

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОДИТЕЛЬ–АВТОМОБИЛЬ–ДОРОГА–СРЕДА ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

С.С. Сайдуллозода¹, К.В. Гаврилов¹, А.М. Умирзоков², А.Г. Уланов¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

² Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Система водитель–автомобиль–дорога–среда (ВАДС) – большая и сложная система, эффективность функционирования которой тесно связана со значительными затратами энергии. Оценка энергетических затрат при функционировании системы ВАДС и изыскание резервов повышения эффективности системы остается важной задачей в настоящее время. Функционирование системы ВАДС характеризуется изменением параметров и динамических свойств составляющих ее элементов в широких пределах и иногда непредсказуемым образом. На практике парциальное исследование влияния отдельных факторов или их сочетаний на эффективность системы ВАДС представляется достаточно сложной задачей. Этим вызвана необходимость комплексной энергетической оценки эффективности функционирования системы ВАДС. Исследования проводились с целью оценки эффективности функционирования системы ВАДС и выработки предложений по выявлению резервов для снижения энергетических и материально-технических затрат при решении вопросов, связанных с эффективностью транспортного процесса в горных условиях. До сих пор при оценке эффективности функционирования системы ВАДС по энергетическому показателю применялись методы, основанные на оценке эффективности отдельных ее элементов. Целесообразным является применение системного подхода в решении подобных задач. Полученные результаты эффективности функционирования системы ВАДС свидетельствуют о низкой производительности системы по энергетическим показателям, а также об имеющихся достаточно широких возможностях и путях повышения ее рентабельности. Предложенные математические модели для оценки энергетической эффективности функционирования системы ВАДС в относительных единицах, а также в количественных выражениях (по линейному расходу топлива) отличаются достаточной адекватностью для практических целей. В статье предлагается математическая модель для комплексной энергетической оценки эффективности функционирования системы ВАДС по линейному расходу топлива. Результаты исследований могут быть внедрены в производство при расчетах эффективности транспортного процесса.

Ключевые слова: система ВАДС, эффективность, водитель, автомобиль, карьерная дорога, окружающая среда.

Введение

Сегодня очевидна взаимосвязь между эффективностью системы ВАДС и многими отраслями и сферами человеческой деятельности. В горных и высокогорных условиях Республики Таджикистан автомобильный транспорт занимает доминирующую позицию в единой транспортной системе, на долю которого приходится свыше 95 % грузо- и пассажироперевозок. В данных условиях трудно преувеличить значимость эффективности функционирования системы ВАДС как основного фактора формирования развития народного хозяйства страны.

Освоение горных и предгорных территорий, использование огромных природно-экономических ресурсов, приобретение транспортной и экономической независимости в Республике Таджикистан во многом зависит от выбора приоритетов экономических стратегий роста. Этим приоритетным направлением, с учетом специфичности географического расположения страны, должен стать автомобильный транспорт. Достижение сбалансированного развития наци-

Краткие сообщения

ональной экономики возможно при более высоких темпах роста автотранспортного производства [1–4].

Горные условия функционирования системы ВАДС отличаются суровостью, обусловленной жарким и сухим климатом в летние месяцы, а также низкой, а местами очень низкой температурой воздуха и обилием осадков зимой. Особой суровостью отличаются климатические условия функционирования системы ВАДС в горных карьерах строительства гидротехнических сооружений (ГТС).

В системе ВАДС при прочих равных условиях автомобильная дорога является доминирующим элементом (фактором), формирующим эффективность ее функционирования. Это вдвойне значимо для условий эксплуатации большегрузных автомобилей в горных карьерных дорогах.

Подходы и методы исследования

В качестве новизны статьи можно отметить следующие моменты:

– дано определение эффективности функционирования системы ВАДС с энергетической точки зрения;

– разработаны математические модели для оценки энергетической эффективности функционирования системы ВАДС для горных условий строительства ГТС в относительных единицах, а также по линейному расходу топлива;

– уточнены значения коэффициентов, входящих в математические модели для оценки энергетической эффективности функционирования системы ВАДС для горных условий строительства ГТС.

С точки зрения энергетической теории эффективность функционирования системы ВАДС – это показатель, тесно связанный с процессом преобразования механической работы, выработанной на валу двигателя и передаваемой через трансмиссию к колесам управляемого водителем автомобиля, между его шиной и поверхностью дороги, осуществляемой в данной среде эксплуатации.

Следовательно, чем больше выработанная на валу двигателя механическая работа преобразуется в тяговую мощность автомобиля, тем выше энергетическая эффективность функционирования системы ВАДС.

Следует отметить, что система ВАДС ранее применялась по отношению к безопасности дорожного движения. Сегодня не менее важным и актуальным является использование системы ВАДС для решения вопросов эффективности транспортного процесса.

