

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **028639**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2017.12.29**

(51) Int. Cl. **B60W 40/10** (2012.01)  
**G06F 17/00** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201600058**

(22) Дата подачи заявки  
**2015.09.30**

---

(54) **СПОСОБ И СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ  
ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА**

---

(43) **2017.03.31**

(56) US-A1-20140121889  
US-A1-20120083984  
CN-A-103698785

(96) **2015000087 (RU) 2015.09.30**

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

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

(74) Представитель:  
**Котлов Д.В. (RU)**

---

(57) Техническое решение предназначено для повышения эффективности использования движущихся объектов, например железнодорожного подвижного состава или автомобиля при его движении, при управлении объектами в автоматическом режиме или в режиме советчика. Технический результат от использования данного технического решения заключается в повышении уровня обратной связи при управлении подвижным объектом и улучшении возможности реагировать на ситуации, возникающие в процессе управления подвижным объектом. Способ определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта включает в себя следующие шаги: для каждой координаты пути получают параметры подвижного объекта, включающие, по крайней мере, зависимость сопротивления движению от скорости движения, априорный вектор параметров зависимости сопротивления движению от скорости движения, априорное значение сопротивления движению, скорость, значение управляющего воздействия, массу, координату; для каждой координаты пути уточняют текущее значение скорости на основе значения сопротивления движению, полученного на предыдущем шаге; для каждой координаты пути уточняют вектор параметров зависимости сопротивления движению на основе определенных на предыдущих шагах скорости движения и зависимости сопротивления движению от скорости движения; определяют значение сопротивления движению на основе вектора параметров, полученном на предыдущем шаге; передают значение сопротивления движению, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного объекта для дальнейшего использования или отображения лицу, управляющему подвижным объектом.

---

**B1**

**028639**

**028639**

**B1**

### **Область техники**

Техническое решение предназначено для повышения эффективности использования движущихся объектов, например железнодорожного подвижного состава или автомобиля при его движении, при управлении объектом в автоматическом режиме или в режиме советчика.

### **Уровень техники**

При любом движении между поверхностями тел или в среде, в которой оно движется, всегда возникают силы сопротивления. Их еще называют силами трения. Они могут зависеть от видов трущихся поверхностей, реакций опоры тела и его скорости, если тело движется в вязкой среде, например воде или воздухе,

Для эффективного использования транспорта необходимо знать силу сопротивления движению. Чем точнее известны характеристики объекта управления, тем выше уровень обратной связи, а как следствие, эффективнее управление. Например, при построении энергооптимального управления: чем точнее известно сопротивление движению, тем точнее можно рассчитать энергоэффективный закон управления; или в системе поддержания скорости: чем точнее известно сопротивление движению, тем точнее можно рассчитать управление, при котором скорость будет постоянна.

Как правило, силы сопротивления движению подвижного объекта рассчитываются заранее при так называемых стендовых или дорожных испытаниях транспорта.

Основной проблемой такого подхода является невозможность уточнения сопротивления движения в процессе движения подвижного объекта, поскольку очень сложно в условиях стендовых или дорожных испытаниях транспорта воспроизвести все возможные условия и ситуации, возникающие непосредственно при эксплуатации транспорта.

Во время стендовых испытаний рассчитываются усредненные значения зависимости сопротивления движению от скорости. Подобный подход не позволяет уточнять коэффициенты параметры зависимости сопротивления движению от скорости, которые меняются случайным образом от одного транспортного средства к другому и зависят также от условий эксплуатации.

Из уровня техники известно изобретение RU 2011955, "Способ определения коэффициента суммарного сопротивления движению транспортного средства при его дорожных испытаниях", Устименко В.С. (RU), Лоцаков Г.В. (RU), Пахомов С.Б. (RU), Лец В.К.(RU), опубликовано 30.04.1994. Данное изобретение относится к испытаниям транспортных средств и касается определения коэффициента суммарного сопротивления движению колесного и гусеничного транспортного средства при испытаниях. Коэффициент суммарного сопротивления движению определяют через энергетические затраты двигателя - расход топлива на преодоление суммарных сил сопротивления движению транспортного средства, включающих силы сопротивления качению, подъему, инерции, колебаний подрессоренной массы, воздуха и силы сопротивления движению прицепа, а также потери мощности в трансмиссии и скорость движения. Учет сил сопротивления движению достигается через энергетические затраты двигателя - расход топлива на конкретном виде дорог и реализуемую скорость.

