

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ ЗА СЧЁТ ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ

Е. Е. Кузнецов¹, С. В. Щитов², З. Ф. Кривуца³

Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

¹e-mail: ji.tor@mail.ru

²e-mail: shitov.sv1955@mail.ru

³e-mail: zfk20091 @rambler.ru

Аннотация. Как известно, между скоростными характеристиками движения, производительностью и расходом топлива автомобиля существует определённая взаимосвязь. При этом в ходе выполнения каждой транспортной операции следует определить приоритетности при её выполнении, то есть то, что является наиболее важным для поставщика транспортной услуги – сроки выполнения транспортной операции или минимальная величина совокупных затрат на единицу работы, при этом в планировании транспортной операции необходимо учитывать, что эффективность использования автомобильного транспорта также зависит и от показателей «энергетической рентабельности», или EROEI (Energy return on energy invested).

Таким образом, целью предлагаемой работы являются комплексные исследования взаимосвязей показателей «энергетической рентабельности» и совокупности взаимодействующих эксплуатационных факторов, влияющих на эффективность использования транспортных средств и обоснование математических решений, способствующих упрощению расчётных механизмов при планировании транспортных операций. Актуальность исследований обоснована необходимостью развития современных знаний о применении универсальных энергетических эквивалентов при расчёте затрат на выполнение транспортной перевозки. Новизна проводимых исследований заключается в применении универсальных энергетических эквивалентов в экономических расчётах, что позволит на ранних этапах планирования транспортных операций и логистических схем сформировать перспективный расчёт их эффективности.

При проведении исследований за основу были взяты методика, разработанная Всероссийским научно-исследовательским институтом механизации (ВИМ), позволяющая провести анализ взаимодействующих критериев, формирующих рентабельность и используемых при расчёте эффективности автомобильного транспорта на перевозке сельскохозяйственных грузов.

В статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению факторов влияния величины «энергетической рентабельности» «Energy return on energy invested» (EROEI) на эксплуатационные показатели автомобилей при транспортном обеспечении агропромышленного комплекса.

Установлено, что на величину энергетической рентабельности влияют скорость движения и длина пробега транспортного средства. Проведенные экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации подтвердили сделанные ранее эмпирические выводы и полученные теоретические результаты.

Представленные результаты и рекомендации позволят упростить и актуализировать экономические расчёты транспортных операций и несомненно будут востребованы как в агропромышленном, так и в автотранспортном комплексе страны.

Ключевые слова: транспортное средство, энергетическая рентабельность, финансовые затраты, скорость движения, длина пробега, эффективность.

Для цитирования: Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Кривуца З. Ф. Повышение эффективности перевозки грузов автомобильным транспортом за счёт оптимизации скоростных характеристик движения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 3. – С. 119–125. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-3-119.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF CARGO TRANSPORTATION BY OPTIMIZATION OF SPEED CHARACTERISTICS OF MOVEMENT

E. E. Kuznetsov¹, S. V. Shchitov², Z. F. Kryvutca³

Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

¹e-mail: ji.tor@mail.ru

²e-mail: shitov.sv1955@mail.ru

³e-mail: zfk20091 @rambler.ru

Abstract. *As you know, there is a certain relationship between the speed characteristics of traffic, performance and fuel consumption of the car. At the same time, during each transport operation, it is necessary to prioritize its implementation, that is, what is most important for the transport service provider – the timing of the transport operation or the minimum value total unit costs, that the efficiency of road transport also depends on energy profitability, or EROEI (Energy return on energy invested).*

The research was based on a methodology developed by the All-Russian Research Institute for Mechanization (VIM), allowing analysis of the interacting criteria that generate profitability and are used in calculating the efficiency of road transport on the transport of agricultural goods.

The article presents the results of theoretical and experimental studies to determine the factors of the impact of energy profitability «Energy return on energy invested» (EROEI) on the performance of cars with the transport of the agro-industrial complex.

The novelty of the research is the application of universal energy equivalents in economic calculations, that will allow early planning of transport operations and logistics schemes to form a forward-looking calculation of their effectiveness.

It has been established that the amount of energy profitability is influenced by the speed of movement and the length of the vehicle's mileage. Experimental studies conducted in real-world conditions of operation confirmed the empirical conclusions and theoretical results obtained.

The presented results and recommendations will simplify and update the economic calculations of transport operations and will undoubtedly be in demand in both the agro-industrial and transport complex of the country.

Keywords: *vehicle, energy profitability, financial costs, speed of mileage, efficiency.*

Cite as: Kuznetsov, E. E., Shchitov, S. V., Krivutsa, Z. F. (2020) [Improving the efficiency of cargo transportation by optimization of speed characteristics of movement]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 3, pp. 119–125. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-3-119.