До сих пор при оценке эффективности функционирования системы ВАДС по энергетическому показателю применялись методы, основанные на оценке эффективности отдельных элементов системы. Само собой разумеется, что при оценке эффективности функционирования системы ВАДС или другого показателя, относящегося к системе, верным направлением является комплексная оценка или же применение системного подхода в решении подобных задач. Для оценки эффективности системы ВАДС целесообразно придерживаться следующей последовательности (крупный план исследований):

– изучение особенностей функционирования отдельных элементов системы ВАДС и оценка их эффективности в горных условиях;

– изучение особенностей функционирования системы ВАДС в целом и комплексный анализ ее эффективности в горных условиях;

– оценка эффективности функционирования системы ВАДС с учетом эффективностей отдельных ее элементов;

– обоснование нагрузочных и скоростных режимов работы автомобиля, обеспечивающих эффективность функционирования системы ВАДС с учетом особенностей условий эксплуатации;

– применение энергетического подхода при оценке эффективности функционирования системы ВАДС.

В зависимости от поставленной задачи эффективность функционирования системы ВАДС можно оценить по ряду признаков, среди которых наиболее существенными являются следующие:

– по энергетическому признаку – энергетическая эффективность функционирования системы ВАДС;

- по признаку надежности элементов системы – эффективность надежности функционирования системы ВАДС;
- по экологическому признаку – экологическая эффективность функционирования системы ВАДС;
- по экономическому признаку – экономическая эффективность функционирования системы ВАДС;
- по признаку безопасности – эффективность безопасного функционирования системы ВАДС;
- по эргономическому признаку – эргономическая эффективность функционирования системы ВАДС и др.

Для решения вопросов эффективности транспортного процесса более универсальным и обобщенным методом можно считать оценку эффективности функционирования системы ВАДС по энергетическому признаку.

Энергетическая эффективность функционирования системы ВАДС складывается из энергетической эффективности преобразования тепловой энергии в механическую работу в ДВС, энергетической эффективности преобразования энергии и передачи ее по трансмиссии, энергетической эффективности преобразования энергии между колесом автомобиля и поверхностью дороги, а также энергетической эффективностью, связанной с деятельностью водителя и прочих преобразований энергий, связанных с функционированием системы ВАДС (рис. 1).

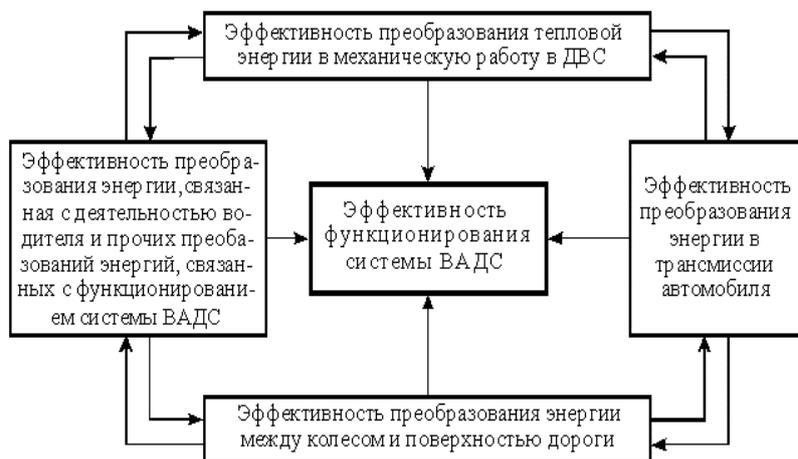


Рис. 1. Схема оценки энергетической эффективности функционирования системы ВАДС

При этом важным этапом преобразования энергии или работы между элементами системы ВАДС выступает автомобильная дорога, которая характеризуется категорией, типом дорожной одежды, коэффициентами сцепления и сопротивления качению, неровностью и шероховатостью поверхности дороги, геометрией дороги и погодными условиями [5–8].

Подходы и методы исследования

Эффективность функционирования системы ВАДС $\mathcal{E}_{\text{ВАДС}}$ по энергетическому показателю можно выразить как сумму

$$\mathcal{E}_{\text{ВАДС}} = Q_o - (\mathcal{E}_{\text{ЭМ}} + \mathcal{E}_{\text{ЭТ}} + \mathcal{E}_{\text{ЭД}} + \mathcal{E}_{\text{ЭВ}} + \mathcal{E}_{\text{ЭП}}), \quad \text{Дж/с} \quad (1)$$