Известно изобретение RU 2130599, "Способ определения сопротивления движению транспортного средства", Петрушов В.А. (RU), опубликовано 20.05.1999. Данное изобретение позволяет с высокой точностью и воспроизводимостью результатов определять по методу выбега аэродинамического сопротивления и сопротивления качению транспортных средств на динамических дорогах автополигонов, как с длинными, так и с укороченными (600-900 м) измерительными участками.

При использовании вышеуказанных изобретений не предполагается определение сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта для каждой координаты маршрута движения подвижного объекта.

### **Сущность технического решения**

Данное техническое решение направлено на устранение недостатков, присущих существующим аналогам.

Технический результат от использования данного технического решения заключается в повышении уровня обратной связи при управлении подвижным объектом и улучшении возможности реагировать на ситуации, возникающие в процессе управления подвижным объектом.

Данный технический результат достигается за счет определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта для каждой координаты маршрута движения подвижного объекта.

Способ определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта включает в себя следующие шаги:

для каждой координаты пути получают параметры подвижного объекта, включающие, по крайней мере, зависимость сопротивления движению от скорости движения, априорный вектор параметров зависимости сопротивления движению от скорости движения, априорное значение сопротивления движению, скорость, значение управляющего воздействия, массу, координату;

для каждой координаты пути уточняют текущее значение скорости на основе значения сопротивления движению, полученного на предыдущем шаге;

для каждой координаты пути уточняют вектор параметров зависимости сопротивления движению

на основе определенных на предыдущих шагах скорости движения и зависимости сопротивления движению от скорости движения;

определяют значение сопротивления движению на основе вектора параметров, полученном на предыдущем шаге;

передают значение сопротивления движению, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного объекта для дальнейшего использования или отображения лицу, управляющему подвижным объектом.

Шаги определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта могут выполняться циклично. Требуемые параметры могут поступать от различных датчиков, установленных в подвижном объекте, и/или рассчитываться на их основании.

Скорость и текущее местоположение (координаты) подвижного объекта могут быть определены с помощью спутниковых систем навигации.

Навигационной системой подвижного объекта может являться система GPS, и/или Глонасс, и/или Бэйдоу,

Данное техническое решение может быть выполнено в виде системы определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта, которая включает в себя 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: для каждой координаты пути получают параметры подвижного объекта, включающие, по крайней мере, зависимость сопротивления движению от скорости движения, априорный вектор параметров зависимости сопротивления движению от скорости движения, априорное значение сопротивления движению, скорость, значение управляющего воздействия, массу, координату; для каждой координаты пути уточняют текущее значение скорости на основе значения сопротивления движению, полученного на предыдущем шаге; для каждой координаты пути уточняют вектор параметров зависимости сопротивления движению на основе определенных на предыдущих шагах скорости движения и зависимости сопротивления движению от скорости движения; определяют значение сопротивления движению на основе вектора параметров, полученном на предыдущем шаге; передают значение сопротивления движению, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного объекта для дальнейшего использования или отображения лицу, управляющему подвижным объектом. Шаги определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта могут выполняться циклично. Требуемые параметры могут поступать от различных датчиков, установленных в подвижном объекте, и/или рассчитываться на их основании.

Скорость и текущее местоположение (координаты) подвижного объекта могут быть определены с помощью спутниковых систем навигации.

Навигационной системой подвижного объекта может являться система GPS, и/или Глонасс, и/или Бэйдоу.

#### **Краткое описание чертежей**

На представленных фигурах показано:

фиг. 1 - движение по профилю пути с фактическим сопротивлением движению меньше расчетного;

фиг. 2 - движение по профилю пути с фактическим сопротивлением движению больше расчетного;

фиг. 3 - блок-схема одного из вариантов реализации способа определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта.

#### **Подробное описание технического решения**

Данное техническое решение в различных своих вариантах осуществления может быть выполнено в виде способа, в виде системы или машиночитаемого носителя, содержащего инструкции для выполнения вышеупомянутого способа.

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

В данном техническом решении 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 определенную последовательность операций (действий, инструкций).

Под устройством обработки команд подразумевается электронный блок либо интегральная схема (микروпроцессор), 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.

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

Спротивление движению - эквивалентная сила, на преодоление которой затрачивается такая же работа, как на преодоление всех неуправляемых сил, препятствующих движению.

