

УДК 629.113

А.Н. БЛОХИН, канд. техн. наук  
доцент кафедры «Автомобили и тракторы»<sup>1</sup>  
исполнительный директор<sup>2</sup>  
E-mail: smm@nntu.ru

Д.А. ГОЛОВ  
аспирант<sup>1</sup>  
E-mail: dmitrygolov4@gmail.com

А.Г. РЯБОВ  
аспирант<sup>1</sup>  
E-mail: ar1207ar@yandex.ru

<sup>1</sup>Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «Вездеходы для Севера», г. Богородск, Российская Федерация

Поступила в редакцию 29.02.2024.

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЕЗДЕХОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА, РАБОТАЮЩЕГО НА ВОДОРОДЕ

*В работе рассмотрены причины создания вездеходного транспорта, работающего на водороде, использующего в качестве силовой установки генератор электроэнергии на топливных элементах. Представлены конструкция вездеходного транспортного средства РУСАК К-8 FCEV, характеристики тяговых электродвигателей, тяговых аккумуляторных батарей и инверторов. Рассмотрены особенности расчета показателей тягово-скоростных свойств транспортных средств, работающих на водороде. Предложено введение коэффициентов перегрузки по силе тока и напряжению. Представлены результаты расчетов показателей времени и пути разгона, показатели максимальной 30-минутной скорости движения с учетом введенных коэффициентов и без них. Проведен сравнительный анализ полученных результатов. Предложено использовать параметр 30-минутной максимальной скорости как критерий для выбора энергоемкости тяговых АКБ или объемов баллонов с водородом.*

**Ключевые слова:** снегоболотоход «РУСАК», тяговый электропривод, установка на топливных элементах, водород, тягово-скоростные свойства, 30-минутная максимальная скорость

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-15-22>

**Введение.** В результате использования традиционных энергоносителей выбросы основного парникового газа CO<sub>2</sub> выросли на 63 % за последние 30 лет, достигнув 36 Гт в год, вследствие этого был разработан Киотский протокол и Парижское соглашение, цель которых состоит в снижении углеродного следа [1–2].

Результатом принятия соглашений стало появление экологически безопасных гибридных, электрических и водородных автомобилей, соответствующих современному экологическому регламентам [3–4].

Зарождающаяся технология водородных топливных ячеек доказывает свою востребованность и перспективность за счет существующих стратегий развития водородных технологий развитых государств и заинтересованности крупных автопроизводителей [5–8].

В 2020 году началось производство многоцелевых вездеходов «РУСАК», разработанных ООО «Вездеходы для Севера» совместно с НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Снегоболотоходы предназначены для всесезонных транспортных перевозок людей в комфортных условиях, грузов, для проведения спасательных операций, ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в тяжелых дорожных и климатических условиях крайнего севера.

К настоящему времени разработано более 35 модификаций [9], различающихся между собой конструкцией силовой установки, кузовом и шасси, а также колесными формулами. Конструкция силовой установки может быть как традиционной (с двигателем внутреннего сгорания и механической или автоматической трансмиссией), так и гибридной (с двигателем внутреннего сгорания или водородным электрохимическим генератором).

Снегоболотоходы «РУСАК» имеют большое количество разнообразных вариантов кузовов под широкий спектр задач. На кузов может быть установлено дополнительное оборудование в виде крана-манипулятора, буровой установки, лебедки, цистерны для транспортировки жидкостей, кузова для автодомов.

Из всего семейства снегоболотоходов далее в статье рассматривается перспективная модель на водороде, которая в данный момент находится на этапе научных исследований и опытно-конструкторские работ.

Развитие проекта водородного снегоболотохода связано с тем, что Правительством Российской Федерации от 5 августа 2021 г. выпущено Распоряжение № 2162-р, утверждающее концепцию развития водородной безуглеродной энергетики. Одним из пилотных проектов концепции является создание международной арктической станции «Снежинка» на базе возобновляемых источников энергии и водородной энергетики [10]. Она располагается на полярном Урале. Тяжелые эксплуатационные и климатические условия данного региона не позволяют использовать круглогодично известные в настоящее время модели транспортных средств, работающих на водороде (в том числе разработки ПАО «КАМАЗ» и ОИЦ «Группы ГАЗ») [11, 12].

В связи с этим было принято решение о создании специализированной 8-колесной модификации снегоболотохода «РУСАК» на водороде для эксплуатации на международной арктической станции «Снежинка».

**Конструкция и особенности снегоболотохода РУСАК К-8 FCEV.** На рисунке 1 и в таблице 1 представлен внешний вид и основные характеристики снегоболотохода РУСАК К-8 FCEV. Автомобиль обладает грузоподъемностью 1,5 т и пассажироместимостью 8 человек, включая водителя. В качестве энергетической установки выступает электрохимический генератор на топливных элементах, вырабатывающих ток для литий-ионных тяговых аккумуляторных батарей и тяговых электродвигателей. Принцип работы электрохимического генератора (рисунок 2) основан на химической изотермической реакции соединения атомов водорода с атомами кислорода. Продуктом работы топливной ячейки является электроэнергия, а побочным продуктом реакции — дистиллированная вода. В таблице 2 представлены основные характеристики установки на топливных элементах для снегоболотохода РУСАК К-8 FCEV.