где Q_o – общее количество тепловой энергии, введенной в двигатель с топливом (суммарная энергия, преобразуемая и передаваемая в системе ВАДС, или суммарная энергетическая эффективность сгорания топлива), Дж/с; $\mathcal{E}_{\text{ЭМ}}$ – потери тепловой энергии сгорания топлива в ДВС (снижение уровня суммарной энергетической эффективности при преобразовании тепловой энергии сгорания топлива в механическую работу в ДВС), Дж/с; $\mathcal{E}_{\text{ЭТ}}$ – потери энергетической эффективности системы ВАДС при передаче от вала двигателя к колесам через трансмиссии автомобиля, Дж/с; $\mathcal{E}_{\text{ЭД}}$ – потери энергетической эффективности системы ВАДС в контакте автомобильной шины с поверхностью дороги, Дж/с; $\mathcal{E}_{\text{ЭВ}}$ – потери энергетической эффективности в си-

Краткие сообщения

стеме ВАДС, связанной с деятельностью (мастерством) водителя, Дж/с; $\mathcal{E}_{эл}$ – потери энергетической эффективности, связанной с прочими преобразованиями энергии на автотранспорте, Дж/с.

Общее количество теплоты, введенной в двигатель с топливом определяется из уравнения внешнего теплового баланса двигателя

$$Q_o = Q_e + Q_z + Q_v + Q_{н.с} + Q_{ост.} = H_u \cdot G_m / 3,6, \quad \text{кДж/с}, \quad (2)$$

где Q_e – теплота, эквивалентная эффективной работе двигателя, кДж/с; Q_z – теплота, потерянная с отработавшими газами, кДж/с; Q_v – теплота, передаваемая охлаждающей среде, кДж/с; $Q_{н.с}$ – теплота, потерянная из-за химической неполноты сгорания топлива, кДж/с; $Q_{ост.}$ – неучтенные потери теплоты; кДж/с; H_u – низшая теплота сгорания, МДж/кг, [9]; G_m – часовой расход топлива, кг/ч.

Значение абсолютных значений составляющих теплового баланса позволяет осуществить количественную оценку распределения теплоты в двигателе. Если же необходимо сравнить распределение теплоты в различных двигателях или оценить степень теплоиспользования конкретного двигателя, то составляющие теплового баланса удобнее представлять в относительных величинах, например, в процентах по отношению ко всей теплоте, подведенной с топливом

$$q_o = q_e + q_z + q_v + q_{н.с} + q_{ост.} = 100\%. \quad (3)$$

С учетом уравнения (3) выражение (1) можно переписывать в виде

$$\mathcal{E}_{ВАДС} = q_o - (\mathcal{E}_{эм} + \mathcal{E}_{эт} + \mathcal{E}_{эд} + \mathcal{E}_{эв} + \mathcal{E}_{эн}), \quad \%. \quad (4)$$

Эффективность функционирования системы ВАДС постепенно снижается, начиная с вала двигателя, до контакта автомобильного колеса с поверхностью дороги и далее в процессе управления автомобилем водителем, а также под действием прочих факторов, учитывать каждого из которых в отдельности не представляется целесообразным из-за их малой значимости. Следовательно, энергетическую оценку эффективности функционирования системы ВАДС практичнее вести поэтапно согласно схеме, представленной на рис. 1.

Первый этап снижения или потери энергетической эффективности системы ВАДС связан с преобразованием тепловой энергии сгорания топлива в механическую работу в ДВС. Уровень снижения энергетической эффективности системы ВАДС на данном этапе определяется из выражения

$$\mathcal{E}_{эм} = q_o \cdot \eta_e, \quad \%, \quad (5)$$

где η_e – эффективный КПД ДВС, для современных дизелей без турбо наддува принимается равным $\eta_e = 0,35 \dots 0,40$, с турбо наддувом $\eta_e = 0,45 \dots 0,50$ [9, 10].

Следующий этап снижения или потери энергетической эффективности системы ВАДС связан с передачей энергии от коленчатого вала двигателя к колесам автомобиля, т. е. с потерей энергии на трансмиссии. Уровень энергетической эффективности в системе ВАДС на данном этапе, с учетом ее потери при преобразовании в ДВС и передаче от двигателя к колесам, т. е. совместные потери в ДВС и трансмиссии автомобиля определяется из выражения

$$\mathcal{E}_{эт} = q_o \cdot \eta_{тп} = q_o \cdot \eta_e \cdot \eta_{тп}, \quad \%, \quad (6)$$

где $\eta_{тп}$ – КПД трансмиссии.

Движение автомобиля сопровождается преобразованием значительного количества энергии в контакте автомобильной шины с поверхностью дороги, существенно снижая уровень энергетической эффективности в системе ВАДС на очередном этапе. Уровень энергетической эффективности в системе ВАДС на данном этапе, т. е. после преобразования энергии в контакте автомобильной шины с поверхностью дороги определяется из выражения

$$\mathcal{E}_{эд} = \mathcal{E}_{эт} \cdot k_{дор} = q_o \cdot \eta_e \cdot \eta_{тп} \cdot k_{дор}, \quad \%. \quad (7)$$

Коэффициент энергетической эффективности дороги предлагается определить по выражению

$$k_{дор} = 1 - k_d \quad (8)$$

где k_d – динамический коэффициент, учитывающий сложность условий эксплуатации, значение которого зависит от состояния дорожного полотна, геометрии дороги, интенсивности движения, соотношения установившегося и не установившегося режимов движения и т. д. (для условий строительства ГТС в горных условиях можно принимать $k_d = 0,12 \dots 0,13$) [11–14].