Управляющее воздействие - значение силы тяги или торможения, развиваемое тяговым и/или тормозным оборудованием подвижного объекта.

В данном техническом решении эффект повышения уровня обратной связи при управлении подвижным объектом и улучшении возможности реагировать на ситуации, возникающие в процессе управления подвижным объектом, достигаются за счет определения сопротивления движению подвижного объекта для каждой координаты маршрута движения подвижного объекта.

Согласно предлагаемому техническому решению способ определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта включает следующие шаги.

Для каждой координаты пути получают параметры подвижного объекта, включающие, по крайней мере, зависимость сопротивления движению от скорости движения, априорный вектор параметров зависимости сопротивления движению от скорости движения, априорное значение сопротивления движению, скорость, значение управляющего воздействия, массу, координату.

Скорость и координаты подвижного железнодорожного состава могут определяться, но не ограничиваясь, как на основе показаний датчиков (например, одометрический датчик), так и с использованием средств радионавигации, например GPS, Глонасс.

Значение управляющего воздействия может быть получено с датчиков, установленных на транспортном средстве, и/или рассчитано на основе их показаний. Например, на автомобиле значение управляющего воздействия может быть получено от систем измерения, основанных на скорости вращения двигателя и/или на скорости вращения колес; в различных видах воздушного транспорта, оснащенных двигателями реактивного типа, значение управляющего воздействия может быть получено как от динамометра, так и рассчитано на основе данных о скорости сгорания топлива и т.д.

Масса может быть получена на основе паспортных характеристик транспортного средства и/или введена в систему управления извне. Априорный вектор параметров зависимости сопротивления движению на начальном шаге берется из паспортных характеристик транспортного средства, затем на  $i$ -м шаге вектор параметров берется, как результат с  $i-1$ -го шага, т.е. на каждом шаге ( $i$ -м) происходит уточнение вектора параметров относительно предыдущего значения (полученного на  $i-1$ -м шаге), т.е. с каждым шагом уточняем характеристики объекта управления.

Априорное значение сопротивления движению может быть определено с помощью зависимости сопротивления движению. Значение скорости подвижного объекта подставляется известную зависимость сопротивления движению (с вектором параметров зависимости сопротивления движению от скорости движения, полученном на предыдущем шаге):  $W(p_k, v)$ , где  $p_k$  - вектор параметров зависимости сопротивления движению;  $p_0$  - стартовый вектор параметров зависимости сопротивления движению; известен из паспортных характеристик объекта управления.

Для каждой координаты пути уточняют текущее значение скорости на основе значения сопротивления движению, полученного на предыдущем шаге из известной зависимости сопротивления движению:

$$mv \frac{dv}{dx} = F(x) - W(p_k, v) - G(x) \quad (1)$$

где  $F(x)$  - значение управляющего воздействия в координате  $x$ ;

$G(x)$  - прочие внешние силы, действующие на объект (в случае наземного подвижного объекта - дополнительная сила, создаваемая профилем пути).

Для каждой координаты пути уточняют вектор параметров зависимости сопротивления движению на основе определенных на предыдущих шагах скорости движения и зависимости сопротивления движению от скорости движения.

Уточнение вектора параметров может происходить следующим образом.

Уравнение движения

$$mv \frac{dv}{dx} = F(x) - W(p_k, v) - G(x) \quad (1)$$

можно дискретизировать следующим образом:

$$v_{k+1} = v_k + h (F(x_k) - W(p_k, v_k) - G(x_k)) \quad (2)$$

или, что то же самое:

$$W(p_k, v_k) = F(x_k) - \frac{v_{k+1} - v_k}{h} - G(x_k) \quad (3)$$

где  $h$  - шаг дискретизации.

По известной зависимости  $W(p_k, v)$  и значению  $v_k$  вычисляется расчетное значение  $W^{\text{calc}}$ , вычислив правую часть уравнение (3), получаем измеренное значение  $W^{\text{meas}}$ . Далее вычисляется отклонение изме-

ренного значения от расчетного:

$$\delta = W^{calc} - W^{meas}$$

на основании  $\delta$  происходит уточнение вектора параметров  $p$  одним из известных методов, например с помощью дискретного рекурсивного фильтра.  $p_{k+1} = p_k + f(p_k)$ , где  $f(p_k)$  - правая часть уравнения объекта.