Введение

Повышение эффективности использования автомобильного парка во многом определяется величиной затрат на единицу выполненной работы. При этом необходимо отметить, что при анализе и оценке выполненных работ [5, 8] за какой-то обозначенный промежуток времени, процесс расчёта не всегда удастся сделать объективно в силу определённых причин. Сложность заключается в том, что в течение даже небольшого количества времени происходит постоянное изменение ценовых параметров [1, 2]. Исключить данный недостаток возможно за счет использования независимого критерия, который позволит оценить эффективность использования автотранспорта в независимости от времени проведения оценки и ценовых показателей.

Данный показатель не должен быть зависим от колебания рыночных цен на составляющие транспортного процесса [4, 6, 9]. Логично, что любая работа должна приносить доход. Иными словами, полученная выручка должна быть больше, чем полная себестоимость выполненных работ. Про-

центное отношение этой разности можно назвать рентабельностью перевозочного процесса или рентабельностью продажи транспортной услуги. Применительно к автомобильному транспорту, помимо денежного дохода, должно быть выгодно и энергетически, при этом необходимо учитывать все виды выполненных работ, то есть затраты энергии на погрузку, транспортировку и выгрузку груза должны быть меньше объёмов энергии, получаемой от доставки груза потребителю (при применении метода выражения стоимости услуг и объектов через энергетический эквивалент в виде единицы условного топлива) [7, 14, 15].

С целью проверки обозначенной гипотезы были проведены исследования на основе использования автотранспортных средств в агропромышленном комплексе Амурской области [12, 13]. В статье приводятся результаты многолетних исследований по повышению эффективности использования транспортных средств при рациональной оптимизации скорости движения, где в качестве критерия оценки взята «энергетическая рентабельность», или EROEI (Energy return on energy invested) [10, 11].

Материалы и методы

При исследованиях за основу были взяты методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, разработанная Всероссийским научно-исследовательским институтом механизации (ВИМ), позволяющая провести анализ взаимодействующих критериев, формирующих рентабельность и используемых при расчёте эффективности автомобильного транспорта на перевозке грузов [3, 8]¹. Предложенная методика позволяет учитывать все виды затрат, как прямые, так и косвенные, что особенно важно при детальном анализе транспортных процессов. Использование данной методики, в процессе проводимых исследований, позволило разработать частные методические приёмы, которые предоставляют возможность установить влияние скорости движения автотранспортного средства на величину его затрат.

Использование комплексно-системного подхода позволило всестороннее рассмотреть процесс повышения эффективности использования транспортных средств с учетом реальных взаимосвязей системообразующих параметров [8]. В теоретических исследованиях использованы методы и законы прикладной механики, математики, теории статистики и вероятности, экономико-математического моделирования.

Экспериментальные исследования проводились в реальных условиях эксплуатации автомобильного транспорта с использованием современного бортового измерительного комплекса, средств позиционирования GPS и ГЛОНАСС. Результаты исследований обрабатывались с помощью методов математической статистики в специализированных программах Mathcad и SigmaPlot v.11.0.

Теория

Основной коммерческой целью использования автотранспорта является извлечение дохода (прибыли). Что неразрывно связано с понятием «рентабельность», то есть процентным выражением разности между выручкой (доходом) от проделанной работы (перевозки) Π_n , руб. и полной стоимостью данной работы (перевозки), Π_n , руб.

$$P_n = \frac{\Pi_n}{\Pi_n} \times 100\%. \quad (1)$$

Применительно к автомобильному транспорту, в схеме рентабельности, помимо полученного денежного дохода от выполненной работы по доставке груза, должна быть получена и выгода по энергетическим затратам, то есть «энергетическая рентабельность» или EROEI (Energy return on energy invested). Применительно к автомобильному

транспорту это соотношение может быть выражено уравнением:

$$EROEI = \frac{Э_n}{Э_d}, \quad (2)$$

где

$Э_n$ – эквивалент энергии, полученный от доставки груза в виде дохода, МДж;

$Э_d$ – эквивалент энергии, затраченной на доставку груза, МДж.

В общем случае эквивалент энергии $Э_d$, затраченной на доставку груза можно определить, используя в качестве критерия оценки нефтяной эквивалент по формуле:

$$Э_d = Э_m + Э_l + Э_v, \quad (3)$$

где

$Э_m$ – энергия содержащаяся в израсходованном топливе, на 1 т. км, МДж, с учётом характеристик скорости, времени и интенсивности движения;

$Э_l$ – энергия затраченная водителем и вспомогательным персоналом на 1 т. км, МДж;

$Э_v$ – энергия необходимая на реновацию, ТО и ТР подвижного состава на 1 т. км., МДж., $Э_p$ – эквивалент энергии, полученный в виде дохода, выраженный через содержание энергии в условном топливе.

В нашем случае $Э_p$ может быть найден по формуле

$$\frac{\text{доход, полученный от услуги}}{\text{стоимость 1 кг. условного топлива}} \times$$

\times теплота сгорания условного топлива (29,30 МДж/кг)

Данный показатель EROEI позволяет оценить эффективность работы автомобильного транспорта. В случае, когда $EROEI = 1$ проделанная работа по доставке груза по сути нерентабельна, при значении $EROEI < 1$ работа по доставке груза является убыточной и потому неприемлемой. В случае когда $EROEI > 1$ работа по доставке груза является эффективной.