Она по своим массово-габаритным параметрам сопоставима с дизельным двигателем Cummins 2.8, ранее устанавливавшимся на серийных моделях вездеходов «РУСАК».

Особенностью гибридного вездехода на водороде является использование электродвигателя и инвертора собственной разработки (рисунок 3,

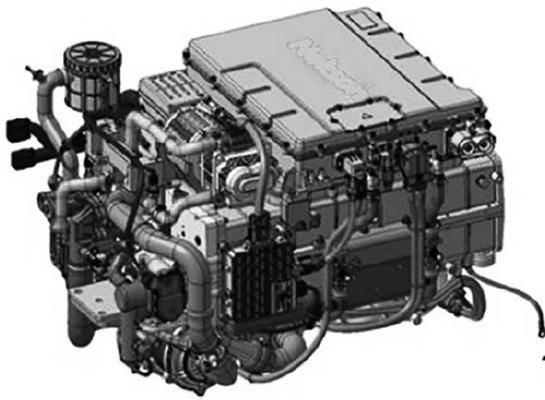


Рисунок 1 — Внешний вид снегоболотохода РУСАК К-8 FCEV  
Figure 1 — Exterior view of the RUSAK K-8 FCEV snow and swamp-going vehicle

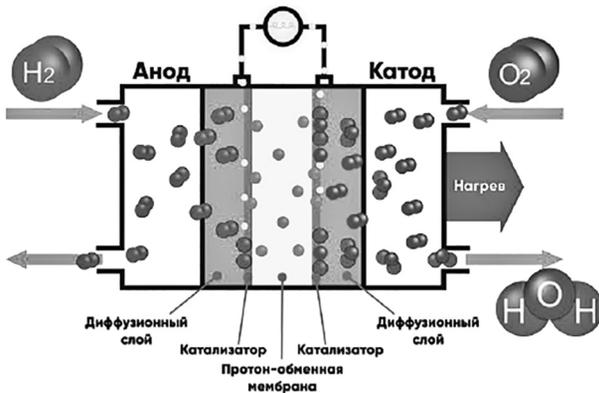
Таблица 1 — Основные характеристики снегоболотохода РУСАК К-8 FCEV  
Table 1 — Main characteristics of the RUSAK K-8 FCEV snow and swamp-going vehicle

Параметр	Значение
Полная масса, кг	10 500
Снаряженная масса, кг	9000
Максимальная скорость, км/ч	60
Энергетическая установка, кВт	Установка на топливных элементах, 117
Тяговый электродвигатель	Синхронный, с постоянными магнитами, собственной разработки
Энергоемкость блока литий-ионных аккумуляторных батарей, кВт·ч	120
Объем водородных баллонов, л	6×180
Трансмиссия	Механическая
Шины низкого давления	1780×720-32

таблицы 3–5). Тяговые аккумуляторные батареи, которые устанавливаются на водородный снегоболотоход — российского производства. На машине используется два электродвигателя мощностью 110 кВт каждый. На рисунке 4 представлена кинематическая схема трансмиссии вездехода.



a



b

Рисунок 2 — Установка на топливных элементах: a — внешний вид установки; b — принцип работы топливной ячейки  
 Figure 2 — Fuel cell unit: a — appearance of the unit; b — principle of the fuel cell operation

Таблица 2 — Основные характеристики установки на топливных элементах  
 Table 2 — Main characteristics of the fuel cell unit

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	117
Пиковая мощность, кВт	120
Номинальный расход водорода, г/мин	140,3
Пиковый расход водорода, г/мин	147,3
Рабочее давление водорода, МПа	1,7
Напряжение на выходе, В	450–750
Масса, кг	240

Особенностью данной схемы является разделение трансмиссии на две части, в каждой из которых момент электродвигателя распределяется на четыре ведущих колеса, проходя через согла-

Таблица 3 — Технические характеристики электродвигателя V2M  
 Table 3 — V2M electric motor specifications

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	110
Номинальный момент, Н·м	375
Максимальная скорость, об/мин	6000
КПД, %	95
Масса, кг	75

Таблица 4 — Технические характеристики инвертора V2M  
 Table 4 — V2M inverter specifications

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	110
Номинальный ток фазы, А	240
Минимальное напряжение питания, В	400
Максимальное напряжение питания, В	750
Масса, кг	35

Таблица 5 — Технические характеристики блока литий-ионной тяговой аккумуляторной батареи Sigma  
 Table 5 — Sigma lithium-ion traction battery pack specifications