Определяют значение сопротивления движению на основе вектора параметров  $p_k$ , полученном на предыдущем шаге по известной зависимости  $W(p_k, v)$ .

Значение скорости подвижного объекта подставляется в известную зависимость сопротивления движению от скорости (с вектором параметров зависимости сопротивления движению от скорости движения, полученном на предыдущем шаге):  $W(p_k, v)$ , где  $p_k$  - вектор параметров зависимости сопротивления движению

Передают значение сопротивления движению, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного объекта для дальнейшего использования или отображения лицу, управляющему подвижным объектом, например:

1. В системе поддержания скорости (круиз контроля) необходимо, чтобы ускорение было равно 0:

$$\frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{dx} = 0$$

$$(1 + \gamma)mv \frac{dv}{dx} = F(x) - W(p, v) - G(x) \quad (4)$$

где  $W(p, v)$  - зависимость сопротивления движению от скорости;

$p$  - вектор параметров зависимости.

Для этого необходимо, чтобы правая часть уравнения (4) равнялась 0:

$$F(x) - W(p, v) - G(x) = 0$$

или, что то же самое:

$$F(x) = W(p, v) + G(x) \quad (5)$$

Следовательно, чем точнее известен вектор параметров  $p$ , тем точнее можно решить задачу (5).

2. Безаварийное управление, например, железнодорожным составом или автомобилем.

Известно, что для того, чтобы не произошло аварий необходимо, чтобы ускорение подвижного объекта было ограничено (исключить резкий разгон или резкое торможение):

$$a^{min} < \frac{dv}{dt} < a^{max} \quad (6)$$

Для того чтобы условие (6) выполнялось, необходимо, чтобы выполнялись неравенства:

$$a^{min} < F(x) - W(p, v) - G < a^{max} \quad (7)$$

Чем точнее известен вектор параметров  $p$ , тем точнее можно найти управляющее воздействие  $F(x)$ , при котором ускорение будет допустимым.

3. При движении по заданному маршруту с минимальным временем, с учетом ограничений скорости, возможных сигналов светофора и т.д.:

$T$  - время движения.

$x_0, x_k$  - начальная и конечная точки маршрута  $S$ .

$$T = \int_{x_0}^{x_k} \frac{dx}{v(x)} \rightarrow \min \quad (8)$$

где  $v(x)$  - удовлетворяет уравнению (4);

в каждой координате пути задано ограничение скорости:

$$v(x) < v^{max}(x) \quad (9)$$

Чем точнее известен вектор параметров  $p$ , тем точнее можно определить управляющее воздействие, при котором будет достигнут минимум времени  $T$  (8) при выполнении условия (9).

На фиг. 1 и 2 изображено движение подвижного объекта по профилю пути маршрута  $S$ , при этом имеются ограничения скорости - изображены на данных чертежах  $V_{огр}$ , фактическая скорость движения ( $V_f$ ) и оптимальная ( $V_{opt}$ ) для прохождения расстояния за требуемое время  $T$ .

На фиг. 1 схематично изображен случай, когда фактическое сопротивление движению меньше, чем расчетное:  $W^{real} < W^{calc}$ , то может произойти превышение ограничения скорости и/или нарушение сигнала светофора. Для того чтобы этого не произошло, в точке, обозначенной как Торм., осуществляют торможение и начинают процесс выбега заново.

На фиг. 2 схематично изображен случай, когда фактическое сопротивление движению больше, чем расчетное  $W^{real} > W^{calc}$ , то время движения будет больше, чем задано, например, расписанием. Такое может происходить при подъеме по профилю пути: при этом фактическая скорость движения ( $V_f$ ) будет падать, для достижения оптимальной ( $V_{opt}$ ) скорости требуется повысить расход энергии.

Для оптимального решения описанных ситуаций в обоих рассмотренных случаях требуется как можно более точно известный вектор параметров  $p$ .

4. Решение задачи энергоэффективности:

$$\int_{x_0}^{x_k} F(x) dx \rightarrow \min \quad (10)$$

где  $F(x)$  - значение управляющего воздействия в координате  $x$ .

В зависимости от типа управления (например, непрерывное или дискретное) энергооптимальное управление (10) может быть определено с помощью методов вариационного исчисления, и/или методов теории оптимального управления, и/или с помощью методов динамического программирования.

Например, может использоваться следующий алгоритм.

