подвижного состава, включающие, по крайней мере, скорость, координаты, напряжение контактной сети, напряжение токов тяговых двигателей, разрядку тормозной магистрали, также определяют, по крайней мере, параметры зависимости действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами, массу подвижного состава, затем определяют оптимальное управление, реализуемое тяговым и тормозным оборудованием железнодорожного подвижного состава, на основании параметров зависимостей, полученных на предыдущем шаге, после чего передают оптимальное управление, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного состава для исполнения или отображения машинисту.

B1**027967****027967****B1**

Область техники

Изобретение предназначено для экономии энергии, затрачиваемой железнодорожным подвижным составом, например локомотивом, на выполнение поездной и маневровой работы при вождении поездов в автоматическом режиме или в режиме помощи машинисту.

Уровень техники

При управлении железнодорожными составами немаловажным является эффективное управление, при котором КПД тяговой силы будет максимальным. В настоящее время эффективность управления ж.д. составом зависит от квалификации машиниста, вследствие чего только опытные и знающие маршрут движения машинисты управляют железнодорожным составом наиболее эффективно.

Ниже будут рассмотрены некоторые термины, которые в дальнейшем будут использоваться при описании изобретения.

Коэффициент полезного действия локомотива - отношение полезной работы, выполняемой ведущими колёсами локомотива, к количеству работы, затраченной на её получение у автономных локомотивов, имеющих самостоятельную силовую установку (паровоз, тепловоз), или к энергии, полученной из контактной сети (электровоз, электропоезд). Коэффициент полезного действия локомотива зависит от КПД всех звеньев, участвующих в превращении подводимой энергии в механическую и в передаче её на ведущие колёса, а также от расхода энергии на служебные и вспомогательные нужды. Различают КПД локомотива как силовой установки и КПД эксплуатационный, который зависит от времени работы локомотива на различных режимах при движении поезда и от расхода топлива (энергии) на поддержание локомотива в работоспособном состоянии во время стоянок. Расход топлива на стоянках у паровоза существенно больше, чем у тепловоза, а у электровоза - незначительный. КПД тепловоза зависит от конструктивных особенностей дизеля, конструкции тяговой передачи, холодильника, вспомогательные механизмов, температуры и давления наружного воздуха, реализуемой мощности и др.; макс. значение КПД тепловоза - около 30%, эксплуатационный КПД - около 25%. КПД электровоза, не имеющего самостоятельной силовой установки, составляет 88-90%; КПД электрической тяги, учитывающий КПД электростанций, устройств внешнего и тягового электроснабжения и ЭПС - 22-24%.

План железнодорожного пути (план пути) - кривизна железнодорожного пути, определяемая его радиусом.

Профиль пути - величина превышения железнодорожного пути относительно некоторой точки.

Разрядка тормозной магистрали - снижение давления в тормозной магистрали подвижного состава при выполнении пневматического торможения.

Для увеличения эксплуатационного КПД существуют различные системы и способы, обладающие теми или иными ограничениями.

Известным в уровне техники решениям присуще использование усредненных характеристик подвижного состава.

При производстве допустимыми считаются отклонения до 10% фактических тяговых характеристик от принятых для данного типа локомотивов. В течение срока службы, который составляет более 30 лет, отличия тяговых характеристик возрастают. Еще больше различаются фактические характеристики сопротивления движению от их усредненных значений. В некоторых случаях отклонение может достигать 40%. Наибольшее отклонение от среднего значения имеет коэффициент сцепления колеса с рельсом. При определенных погодных условиях и состоянии железнодорожного пути его фактическая величина может быть до 2,5 раз меньше расчетного значения, что сокращает максимальное возможное значение реализуемой силы тяги локомотива соответственно в 2,5 раза.

Также в уровне техники известно изобретение RU 2409484, "Способ и система для усовершенствования техники вождения поездов и снижения расхода топлива", ДЖЕНЕРАЛ ЭЛЕКТРИК КОМПАНИ (US), опубликованное 20.01.2011. Данное изобретение относится к способу и системе для усовершенствования техники вождения поездов. Способ включает вычисление массы поезда, определение на борту локомотивного состава текущего местоположения, распознавание участка изменения рельефа рельсового пути до достижения поездом участка изменения рельефа рельсового пути, корректировку параметра регулирования мощности локомотивного состава. Данное решение не использует актуальные (рассчитанные для конкретного подвижного состава) параметры (используют усредненные) зависимостей тяговых и тормозных характеристик, зависимостей сопротивления движения и силы сцепления колеса с рельсом, вследствие чего управляющие воздействия получаются менее точным и эффективным. Вычисление актуальных параметров зависимостей данного локомотивного состава и внешних условий необходимо для расчета управляющего воздействия, минимизирующего расход энергии на выполнение поездной работы.