Параметр	Значение
Напряжение блока, В:	
минимальное	470
номинальное	613
максимальное	705
Емкость батарейного блока, А·ч	612
Энергия батарейного блока, кВт·ч	125,2
Разрядный ток, А:	
номинальный	204
максимальный продолжительный	600
пиковый	1000
Зарядный ток (максимальный продолжительный), А	400
Рабочая температура, °С	от -30 до +50



a

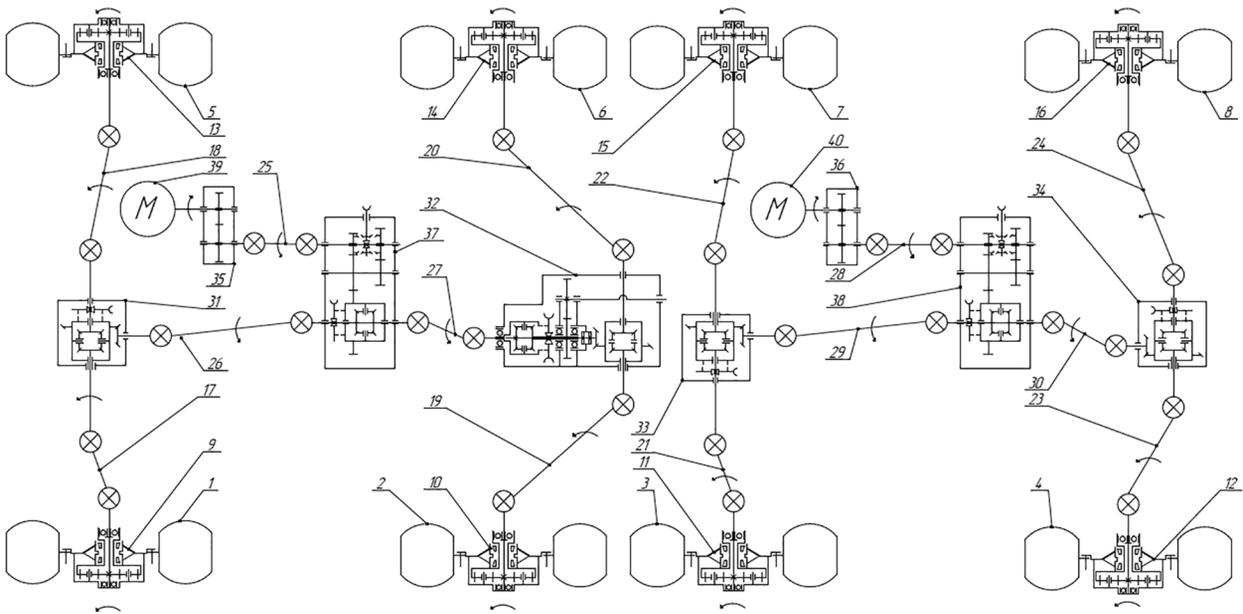


b



c

Рисунок 3 — Электрокомпоненты снегоболотохода РУСАК К-8 FCEV:  
 a — тяговый электродвигатель V2M; b — инвертор V2M; c — тяговая аккумуляторная батарея Sigma  
 Figure 3 — Electrical components of the RUSAK K-8 FCEV snow and swamp-going vehicle:  
 a — V2M traction motor; b — V2M inverter; c — Sigma traction battery



**Рисунок 4 — Кинематическая схема трансмиссии снегоболотохода РУСАК К-8 FCEV:** 1–8 — колеса; 9–16 — колесные редукторы; 17–24 — приводы колес; 25–30 — корданные передачи; 31, 32 — редуктор главной передачи первого и второго мостов; 33, 34 — редуктор главной передачи третьего и четвертого мостов; 35, 36 — согласующий редуктор; 37, 38 — раздаточная коробка передач; 39, 40 — электродвигатель. КПД узлов и агрегатов: колесный редуктор — 0,985; корданная передача — 0,99; редуктор главной передачи — 0,97; согласующий редуктор — 0,98; раздаточная коробка передач — 0,96; электродвигатель — 0,95. КПД трансмиссии:  $0,98^3 \cdot 0,995^2 \cdot 0,97 \cdot 0,985 \cdot 0,95 = 0,85$

**Figure 4 — Kinematic transmission diagram of the RUSAK K-8 FCEV snow and swamp-going vehicle:** 1–8 — wheels; 9–16 — wheel reducers; 17–24 — wheel drives; 25–30 — cordan gears; 31, 32 — main gear reducer of the first and second axles; 33, 34 — main gear reducer of the third and fourth axles; 35, 36 — matching reducer; 37, 38 — transfer gearbox; 39, 40 — electric motor. Efficiency of units and assemblies: wheel reducer — 0.985; cordan gear — 0.99; main gear reducer — 0.97; matching reducer — 0.98; transfer gearbox — 0.96; electric motor — 0.95. Transmission efficiency:  $0.98^3 \cdot 0.995^2 \cdot 0.97 \cdot 0.985 \cdot 0.95 = 0.85$

сующий редуктор, раздаточную коробку, главные передачи и колесные редукторы. Наилучшие тягово-скоростные показатели достигаются при использовании обоих контуров одновременно.