С учетом выражения (8) формулу (7) можно переписывать в виде

$$\mathcal{E}_{\text{эд}} = \mathcal{E}_{\text{эм}} \cdot k_{\text{дор}} = q_o \cdot \eta_e \cdot \eta_{\text{мп}} \cdot (1 - k_d), \quad \% \quad (9)$$

Другим этапом снижения энергетической эффективности системы ВАДС является этап преобразования энергии, связанный с деятельностью водителя, вернее взаимодействием автомобиля, дороги и водителя [15–20]. Уровень энергетической эффективности в системе ВАДС на данном этапе можно представить в виде

$$\mathcal{E}_{\text{эв}} = \mathcal{E}_{\text{эм}} \cdot k_6, \quad \% \quad (10)$$

где k_6 – коэффициент энергетической эффективности водителя.

С учетом выражения (9) формулу (10) можно переписывать в виде

$$\mathcal{E}_{\text{эв}} = q_o \cdot \eta_e \cdot \eta_{\text{мп}} \cdot (1 - k_d) \cdot k_6, \quad \% \quad (11)$$

По результатам многолетних исследований, проведенных авторами, установлено, что значение коэффициента энергетической эффективности водителя варьируется в довольно широких пределах, т. е. $k_6 = 0,82... 0,96$. Для горных условий строительства ГТС значение коэффициента энергетической эффективности водителя можно принимать равным $k_6 = 0,86... 0,94$. Достаточно высокое значение коэффициента энергетической эффективности водителя связано с тем, что водители большегрузных автомобилей-самосвалов на строительстве ГТС являются в основном более или менее обученными, опытными, с достаточно высоким уровнем профессионализма.

Завершающий этап снижения энергетической эффективности связан с прочими преобразованиями энергии, связанными с функционированием системы ВАДС. На данном этапе преобразования и передачи энергии, уровень энергетической эффективности равняется полной энергетической эффективности функционирования системы ВАДС и выражается произведением

$$\mathcal{E}_{\text{ВАДС}} = \mathcal{E}_{\text{эв}} \cdot k_{\text{пр}}, \quad \% \quad (12)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент эффективности прочих преобразований энергии, связанных с функционированием системы ВАДС. По результатам многолетних исследований, авторами установлено, что для горных условий строительства ГТС значение коэффициента энергетической эффективности прочих преобразований энергии, связанных с функционированием системы ВАДС варьируется в пределах $k_{\text{пр}} = 0,87... 0,94$.

С учетом выражения (11), окончательно получим математическую модель для оценки энергетической эффективности функционирования системы ВАДС

$$\mathcal{E}_{\text{эв}} = q_o \cdot \eta_e \cdot \eta_{\text{мп}} \cdot (1 - k_d) \cdot k_6 \cdot k_{\text{пр}}, \quad \% \quad (13)$$

На практике для комплексной оценки энергетической эффективности системы ВАДС в горных условиях строительства ГТС по линейному расходу топлива целесообразно пользоваться выражением

$$\mathcal{E}_{\text{ВАДСQ}} = Q_n / [(1 - k_d) \cdot k_6 \cdot k_{\text{пр}}], \quad \text{л} / 100 \text{ км}, \quad (14)$$

где Q_n – нормативный линейный расход топлива, л/100 км.

Результаты исследования

Комплексные энергетические оценки эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях строительства ГТС, определенные по формуле (13) для различных моделей самосвалов представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Комплексные энергетические оценки эффективности функционирования системы ВАДС
в горных условиях строительства ГТС**

Автомобиль	$q_o, \%$	k_d	η_e	$\eta_{\text{мп}}$	k_6	k_n	$\mathcal{E}_{\text{ВАДС}}, \%$
БелАЗ-7540В	100	0,13–0,12	0,40–	0,80–	0,88–	0,88–	21,6–
			0,45	0,85	0,92	0,90	27,8
SHACMAN-SX3256DR384			0,40–	0,80–	0,86–	0,87–	20,8–
			0,45	0,92	0,90	0,92	30,1
HOWO-336			0,40–	0,80–	0,86–	0,87–	20,8–
			0,45	0,92	0,94	0,93	31,8
Dongfeng DFL 3251A			0,40–	0,80–	0,86–	0,87–	20,8–
			0,45	0,92	0,94	0,93	31,8