1. Привести задачу к классической формулировке:

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

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

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

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

где  $B_i(x(\cdot), u(\cdot), t_0, t_k) = \int_0^{t_k} f_i(t, x, u) dt + \psi_i(t_0, x(t_0), t_k, x(t_k)); \quad i = \overline{0, m}$

2. 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  $\lambda$  и  $p(\cdot)$ , одновременно равными нулю.

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

На фиг. 3 представлена блок-схема одного из вариантов реализации способа определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта.

Специалисту в данной области, очевидно, что конкретные варианты осуществления способа и системы определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта были описаны здесь в целях иллюстрации, допустимы различные модификации, не выходящие за рамки и сущности объема технического решения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта, при котором

получают параметры подвижного объекта, включающие, по крайней мере, зависимость сопротивления движению от скорости движения, априорный вектор параметров зависимости сопротивления движению от скорости движения, априорное значение сопротивления движению, скорость, значение управляющего воздействия, массу, координату;

для каждой координаты пути уточняют текущее значение скорости на основе априорного значения сопротивления движению, полученного на предыдущем шаге;

для каждой координаты пути уточняют вектор параметров зависимости сопротивления движению на основе полученных и определенных на предыдущих шагах скорости движения, значения управляющего воздействия, массы подвижного объекта и зависимости сопротивления движению от скорости движения;

определяют значение сопротивления движению на основе уточненного вектора параметров, полученного на предыдущем шаге;

передают значение сопротивления движению, определенное на предыдущем шаге, в систему управления подвижного объекта для дальнейшего использования или отображения лицу, управляющему подвижным объектом.

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

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

4. Способ по п.1, в котором параметры подвижного объекта можно получать от датчиков, установленных на подвижном объекте и/или рассчитываться на их основании.

5. Способ по п.3, характеризующийся тем, что навигационной системой подвижного объекта является система GPS, и/или Глонасс, и/или Бэйдоу.

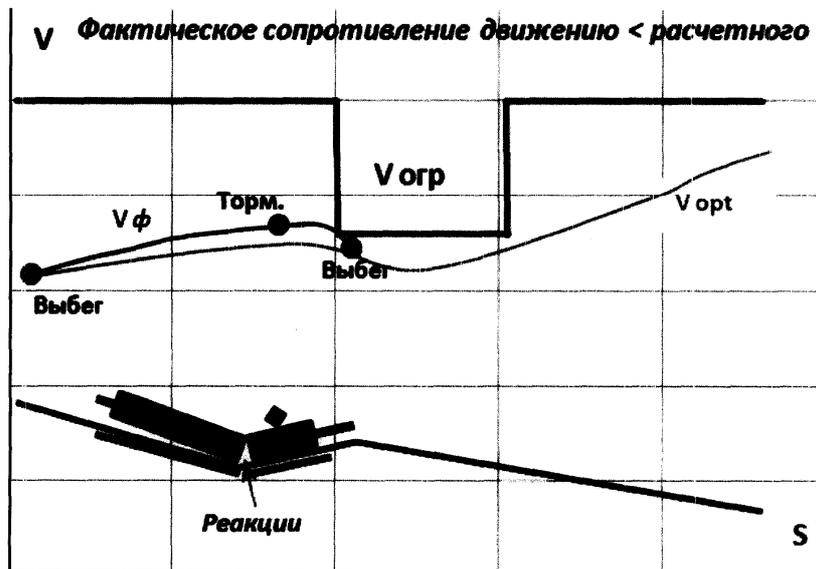
6. Система определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта, содержащая

по крайней мере одно устройство обработки команд;

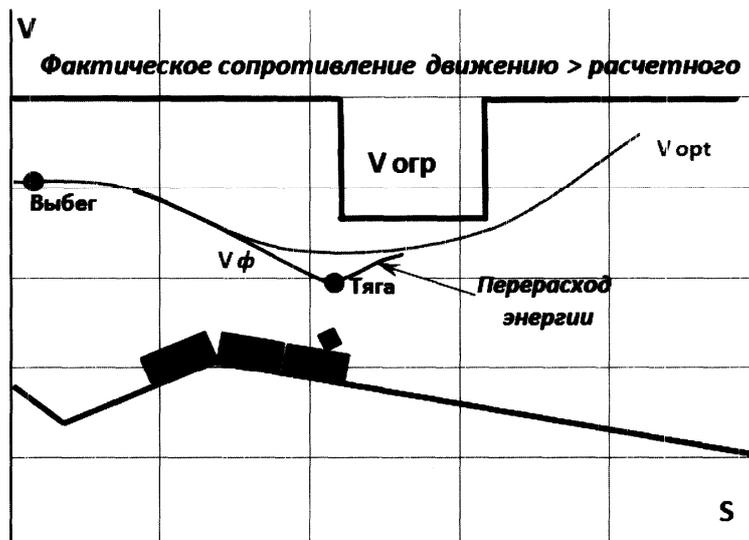
по крайней мере одно устройство хранения данных;