**Особенности расчета тягово-скоростных свойств.** В таблице 6 представлены отличия в расчетах тягово-скоростных свойств автомобилей с ДВС и электроприводом [13–15]. Рассматри-

вая определение показателей тягово-скоростных свойств автомобилей с ДВС, в качестве исходных данных необходимо иметь внешнюю скоростную характеристику, представляющую зависимость крутящего момента и мощности от частоты вращения коленчатого вала. Используя методику определения показателей тягово-скоростных свойств, производим расчет и получаем необходимые

**Таблица 6 — Особенности расчета тягово-скоростных свойств**  
**Table 6 — Calculation features of traction and speed properties**

	ТС с ДВС	ТС с электроприводом
Характеристика силовой установки	<p><math>T_e = f(n_e), P_e = f(n_e)</math>                      Номинальные параметры двигателя в явном виде не зависят от времени.</p>	<p>Выделяют номинальные и пиковые значения параметров. Пиковые значения характеризуют возможную перегрузку электродвигателя.  <math>T_e = f(n_e, K), P_e = f(n_e, K)</math>                      где <math>K</math> — коэффициент перегрузки электродвигателя.</p>
Определения тягово-скоростных свойств	Тяговый расчет, в котором параметры ДВС по внешней скоростной характеристике остаются неизменными с течением времени.	Расчет коэффициентов перегрузки $K$ электродвигателя изменяющихся с течением времени, зависящих от SOC и температуры АКБ, температуры электродвигателя и инвертора. Расчет показателей тягово-скоростных свойств с учетом коэффициентов перегрузки.

параметры. В отличие от автомобилей с ДВС, автомобили с электроприводом обладают номинальными и пиковыми значениями крутящего момента и мощности тягового электродвигателя. Пиковые значения характеризуют возможную перегрузку электродвигателя, которые изменяются с течением времени и зависят от SOC (состояния заряженности батареи), температуры АКБ, электродвигателя и инвертора. Таким образом, возникает первоначальная задача определения коэффициентов перегрузки, чтобы с их учетом вычислить показатели тягово-скоростных свойств. Такой показатель, как 30-минутная максимальная скорость автомобиля с электроприводом кардинально отличается от данного показателя автомобиля с ДВС.

Для учета параметров перегрузки и снижения напряжения на аккумуляторной батарее введены коэффициенты. Коэффициент  $K_a$  показывает характер изменения параметра пикового крутящего момента в зависимости от времени перегрузки, с учетом параметров аккумуляторной батареи, нагрузки и температур. Коэффициент  $K_u$  показывает характер изменения напряжения по мере разряда тяговой аккумуляторной батареи, что влияет на максимальную частоту вращения электродвигателя и, как следствие, на максимальную скорость транспортного средства.

В работе данные коэффициенты определяются по выражениям (1)–(2). В формулах (3)–(5) представлена связь данных коэффициентов с выходными характеристиками тягового электродвигателя:

$$\begin{cases} K = 1, & t < t_{кр}, \\ K_a = \frac{T_{e ном}}{T_{e пик}} \cdot (t - t_{кр})^x; \end{cases} \quad (1)$$

$$K_u = \frac{U}{U_{max}} \cdot t^y; \quad (2)$$

$$T_e = K_I \cdot I; \quad (3)$$

$$T_{e расч} = K_a \cdot T_{e пик}; \quad (4)$$

$$n_{e расч} = n_{e max} \cdot K_u, \quad (5)$$

где  $K_a$  — коэффициент перегрузки по току;  $K_u$  — коэффициент по напряжению;  $x, y$  — эмпирические коэффициенты, зависящие от SOC и температуры АКБ и тягового электродвигателя;  $I$  — сила тока;  $K_I$  — коэффициент пропорциональности;  $T_{e пик}$  — пиковый момент электродвигателя.

На рисунке 5 в качестве примера представлены результирующие теоретические характеристики тягового электродвигателя при трех состояниях тяговой аккумуляторной батареи, нагрузки на электродвигатель, температуры электропривода и времени, а также трех значений по напряжению  $K_u$  и одному значению коэффициента по перегрузке  $K_a$ . Полученные характеристики в дальнейшем используются в тяговом расчете. Установление подобной зависимости является трудоемкой, но важной задачей для определения более достоверных показателей тягово-скоростных характеристик.