Автомобиль	$q_o, \%$	k_d	η_e	η_{mp}	k_e	k_n	$\mathcal{E}_{\text{ВАДС}}, \%$
КамАЗ-5511			0,40– 0,45	0,80– 0,92	0,90– 0,94	0,90– 0,94	23,5– 32,1
МАЗ-5549			0,40– 0,45	0,80– 0,92	0,90– 0,94	0,90– 0,94	23,5– 32,1

Сравнительные оценочные показатели комплексной энергетической эффективности системы ВАДС в горных условиях строительства ГТС по линейному расходу топлива, определенные по формуле (14), представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная оценка комплексной энергетической эффективности системы ВАДС в горных условиях строительства ГТС по линейному расходу топлива

Автомобиль	k_d	k_e	k_n	Линейный расход топлива, л/(100 км)			$\delta Q, \%$
				нормативный $Q_{\text{лн}}$	расчетный $Q_{\text{ВАДСр}}$	опытный $Q_{\text{ВАДСо}}$	
БелАЗ-7540В	0,12–0,13	0,88– 0,92	0,88– 0,90	132,5	189,0	185,8	1,7
SHACMAN-SX3256DR384		0,86– 0,90	0,87– 0,92	81,0	117,5	120,4	2,5
HOWO-336		0,86– 0,94	0,87– 0,93	60,0	84,2	82,3	2,3
Dongfeng DFL 3251A		0,86– 0,94	0,87– 0,93	52,0	73,4	71,3	2,9
КамАЗ-5511		0,90– 0,94	0,90– 0,94	30,0	40,3	39,3	2,5
МАЗ-5549		0,90– 0,94	0,90– 0,94	27,0	36,2	35,2	2,8

По результатам данных, приведенных в табл. 1 и 2 представлены оценочные показатели комплексной энергетической эффективности системы ВАДС в горных условиях строительства ГТС для различных моделей самосвалов (рис. 2 и 3).

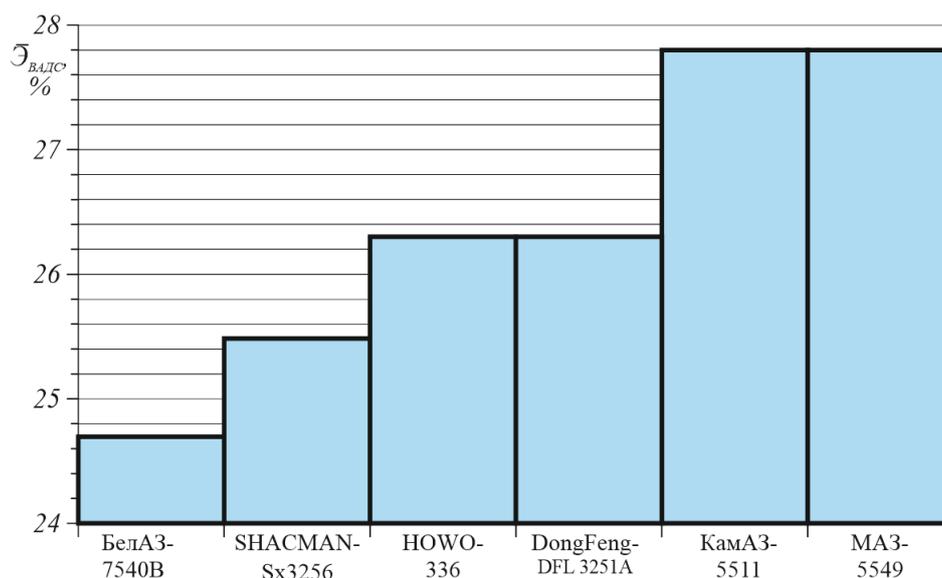


Рис. 2. Комплексная энергетическая эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях для различных моделей самосвалов