Сущность изобретения

Предложенное изобретение направлено на устранение недостатков, присущих существующим изобретениям.

Технический результат, достигаемый данным изобретением, состоит в минимизации расхода энергии на выполнение поездной и маневровой работы. Данный технический результат достигается за счет определения актуальных параметров зависимостей тяговых и тормозных характеристик, зависимостей сопротивления движения и силы сцепления колеса с рельсом, используемых при расчете энергооптимального управления.

В одном из вариантов реализации данного изобретения способ повышения КПД подвижного состава включает следующие шаги: получают параметры подвижного состава, включающие, по крайней мере, скорость, координаты, напряжение контактной сети, напряжение токов тяговых двигателей, разрядку тормозной магистрали, также определяют, по крайней мере, параметры зависимости действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами, массу подвижного состава, затем определяют оптимальное управление, реализуемое тяговым и тормозным оборудованием железнодорожного подвижного состава, на основании параметров зависимостей полученных на предыдущем шаге, после чего передают оптимальное управление, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного состава для исполнения или отображения машинисту.

В некоторых реализациях изобретения шаги способа выполняются циклично.

В некоторых реализациях изобретения координаты и скорость подвижного состава определяются с помощью радионавигационных систем.

В некоторых реализациях изобретения радионавигационной системой является система GPS или Глонасс.

В некоторых реализациях изобретения, по крайней мере, общее сопротивление движению и сила торможения, необходимые для определения массы поездного состава, определяются на основе данных предыдущего цикла вычислений.

В некоторых реализациях координаты и скорость подвижного состава определяются с помощью одометрического датчика.

В некоторых реализациях определяют на основании данных по крайней мере одного предшествующего цикла, по крайней мере, массу подвижного состава и параметры одной из зависимостей: действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами.

В некоторых реализациях, по крайней мере, параметры зависимостей, массу подвижного состава определяют с использованием параметров этих зависимостей, определенных в процессе вычисления.

В некоторых реализациях параметры, необходимые для вычисления массы подвижного состава, определяются с использованием априорной статистической информации.

В некоторых реализациях априорная статистическая информация включает, по крайней мере, математическое ожидание, ковариационную матрицу оцениваемых параметров и ковариационную матрицу ошибок измерений.

В некоторых реализациях априорная статистическая информация включает, по крайней мере, математическое ожидание, корреляционную матрицу оцениваемых параметров и корреляционную матрицу ошибок измерений.

В одном из вариантов реализации данное изобретение может быть выполнено в виде системы повышения КПД подвижного состава, включающей одно или более устройство обработки команд, одно или более устройство хранения данных, одну или более программ, где одна или более программ хранятся на одном или более устройстве хранения данных и исполняются на одном и более процессоре, причем одна или более программ включает следующие инструкции: получают параметры подвижного состава, включающие, по крайней мере, скорость, координаты, напряжение контактной сети, напряжение токов тяговых двигателей, разрядку тормозной магистрали, также определяют, по крайней мере, параметры зависимости действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами, массу подвижного состава, затем определяют оптимальное управление, реализуемое тяговым и тормозным оборудованием железнодорожного подвижного состава, на основании параметров зависимостей полученных на предыдущем шаге, после чего передают оптимальное управление, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного состава для исполнения или отображения машинисту.

Система может быть выполнена с возможностью циклично выполнять инструкции.

Система может быть выполнена с возможностью определения координат и скорости подвижного состава при помощи радионавигационных систем.

В некоторых реализациях системы радионавигационной системой является система GPS или Глонасс.

Система может быть выполнена с возможностью определения координат и скорости подвижного состава с помощью одометрического датчика.

Система может быть выполнена с возможностью определения на основе данных предыдущего цикла, по крайней мере, общего сопротивления движению и силы торможения, необходимых для определе-

ния массы поездного состава.