**Результаты моделирования динамических характеристик и дальности пробега РУСАК К-8 FCEV.** Результаты моделирования показателей времени и пути разгона, представленные на рисунках 6 и 7, для вездеходного транспортного средства РУСАК К-8 FCEV в одних и тех же условиях, с одними и теми же агрегатами, но с учетом коэффициентов  $K_a$  и  $K_u$  и без них показали существенную разницу, которая составила 35 с

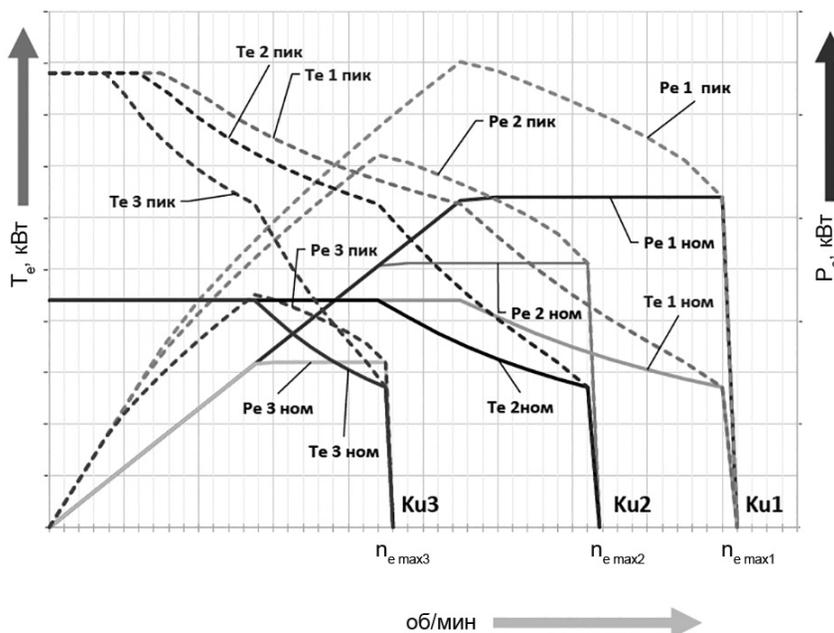


Рисунок 5 — Теоретические характеристики тягового электродвигателя с учетом коэффициентов  $K_a$  и  $K_u$   
 Figure 5 — Theoretical characteristics of the traction motor taking into account the  $K_a$  and  $K_u$  coefficients

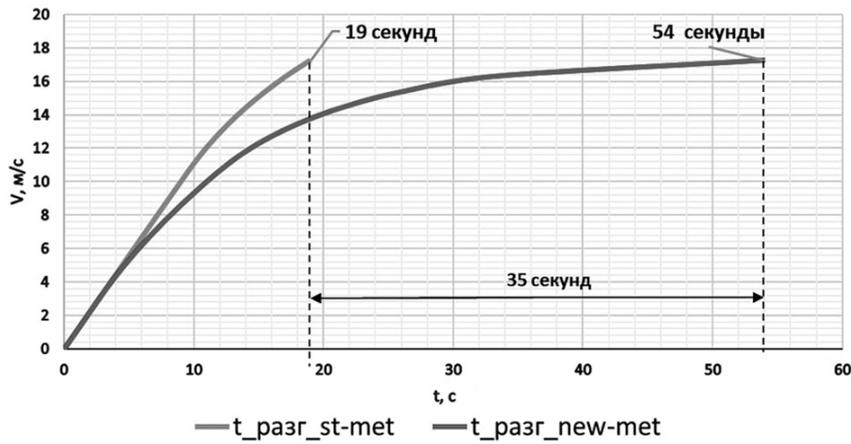


Рисунок 6 — График времени разгона с учетом коэффициентов и без  
 Figure 6 — Acceleration time graph with and without coefficients

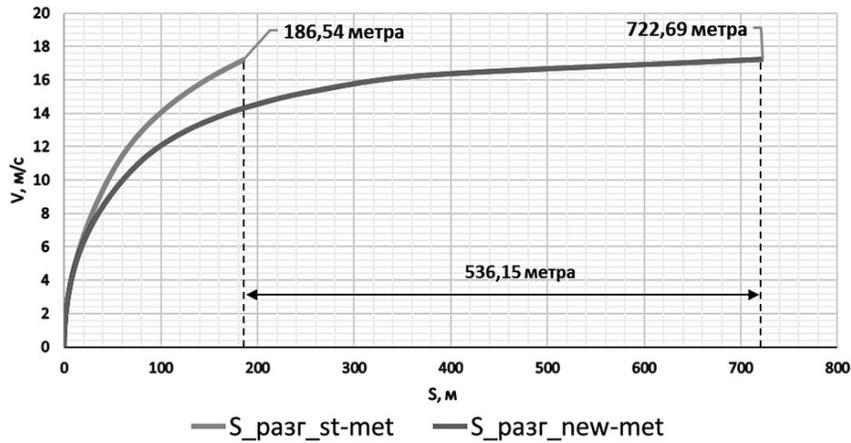


Рисунок 7 — График пути разгона с учетом коэффициентов и без  
 Figure 7 — Acceleration path graph with and without coefficients

в показателях времени разгона до максимальной скорости и 536 м для показателей пути разгона.