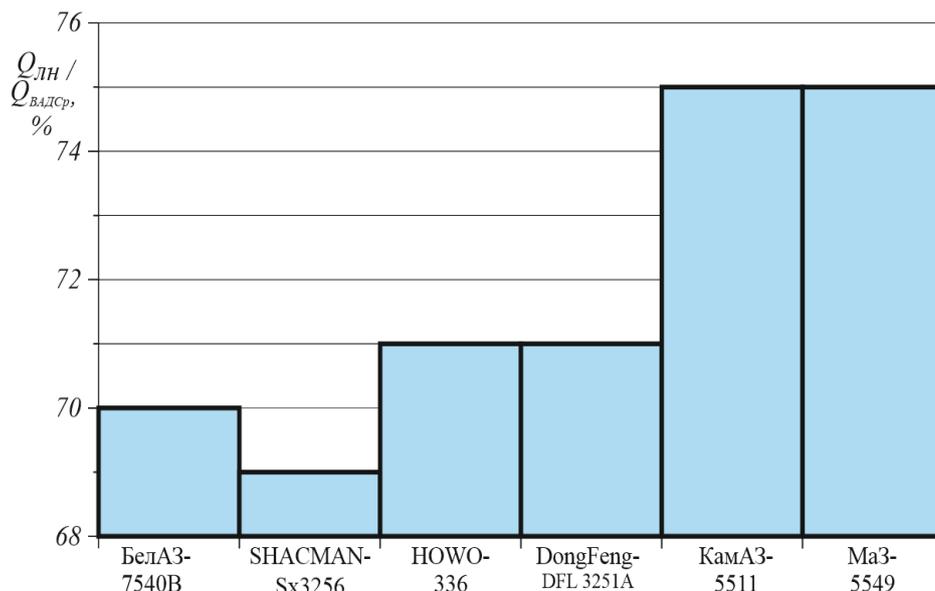


Рис. 3. Энергетическая эффективность функционирования системы ВАДС в горных условиях по расходу топлива для различных моделей самосвалов

Следует отметить, что проведенные до сих пор исследования, связанные с изучением эффективности системы ВАДС, были связаны либо оценкой ее надежности, либо оценкой эффективности функционирования отдельных ее элементов. К тому же подавляющее большинство исследований было направлено на оценку показателей эффективности ДВС или автомобиля. Достаточно много исследований в области оценки показателей автомобильной дороги или же состояния дорожного полотна и ее влияния на эффективность отдельных элементов системы ВАДС, на эффективность грузо- и пассажироперевозок, а также на безопасность дорожного движения. Встречаются исследования взаимодействия отдельных элементов системы ВАДС. На сегодня не существует методики комплексной оценки эффективности функционирования системы ВАДС.

Выводы

1. Систему ВАДС наряду с оценкой эффективности организации дорожного движения можно использовать и для решения вопросов эффективности транспортного процесса.
2. Предложенная энергетическая модель оценки эффективности функционирования системы ВАДС хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований и может быть внедрена в производство при расчетах эффективности транспортного процесса. Относительные расхождения δ между теоретическими и опытными значениями энергетической эффективности системы ВАДС в горных условиях строительства ГТС по линейному расходу топлива варьирует в пределах 1,7–2,9 %.
3. В горных условиях строительства ГТС эффективность функционирования системы ВАДС (с различными грузовыми автомобилями) составляют примерно 21–32 %, что свидетельствует о существовании достаточных резервов повышения ее эффективности в данных условиях.

Литература

1. Вахламов, В.К. Автомобили: теория и конструкция автомобиля и двигателя / В.К. Вахламов – М.: Академия, 2012. – 816 с.
2. Волков, Е.В. Теория движения автомобиля: монография / Е.В. Волков – Хабаровск: ТОГУ, 2018. – 203 с.
3. Песков, В.И. О новой теории движения колесной машины / В.И. Песков // Автомобильная промышленность. – 2020. – № 4. – С. 19–20.
4. Турсунов, А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации: монография / А.А. Турсунов – Душанбе: Ирфон, 2003. – 356 с.

5. Сидяков, В.А. *Карьерные автомобильные дороги: проектирование, строительство, содержание* / В.А. Сидяков, А.Г. Колчанов, Ю.В. Стенин – Москва: Недра, 2011. – 143 с.

6. Степанов, И.С. *Влияние элементов системы водитель–автомобиль–дорога–среда на безопасность дорожного движения: учебное пособие* / И.С. Степанов, Ю.Ю. Покровский, В.В. Ломакин, Ю.Г. Москалева – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 171 с.

7. *Road Safety Review update by using innovative technologies to investigate driver behavior* / G. Navid, A. Ennia, V. Valeria // *Transportation Research Procedia*. – 2020. – Vol. 45. – P. 368–375.

8. *Fabian, D. What makes a good driver on public roads and race tracks? An interview study* / D. Fabian, S. Falk, W. de Joost // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. – 2021. – Vol. 80. – P. 399–423.

9. Колчин, А.И. *Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб пособие для вузов* / А.И. Колчин, В.П. Демидов – М.: Высш. шк., 2008. – 496 с.

10. *Runzhe, H. Virtual Engine In-Cylinder Pressure Sensor for Automobiles and Agricultural Tractors* / H. Runzhe, B. Christian, B. Georg // *IFAC-PapersOnLine*. – 2020. – Vol. 53. Issue 1. – P. 543–548.

11. *Моделирование расхода топлива большегрузными автомобилями в горных условиях эксплуатации* / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, Ш.К. Самиев // *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. – 2020. – № 2 (129). – С. 140–149.

12. *Umirzokov, A.M. Road Fuel Consumption by Dump Truck in Mountain Conditions* / A.M. Umirzokov, K.T. Mambetalin, S.S. Saidullozoda // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. – 2021. – P. 267–277.