одну или более компьютерных программ, загружаемых по крайней мере в одно вышеупомянутое устройство хранения данных и выполняемых по крайней мере на одном из вышеупомянутых устройств обработки команд, при этом одна или более компьютерных программ содержат инструкции для выполнения способа по любому из пп.1-5.

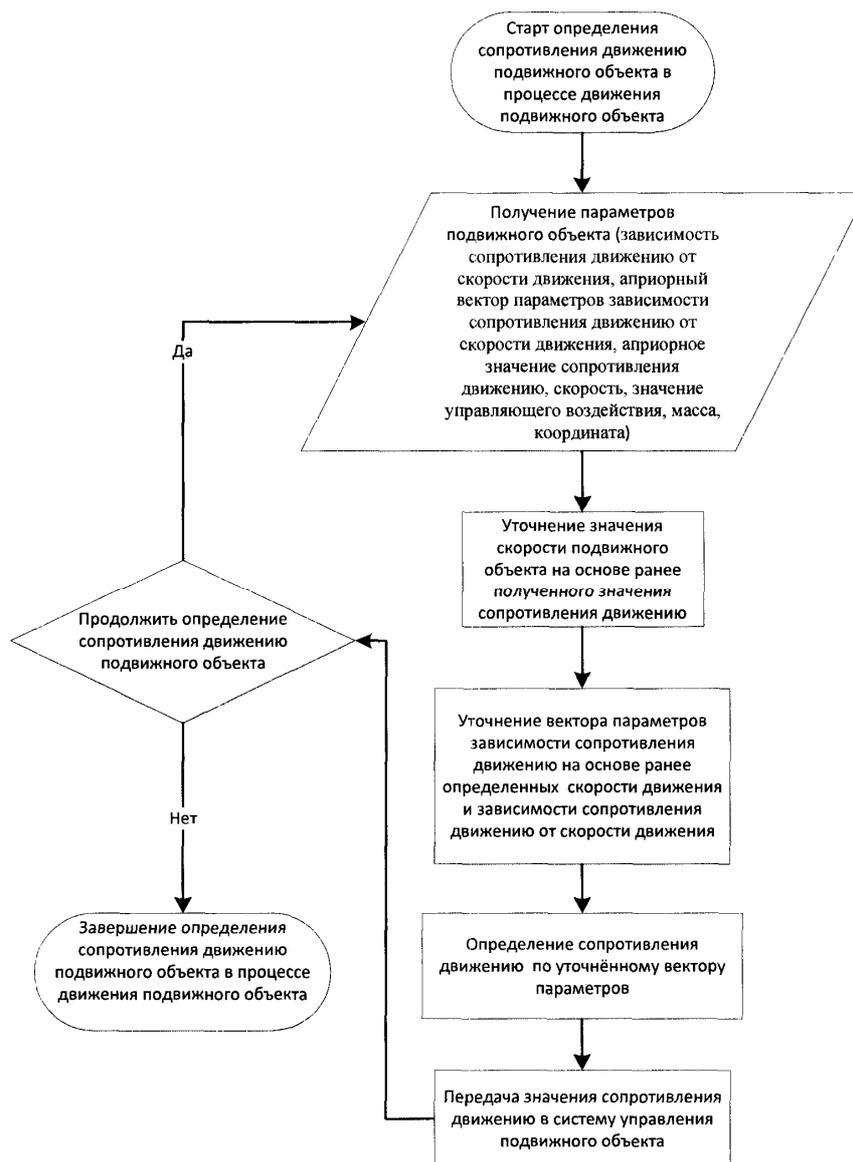
7. Машиночитаемый носитель данных, содержащий исполняемые одним или более процессором машиночитаемые инструкции, которые при их исполнении реализуют выполнение способа определения сопротивления движению подвижного объекта в процессе движения подвижного объекта по любому из пп.1-5.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