Согласно Правилам ЕЭК ООН № 68 одним из важных показателей тягово-скоростных свойств ав-

томобилей с электроприводом является максимальная 30-минутная скорость движения транспортного средства. Полученные результаты расчета этого параметра представлены на рисунке 8.

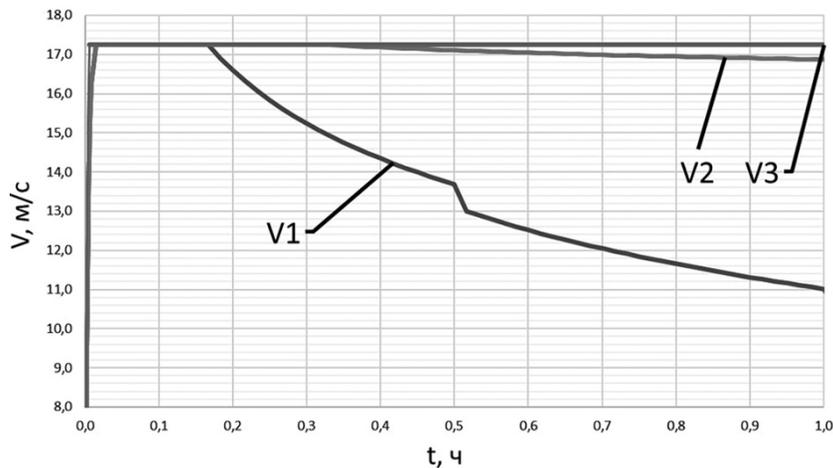


Рисунок 8 — График изменения максимальной скорости движения снегоболотохода:  $V_1$  — скорость при движении транспортного средства только при использовании тяговой АКБ;  $V_2$  — скорость при движении транспортного средства в случае совместной работы установки на топливных элементах и тяговой АКБ;  $V_3$  — скорость при движении транспортного средства, рассчитанная для случая совместной работы установки на топливных элементах и тяговой АКБ, но без учета коэффициентов перегрузки и изменения напряжения  $K_a$  и  $K_u$   
 Figure 8 — Graph of changes in the maximum speed of the snow and swamp-going vehicle:  $V_1$  — vehicle speed when using traction battery only;  $V_2$  — vehicle speed in case of combined operation of fuel cell unit and traction battery;  $V_3$  — vehicle speed calculated for the case of combined operation of fuel cell unit and traction battery, but without taking into account overload coefficients and changes in voltage  $K_a$  and  $K_u$

При этом расчет проводился с увеличенным до 60 мин интервалом времени.

Результаты расчета показали, что в случае движения с максимальной скоростью только на тяговых АКБ (см. рисунок 8, линия  $V_1$ ) в течение 30 мин максимальная скорость автомобиля существенно снижается — на 20,57 %. Если же тяговая АКБ будет иметь возможность заряжаться от электрохимического генератора на водороде (см. рисунок 8, линия  $V_2$ ), то при выбранных на вездеходе «РУСАК» объемах баллонов с водородом за 30 мин движения снижения максимальной скорости практически нет, однако если увеличить интервал рассмотрения процесса до 1 ч, то снижение скорости составит порядка 2 %.

Таким образом, параметр «максимальная 30-минутная скорость транспортного средства» может использоваться как дополнительный критерий для выбора энергоемкости тяговых АКБ или объемов баллонов с водородом (в случае использования установки на топливных элементах) наравне с требуемой величиной пробега на одной зарядке.

**Выводы.** Разработка транспортных средств на водороде является перспективным направлением в связи с постановлением Правительства Российской Федерации и утвержденной стратегией развития.

Расчет тягово-скоростных свойств такой машины отличается от машин с ДВС, поскольку у тяговых электродвигателей существуют номинальные и пиковые режимы работы, зависящие от нагрузки, параметров АКБ и температурных режимов электропривода.

Для расчета тягово-скоростных свойств ввели коэффициенты учета перегрузки  $K_a$  и коэффициент уменьшения напряжения и снижения максимальной скорости  $K_u$ . С их помощью произошло уточнение тягово-скоростных, динамических характеристик и запаса хода транспортного средства.

Для оценки максимальной скорости необходимо оперировать понятием 30-минутной максимальной скорости, что в свою очередь накладывает определенные требования на выбор объема баллонов с водородом и емкости тяговых аккумуляторных батарей.

Параметр «максимальная 30-минутная скорость транспортного средства» можно использовать как дополнительный критерий для выбора энергоемкости тяговых АКБ или объемов баллонов с водородом (в случае использования установки на топливных элементах) наравне с требуемой величиной пробега на одной зарядке.