13. *How does on-road fuel economy vary with vehicle cumulative mileage and daily use?* *Transportation Research Part D* / L.G. David, L. Jun, J.K. Asad, W. Behram, L.H. Janet, G. Richard // *Transport and Environment*. – 2017. – Vol. 55. – P. 142–161.

14. *Impact of the dual-credit policy on improvements in fuel economy and the production of internal combustion engine vehicles* / L. Gaoxiang, M. Haicheng, F. Tijun, K.Ch. Hing // *Resources, Conservation and Recycling*. – 2020. – Vol. 156. – Number 104712.

15. Дятлов, М.Н., Тодоров, А.Н. *Профессиональная надежность водителя автомобильного транспорта* / Молодой ученый. – 2013. – № 10 (57). – С. 134–138.

16. *Davis, B. Driver's reliability and its effect on road traffic safety* / B. Davis, A. Kairatolla, B. Almagul // *Procedia Computer Science*. – 2019. – Vol. 149. – P. 463–466.

17. *Lina, S.V. Toward a greater understanding of Colombian professional truck drivers' safety performance* / S.V. Lina, J.B. Michael // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. – 2020. – Vol. 73. – P. 188–204.

18. *Еремин, В.М. Концептуальная модель функционирования системы ВАДС как основа компьютерной имитации* / В.М. Еремин // *САПР и ГИС автомобильных дорог*. – 2014, – № 1(2). – С. 90–93.

19. *Frauke, W. Conceptual model of the industry sector in an energy system model: A case study for Denmark* / W. Frauke, B. Mattia // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 203. – P. 427–443.

20. *A conceptual model for persuasive in-vehicle technology to influence tactical level driver behavior*. *Transportation Research Part F* / G. Paul van, F. Haneen, N. Nicole van, A. Bart van // *Traffic Psychology and Behaviour*. – 2019. – Vol. 60. – P. 202–216.

Сайдуллозода Сайвали Сайдулло, аспирант кафедры «Колёсные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, saivali.saidullo@mail.ru

Гаврилов Константин Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Колёсные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, gavrilovkv@susu.ru

Умирзоков Ахмад Маллабоевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», Таджикский технический университет по им. акад. М.С. Осими, ahmad.umirzokov@mail.ru

Уланов Александр Григорович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Колёсные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, danco.ulanov@mail.ru

Поступила в редакцию 12 ноября 2021 г.

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF THE DRIVER-CAR-ROAD-ENVIRONMENT SYSTEM BY ENERGY INDICATORS

S.S. Saydulozoda¹, saivali.saidullo@mail.ru

K.V. Gavrilov¹, gavrilovkv@susu.ru

A.M. Umirzokov², ahmad.umirzokov@mail.ru

A.G. Ulanov¹, danco.ulanov@mail.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² Tajik National University, Dushanbe, Republic of Tajikistan

The driver-car-road-environment (DCRE) system is a large and complex system, the efficiency of which is closely related to significant energy costs. Estimation of energy costs during the operation of the DCRE system and finding reserves for increasing the efficiency of the system remains an important task in the present time. The functioning of the DCRE system is characterized by a change in the parameters and dynamic properties of its constituent elements in a wide range and sometimes in an unpredictable manner. In practice, a partial study of the influence of individual factors or their combinations on the effectiveness of the DCRE system seems to be a rather difficult task. This necessitates a comprehensive energy assessment of the functioning effectiveness of the DCRE system. The studies were carried out in order to assess the efficiency of the DCRE system and develop proposals for identifying reserves to reduce energy and material and technical costs when solving issues related to the efficiency of the transport process in mountainous conditions. Until now, when assessing the effectiveness of the functioning of the DCRE system according to the energy indicator, methods based on assessing the effectiveness of its individual elements have been used. It is advisable to use a systematic approach to solving such problems. The obtained results of the effectiveness of the functioning of the DCRE system indicate the low efficiency of the system in terms of energy indicators, as well as the existing sufficiently wide possibilities and ways to increase its efficiency. The proposed mathematical models for assessing the energy efficiency of the functioning of the DCRE system in relative units, as well as in quantitative terms (in terms of linear fuel consumption) are sufficiently adequate for practical purposes. The article proposes a mathematical model for a comprehensive energy assessment of the efficiency of the DCRE system by linear fuel consumption. The research results can be introduced into production when calculating the efficiency of the transport process.

Keywords: DCRE system, efficiency, driver, car, career road, environment.