Система может быть выполнена с возможностью определения на основании данных по крайней мере одного предшествующего цикла, по крайней мере, массы подвижного состава и параметры одной из зависимостей: действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами.

Система может быть выполнена с возможностью определения параметров, необходимых для вычисления массы подвижного состава, с использованием априорной статистической информации.

В некоторых реализациях системы априорная статистическая информация включает, по крайней мере, математическое ожидание, ковариационную матрицу оцениваемых параметров и ковариационную матрицу ошибок измерений.

В некоторых реализациях системы априорная статистическая информация включает, по крайней мере, математическое ожидание, корреляционную матрицу оцениваемых параметров и корреляционную матрицу ошибок измерений.

Система может быть выполнена с возможностью определения, по крайней мере, параметров зависимостей, массы подвижного состава с использованием параметров этих зависимостей, определенных в процессе вычисления.

В некоторых вариантах реализации изобретение представляет собой распределенную систему повышения КПД подвижного состава, включающую две и более компьютерные системы, соединенные при помощи средств связи, причем каждая из которых включает:

- i) одно или более устройств обработки команд;
- ii) одно или более устройств хранения данных;
- iii) одну или более программ, реализующих вышеуказанный способ повышения КПД подвижного состава, причем шаги данного способа могут выполняться на разных компьютерных системах.

Подробное описание изобретения

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

В некоторых вариантах реализации изобретение может быть реализовано в виде распределенной компьютерной системы.

В данном изобретении под системой подразумевается компьютерная система, ЭВМ (электронно-вычислительная машина), ЧПУ (числовое программное управление), ПЛК (программируемый логический контроллер), компьютеризированные системы управления и любые другие устройства, способные выполнять заданную, четко определённую последовательность операций (действий, инструкций).

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

Устройство обработки команд считывает и выполняет машинные инструкции (программы) с одного или более устройства хранения данных. В роли устройства хранения данных могут выступать, но не ограничиваясь, жесткие диски (HDD), флэш-память, ПЗУ (постоянное запоминающее устройство), твердотельные накопители (SSD), оптические приводы.

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

В данном изобретении эффект экономии энергии достигается расчетом и реализацией силы тяги локомотивного состава и тормозной силы необходимых для перемещения железнодорожного состава на расстояние $s_k - s_0$ за время T и выполнения требований безопасности, включая, но не ограничиваясь, ограничениями скорости движения и сигналов локомотивной сигнализации, при котором энергия, затрачиваемая локомотивом на поездную работу, будет минимальна

$$A = \int_{s_0}^{s_k} F ds \rightarrow \min$$

$$M \left(\frac{1+\gamma}{\zeta} \right) \frac{dv}{dt} = F - F_{\text{с}} - W(v, x) - B(p, v, t_p), \quad (1)$$

где M - масса поезда, т;

v - скорость, м/с;

F - сила тяги или торможения тяговым приводом с возвратом энергии, кН;

$F_{\text{с}}$ - сила торможения тяговым приводом без возврата энергии, кН;

W - общее сопротивление движению, кН;

B - сила пневматического (электропневматического) торможения, кН;

ζ - переводной коэффициент, зависящий от единиц измерения принятых в расчетах;

p - разрядка тормозной магистрали, кПа;

x - текущая координата;

γ - коэффициент инерции;

t_p - время от начала применения пневматического торможения.

Для расчета энергооптимальной силы тяги F требуется знание текущих параметров следующих зависимостей:

- общего сопротивления движению железнодорожного состава;
- силы сцепления колес с рельсами;
- силы тяги локомотивного состава;
- тормозной силы железнодорожного состава.

а также величин максимальной и минимальной силы тяги, определяемых из технических характеристик локомотивного состава.

Под термином "параметр зависимости" будем подразумевать значение p (p - вектор размерности n такое, что для любой пары значений x , y , из выражения $y = f(x, p)$ и для любого $i = \overline{1, n}$ следует, что $p_i = \text{const}$ (не зависит ни от x , ни от y).