## Список литературы

1. Historical GHG emissions [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>. — Date of access: 17.09.2023.
2. The United Nations: Paris Agreement [Electronic resource]. — Mode of access: [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf). — Date of access: 27.02.2024.
3. Регламент Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2019/631 от 17 апреля 2019 г. об установлении стандартов эффективности выбросов CO<sub>2</sub> для новых легковых автомобилей и новых легких коммерческих транспортных средств [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://base.garant.ru/72944636/>. — Дата доступа: 21.09.2019.
4. Morfeldt, J. Carbon footprint impacts of banning cars with internal combustion engines / J. Morfeldt, S. Davidsson Kurland, D.J.A. Johansson // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. — 2021. — Vol. 95. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102807>.
5. Вечкинзова, Е.А. Обзор мировых и российских тенденций развития водородной энергетики / Е.А. Вечкинзова, Л.П. Стеблякова, Е.В. Сумарокова // *Управление*. — 2022. — Т. 10, № 4. — С. 26–37. — DOI: <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2022-10-4-26-37>.
6. Козлов, А.Е. Экономические аспекты развития автомобилей на топливных элементах / А.Е. Козлов // *Управление инновациями – 2020: материалы междунар. научно-практич. конф. / под ред. Р.М. Нижегородцева, Н.П. Горидько*. — Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2020. — С. 107–112.
7. Palmer, C. Hydrogen power focus shifts from cars to heavy vehicles / C. Palmer // *Engineering*. — 2020. — Vol. 6, iss. 12. — Pp. 1333–1335. — DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.10.006>.
8. Бырков, А. Серийный кроссовер Honda CR-V e:FCEV: водород с подзарядкой [Электронный ресурс] / А. Бырков // *Авторевю*. — 2024. — Режим доступа: <https://autoreview.ru/news/seriynyy-krossover-honda-cr-v-e-fcev-vodorod-s-podzaryadkoj>. — Дата доступа: 28.02.2024.
9. Колесные машины [Электронный ресурс] // *РУСАК*. — Режим доступа: <https://atvrusak.ru/modelnyy-ryad/kolesnye-mashiny/>. — Дата доступа: 25.02.2024.
10. Об утверждении единого плана мероприятий по реализации Основ государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года и Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 996-р: утв. 15.04.2021 // *Раздел IV. Развитие науки и технологий в интересах освоения Арктики*.
11. Kamaz unveils fuel cell bus, partners with GreenGT for trucks // *Fuel Cells Bulletin*. — 2021. — Vol. 2021, iss. 10. — P. 2. — DOI: [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(21\)00535-6](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(21)00535-6).
12. Грибачев, П. Топливный элемент: водородобусы ГАЗ и КАМАЗ на выставке Комтранс [Электронный ресурс] / П. Грибачев // *Авторевю*. — 2021. — Режим доступа: <https://autoreview.ru/articles/gruzoviki-i-avtobusy/toplivnyy-element-vodorobusy-na-vystavke-komtrans>. — Дата доступа: 17.09.2023.
13. Кравец, В.Н. Теория автомобиля: учеб. / В.Н. Кравец. — Нижний Новгород: НГТУ, 2007. — 368 с.
14. Туревский, И.С. Теория автомобиля: учеб. пособие / И.С. Туревский. — М.: Высш. шк., 2005. — 240 с.
15. Сазанов, И.С. Теория автомобиля: учеб. пособие / И.С. Сазанов, В.А. Ким, Ки Йонг Чой. — Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. — 164 с.

BLOKHIN Alexander N., Ph. D. in Eng.  
Associate Professor of the Department “Cars and Tractors”<sup>1</sup>  
Executive Director<sup>2</sup>  
E-mail: [smm@nntu.ru](mailto:smm@nntu.ru)

GOLOV Dmitriy A.  
Postgraduate Student<sup>1</sup>  
E-mail: [dmitrygolov4@gmail.com](mailto:dmitrygolov4@gmail.com)

RYABOV Aleksey G.  
Postgraduate Student<sup>1</sup>  
E-mail: ar1207ar@yandex.ru

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russian Federation

<sup>2</sup>ООО “Vezdekhody dlya Severa”, Bogorodsk, Russian Federation

Received 29 February 2024.