References

1. Vahlamov V.K. *Avtomobili: teoriya i konstrukciya avtomobilya i dvigatelya*. [Automobiles: theory and design of the car and engine] Moscow: Akademiya, 2012. 816 p.
2. Volkov E.V. *Teoriya dvizheniya avtomobilya: monografiya*. [The theory of vehicle motion: monograph]. Khabarovsk: TOGU, 2018. 203 p.
3. Peskov V.I. [On the New Theory of Motion of a Wheeled Vehicle]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. [Automotive industry], 2020, no 4. pp. 19–20. (in Russ.)
4. Tursunov A.A. *Upravlenie rabotosposobnost'yu avtomobilej v gornyh usloviyah ekspluatatsii: monografiya*. [Vehicle performance management in mountainous operating conditions: monograph] Dushanbe: Irfon, 2003. 356 p.
5. Sidiyakov V.A., Kolchanov A.G., Stenin YU.V. *Kar'ernye avtomobil'nye dorogi: proektirovanie, stroitel'stvo, sodержание* [Career highways: design, construction, maintenance] Moscow, Nedra, 2011. 143 p.
6. Stepanov I.S., Pokrovskij Yu.Yu., Lomakin V.V., Moskaleva Yu.G. *Vliyanie elementov sistemy voditel'-avtomobil'-doroga-sreda na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: uchebnoe posobie* [Influence of the elements of the driver-car-road-environment system on road safety: textbook] Moscow, MG TU "MAMI", 2011. 171 p.

Краткие сообщения

7. Navid G., Ennia A., Valeria V., Claudio L., Andrea S., Hocine I. Road Safety Review update by using innovative technologies to investigate driver behavior / *Transportation Research Procedia*. 2020. vol. 45. pp. 368–375.
8. Fabian D., Falk S., Joost de W. What makes a good driver on public roads and race tracks? An interview study *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2021. Vol. 80. pp. 399–423.
9. Kolchin A.I., Demidov, V.P. *Raschet avtomobil'nyh i traktornyh dvigatelej: Ucheb posobie dlya vuzov* [Calculation of automobile and tractor engines: textbook for universities] Moscow, Hight shkool, 2008. 496 p.
10. Runzhe H., Christian B., Georg B. Virtual Engine In-Cylinder Pressure Sensor for Automobiles and Agricultural Tractors *IFAC-PapersOnLine*. 2020. vol. 53. Issue 1. pp. 543–548.
11. Umirzokov A.M., Mambetalin K.T. Sajdulozoda S.S., Samiev Sh.K. [Modeling of Fuel Consumption by Heavy Vehicles in Mountainous Operating Conditions] *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. [Proceedings of NSTU im. R.E. Alekseeva.] 2020. no 2 (129). pp. 140–149. (in Russ)
12. Umirzokov A.M., Mambetalin K.T., Saidullozoda S.S. Road Fuel Consumption by Dump Truck in Mountain Conditions *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2021. pp. 267–277.
13. David L.G., Jun L., Asad J.K., Behram W., Janet L.H., Richard G. How does on-road fuel economy vary with vehicle cumulative mileage and daily use? *Transportation Research Part D. Transport and Environment*. 2017. vol. 55. pp. 142–161.
14. Gaoxiang L., Haicheng M., Tijun F., Hing K.Ch. Impact of the dual-credit policy on improvements in fuel economy and the production of internal combustion engine vehicles / *Resources, Conservation and Recycling*. – 2020. – vol. 156, no. 104712.
15. Dyatlov M.N., Todorov A.N. [Professional Reliability of a Road Transport Driver]. *Molodoj uchenyj*. [Young scientist] 2013. no 10 (57). pp. 134–138. (in Russ).
16. Davis B., Kairatolla A., Almagul B. Driver's reliability and its effect on road traffic safety. *Procedia Computer Science*. 2019. vol. 149. pp. 463–466.
17. Lina S.V., Michael J.B. Toward a greater understanding of Colombian professional truck drivers' safety performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2020. vol. 73. pp. 188–204.
18. Eremin V.M. [Conceptual model of the VADS system functioning as a basis for computer simulation] *SAPR i GIS avtomobil'nyh dorog*. [CAD and GIS of highways] 2014, no 1(2). pp. 90–93. (in Russ).
19. Frauke W., Mattia B. Conceptual model of the industry sector in an energy system model: A case study for Denmark *Journal of Cleaner Production*. 2018. vol. 203. pp. 427–443.
20. Paul van G., Haneen F., Nicole van N., Bart van A. A conceptual model for persuasive in-vehicle technology to influence tactical level driver behavior. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*. 2019. vol. 60. pp. 202–216.

Received 12 November 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Оценка эффективности функционирования системы водитель–автомобиль–дорога–среда по энергетическим показателям / С.С. Сайдуллозода, К.В. Гаврилов, А.М. Умирзоков, А.Г. Уланов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 61–70. DOI: 10.14529/engin210406

FOR CITATION

Saydulozoda S.S., Gavrilov K.V., Umirzokov A.M., Ulanov A.G. Estimation of the Efficiency of Functioning of the Driver–Car–Road–Environment System by Energy Indicators. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 61–70. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin210406