Согласно изобретению способ повышения КПД подвижного состава включает следующие шаги:

определяют параметры подвижного состава, содержащие, по крайней мере

скорость, координаты, напряжение на тяговом приводе, токи тяговых двигателей, разрядку тормозной магистрали;

скорость и координаты подвижного состава могут определяться, но не ограничиваясь, как на основе показаний датчиков, так и с использованием средств радионавигации, например GPS, Глонасс;

определяют параметры зависимости действующей силы тяги, на основании которых определяют действующую силу тяги;

зависимость фактической (действующей) силы тяги от измеряемых параметров, например для локомотивов с коллекторными двигателями, может быть представлена

$$F_{\phi} = \omega(v, I, U), \quad (2)$$

где v - скорость движения локомотивного состава;

I - ток, протекающий через якорную цепь тяговых двигателей локомотивного состава;

U - напряжение на якорных обмотках тяговых двигателей локомотивного состава.

Здесь и далее в данном изобретении коэффициенты в аналитических зависимостях могут быть рассчитаны, но не ограничиваясь, методом Калмана. Вид зависимостей и используемый метод вычисления коэффициентов для изобретения не существен.

Рассчитанная сила тяги локомотива ограничена минимальной и максимальной силами, которые технически могут быть реализованы тяговым приводом локомотивного состава:

$$F_{\min} < F < F_{\max} \quad (3)$$

Согласно одному из вариантов осуществления минимальная и максимальная сила тяги задаются на этапе конфигурирования и настройки.

В некоторых реализациях минимальная и максимальная сила тяги задаются машинистом в диалоговом режиме.

Определяют массу подвижного состава.

Массу подвижного состава определяют, аналитически используя выражение (1), при этом для определения массы поезда в некоторых вариантах реализации могут понадобиться значения одного или комбинации указанных параметров - M , F , F_{ϕ} , W , B .

В некоторых вариантах реализации параметры, необходимые для вычисления массы подвижного состава, определяются с использованием априорной информации, включающей, по крайней мере, математическое ожидание, ковариационную матрицу оцениваемых параметров и ковариационную матрицу ошибок измерений.

В некоторых вариантах реализации, по крайней мере, общее сопротивление движению и сила торможения, необходимые для определения массы поезда, определяются на основе данных предыдущего цикла.

Выбор способа определения массы подвижного состава не существен для изобретения и может варьироваться.

Определяют параметры зависимости действующей силы торможения, на основании которых определяют действующую силу торможения.

Тормозная сила B может быть представлена аналитической зависимостью

$$B = \varphi(p, v, t_p), \quad (4)$$

где φ - аналитическая зависимость, устанавливающая связь между разрядкой тормозной магистрали и силой торможения B ;

p - разрядка тормозной магистрали, кПа;

v - скорость, м/с;

t_p - время от начала применения пневматического торможения.

Определяют параметры зависимости сопротивления движению, на основании которых определяют общее сопротивление движению.

Общее сопротивление движению определяется основным и дополнительным сопротивлением дви-

жению, которое может включать в себя, по крайней мере, сопротивление движению, возникающие от плана и профиля железнодорожного пути i:

$$W = M \cdot (i(x) + a_w + b_w v + c_w v^2), \quad (5)$$

где a_w , b_w , c_w - коэффициенты зависимости;

M - масса поезда, т;

v - скорость, м/с;

$i(x)$ - удельное сопротивление движению от профиля и плана пути.

Определяют параметры зависимости коэффициента сцепления, на основании которых определяют фактический коэффициент сцепления.

Сила сцепления F_{adh} колес с рельсами может быть представлена аналитической зависимостью, например:

$$F \leq F_{adh} = a_{adh} + b_{adh} v + c_{adh} v^2 \quad (6)$$

где a_{adh} , b_{adh} , c_{adh} - требующие определения параметры зависимости;

v - текущая скорость движения локомотивного состава.

Очевидно, что сила тяги локомотива F не может превосходить силу сцепления F_{adh} .

Определяют текущее и прогнозируемое оптимальное управляющее воздействие, содержащее силу тяги или тормозную силу с использованием данных определенных на предыдущих шагах.

При известных параметрах зависимостей (2), (4), (5), (6) и массы поезда вычисляется сила тяги, при которой расход энергии будет минимальным

$$A = \int_{s_0}^{s_k} F ds \rightarrow \min$$

Определенное на предыдущем шаге оптимальное значение силы тяги локомотивного состава передается в систему управления локомотивного состава для исполнения или отображения машинисту.