## EVALUATION OF THE OPERATIONAL PROPERTIES OF AN ALL-TERRAIN VEHICLE POWERED BY HYDROGEN

*The paper considers the reasons for the creation of an all-terrain vehicle powered by hydrogen, using a fuel cell electric power generator as a power unit. The design of the RUSAK K-8 FCEV all-terrain vehicle, characteristics of traction electric motors, traction batteries and inverters are presented. The features of calculating the indicators of traction and speed properties of vehicles running on hydrogen are considered. The introduction of overload coefficients for current and voltage is proposed. The results of calculations of acceleration time and path indicators, indicators of the maximum 30-minute driving speed with and without the entered coefficients are presented. A comparative analysis of the obtained results is carried out. It is proposed to use the parameter of the 30-minute maximum speed as a criterion for choosing the energy intensity of traction batteries or the volumes of hydrogen cylinders.*

**Keywords:** RUSAK snow and swamp-going vehicle, traction electric drive, fuel cell unit, hydrogen, traction and speed properties, 30-minute maximum speed

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-15-22>

### References

1. *Historical GHG emissions*. Available at: <https://www.climate-watchdata.org/ghg-emissions> (accessed 17 September 2023).
2. *Paris agreement*. Available at: [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf) (accessed 27 February 2024).
3. *Reglament Evropeyskogo Parlamenta i Soveta Evropeyskogo Soyuzha 2019/631 ot 17 aprelya 2019 g. ob ustanovlenii standartov effektivnosti vybrosov CO<sub>2</sub> dlya novykh legkovykh avtomobiley i novykh legkikh kommercheskikh transportnykh sredstv* [Regulation of the European Parliament and of the Council of the European Union 2019/631 dated from April 17, 2019 establishing CO<sub>2</sub> emission efficiency standards for new passenger cars and new light commercial vehicles]. Available at: <https://base.garant.ru/72944636/> (accessed 21 September 2019) (in Russ.).
4. Morfeldt J., Davidsson Kurland S., Johansson D.J.A. Carbon footprint impacts of banning cars with internal combustion engines. *Transportation research part D: transport and environment*, 2021, vol. 95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102807>.
5. Vechkinzova E.A., Steblyakova L.P., Sumarokova E.V. Obzor mirovykh i rossiyskikh tendentsiy razvitiya vodorodnoy energetiki [Review of global and Russian trends in the hydrogen energy development]. *Upravlenie / Management (Russia)*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 26–37. DOI: <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2022-10-4-26-37> (in Russ.).
6. Kozlov A.E. Ekonomicheskie aspekty razvitiya avtomobiley na toplivnykh elementakh [Economic aspects of fuel cell vehicles development]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Upravlenie innovatsiyami – 2020"* [Proc. international scientific-practical conference “Innovation management – 2020”]. Novocherkassk, 2020, pp. 107–112 (in Russ.).
7. Palmer C. Hydrogen power focus shifts from cars to heavy vehicles. *Engineering*, 2020, vol. 6, iss. 12, pp. 1333–1335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.10.006>.
8. Byrkov A. Seriyyny crossover Honda CR-V e:FCEV: vodorod s podzaryadkoy [Serial crossover Honda CR-V e:FCEV: hydrogen with recharge]. *Avtoevyuu*, 2024. Available at: <https://autoreview.ru/news/seriyyny-krossover-honda-cr-v-e-fcev-vodorod-s-podzaryadkoy> (accessed 28 February 2024) (in Russ.).
9. *Kolesnye mashiny* [Wheeled vehicles]. Available at: <https://atvrusak.ru/modelnyy-ryad/kolesnye-mashiny/> (accessed 25 February 2024) (in Russ.).
10. Razdel IV. Razvitie nauki i tekhnologii v interesakh osvoeniya Arktiki [Section IV. Development of science and technology in the interests of Arctic development]. *Rasporyazhenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii № 996-r “Ob utverzhdenii edinogo plana meropriyatiy po realizatsii Osnov gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v Arktike na period do 2035 goda i Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsionalnoy bezopasnosti na period do 2035 goda”* [Government of the Russian Federation Decree No. 996-r “On approval of unified action plan for the implementation of the Foundations of the state policy of the Russian Federation in the Arctic for the period up to 2035 and the Development strategy of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period up to 2035.]. April 15, 2021 (in Russ.).
11. Kamaz unveils fuel cell bus, partners with GreenGT for trucks. *Fuel cells bulletin*, 2021, vol. 2021, iss. 10, p. 2. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(21\)00535-6](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(21)00535-6).
12. Gribachev P. Toplivnyy element: vodorobusy GAZ i KAMAZ na vystavke Komtrans [Fuel cell: GAZ and KAMAZ hydrogen buses at the Comtrans exhibition]. *Avtoevyuu*, 2021. Available at: <https://autoreview.ru/articles/gruzoviki-i-avtobusy/toplivnyy-element-vodorobusy-na-vystavke-komtrans> (accessed 17 September 2023) (in Russ.).
13. Kravets V.N. *Teoriya avtomobilya* [Automobile theory]. Nizhny Novgorod, Nizhegorodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet Publ., 2007. 368 p. (in Russ.).
14. Turevskiy I.S. *Teoriya avtomobilya* [Automobile theory]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2005. 240 p. (in Russ.).
15. Sazanov I.S., Kim V.A., Choy K.Y. *Teoriya avtomobilya* [Automobile theory]. Mogilev, Belorussko-Rossiyskiy universitet Publ., 2017. 164 p. (in Russ.).