Специалисту в данной области очевидно, что конкретные варианты осуществления способа и системы повышения КПД подвижного состава были описаны здесь в целях иллюстрации, допустимы различные модификации, не выходящие за рамки и сущности объема изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ повышения КПД подвижного состава, реализуемый компьютерной системой, на основе использования усредненных характеристик подвижного состава, отличающийся тем, что содержит дополнительные шаги:

получают параметры подвижного состава, включающие, по крайней мере

скорость, координаты, напряжение контактной сети, напряжение токов тяговых двигателей, разрядку тормозной магистрали;

определяют, по крайней мере, текущие параметры зависимостей действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами на основании полученных параметров подвижного состава;

определяют массу подвижного состава;

определяют текущее и прогнозируемое оптимальное управляющее воздействие, минимизирующее расход энергии, затрачиваемой локомотивом на поездную работу и реализуемое тяговым и тормозным оборудованием железнодорожного подвижного состава, на основании параметров зависимостей, полученных на предыдущем шаге;

передают значение управляющего воздействия подвижного состава, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного состава для исполнения.

2. Способ по п.1, в котором шаги способа выполняются циклично.

3. Способ по п.1, в котором координаты и скорость подвижного состава определяются с помощью радионавигационных систем.

4. Способ по п.1, в котором радионавигационной системой является система GPS или Глонасс.

5. Способ по п.1, в котором координаты и скорость подвижного состава определяются с помощью одометрического датчика.

6. Способ по п.2, в котором, по крайней мере, общее сопротивление движению и сила торможения, необходимые для определения массы поездного состава, определяются на основе данных предыдущего цикла.

7. Способ по п.2, в котором определяют на основании данных по крайней мере одного предшествующего цикла, по крайней мере, массу подвижного состава и параметры одной из зависимостей: действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами.

8. Способ по п.1 или 2, в котором параметры, необходимые для вычисления массы подвижного состава, определяются с использованием априорной статистической информации.

9. Способ по п.8, в котором априорная статистическая информация включает, по крайней мере, математическое ожидание, ковариационную матрицу оцениваемых параметров и ковариационную матрицу

ошибок измерений.

10. Способ по п.8, в котором априорная статистическая информация включает, по крайней мере, математическое ожидание, корреляционную матрицу оцениваемых параметров и корреляционную матрицу ошибок измерений.

11. Система повышения КПД подвижного состава включает

одно или более устройств обработки команд;

одно или более устройств хранения данных;

одну или более программ, где одна или более программ хранятся на одном или более устройстве хранения данных и исполняются на одном и более процессоре, причем одна или более программ включает следующие инструкции:

получают параметры подвижного состава, включающие, по крайней мере, скорость, координаты, напряжение контактной сети, напряжение токов тяговых двигателей, разрядку тормозной магистрали;

определяют, по крайней мере, текущие параметры зависимостей действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами на основании полученных параметров подвижного состава;

определяют массу подвижного состава;

определяют текущее и прогнозируемое оптимальное управляющее воздействие, минимизирующее расход энергии, затрачиваемой локомотивом на поездную работу и реализуемое тяговым и тормозным оборудованием железнодорожного подвижного состава, на основании параметров зависимостей, полученных на предыдущем шаге;

передают значение управляющего воздействия подвижного состава, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного состава для исполнения.

12. Система по п.11, выполненная с возможностью циклично выполнять инструкции.

13. Система по п.11, выполненная с возможностью определения координат и скорости подвижного состава при помощи радионавигационных систем.

14. Система по п.13, в которой радионавигационной системой является система GPS или Глонасс.

15. Система по п.11, выполненная с возможностью определения координат и скорости подвижного состава при помощи одометрического датчика.

16. Система по п.12, выполненная с возможностью определения на основе данных предыдущего цикла, по крайней мере, общего сопротивления движению и силы торможения, необходимых для определения массы поездного состава.

17. Система по п.12, выполненная с возможностью определения на основании данных по крайней мере одного предшествующего цикла, по крайней мере, массы подвижного состава и параметров одной из зависимостей: действующей силы тяги, силы торможения, силы сопротивления движению, силы сцепления колес с рельсами.

18. Система по п.11, выполненная с возможностью определения параметров, необходимых для вычисления массы подвижного состава, с использованием априорной статистической информации.

19. Система по п.18, в которой априорная статистическая информация включает, по крайней мере, математическое ожидание, корреляционную матрицу оцениваемых параметров и корреляционную матрицу ошибок измерений.