Таким образом EROEI является критерием, который достаточно прозрачно характеризует эффективность работы автомобильного транспорта. Очевидно, что чем выше EROEI, тем эффективнее работа автомобильного транспорта.

С целью обоснования эффективности использования автомобильного транспорта и зависимости рентабельности от скорости движения были проведены теоретические исследования, проведены математические преобразования и в работах [12, 13] получена формула, позволяющая определить влияние скорости и интенсивности движения на величину

¹ Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. – М.: ВИМ, 1995. – 96 с.

ну EROEI в зависимости от известных эксплуатационных параметров:

$$EROEI = \frac{\text{Эп}}{0,02(\alpha_m + f_m) \cdot G \cdot Z_e \cdot l_{re} \cdot \rho + n_{ч} \cdot \alpha_{ж} \cdot T_n + 2E_a \cdot Z_e \cdot l_{re}} \quad (4)$$

$$Z_e q \gamma$$

где

- α_m, f_m – энергетические параметры топлива, МДж/кг;
- G – основной расход топлива, л/100 км;
- Z_e – число ездов, шт.;
- ρ – плотность топлива, кг/л;
- T_n – времени пребывания в наряде, ч;
- E_a – энергоёмкость автомобиля, МДж/км;
- l_{re} – длина плеча подвоза, км., q – грузоподъёмность транспортного средства, т;
- γ – коэффициент использования грузоподъёмности, $\alpha_{ж}$ – энергетический эквивалент живого труда, МДж/кг.

Полученная зависимость (4) позволяет оценить эффективность работы автомобильного транспорта в зависимости от скорости и интенсивности движения, а соответственно расхода топлива и времени выполнения операции. В ходе исследований установлено, что повышение скорости движения будет эффективно только в том случае, если оно сопровождается ростом производительности автомобиля.

Результаты и обсуждение

Согласно проведенным ранее исследованиям, с увеличением скорости движения транспортного средства величина Эд снижается по гиперболической

зависимости. Для формирования графических моделей, используя формулу (4) и полученные экспериментальные данные для построения графиков применяем методы факторной обработки, целью которых является получение четких математических зависимостей на основе результатов эксперимента. Далее натуральные значения результатов были закодированы, при этом натуральные значения кодируются согласно формулы кодировки. Впоследствии выведены коэффициенты регрессии и проверены по критерию Стьюдента. После проверки на адекватность по критерию Фишера, проводим обратную раскодировку уравнения.

Так как нами исследуется 3 фактора, один берем с цифровым значением. Получается уравнение в двумя факторами. Строятся 3D графики, далее, вместо второго фактора ставим численное значение и таким образом получаем график, представленный на рисунке 2, где построена зависимость Эд = f(V, l) (скорость-длина пробега), с учетом адаптации автомобиля КАМАЗ-45143-776012-42 с прицепом НЕФАЗ-8560-02 к внешним условиям эксплуатации по критерию расхода топлива (рисунок 1), а также номограмма для практического применения при проведении расчётов величин энергозатрат (рисунок 2).

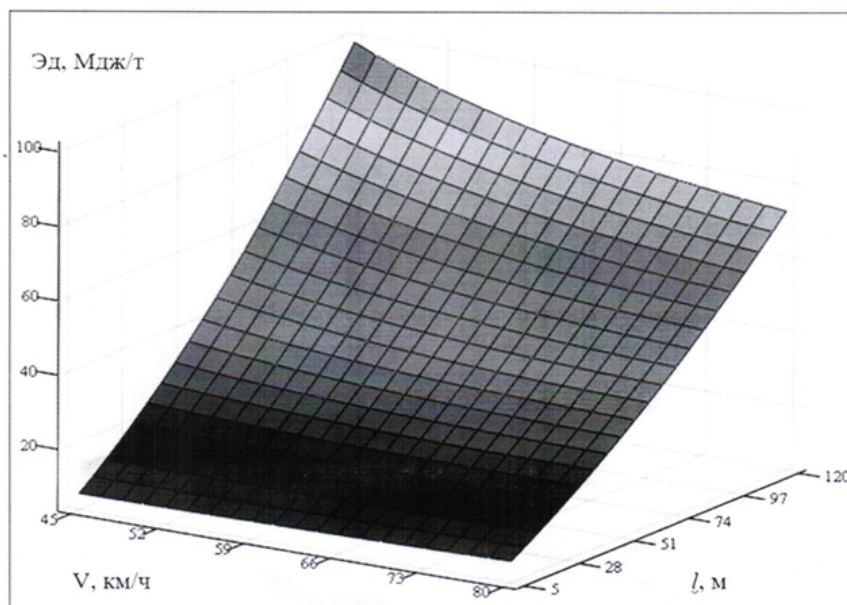


Рисунок 1. Влияние скорости движения транспортного средства и длины пробега на величину Эд

Анализ представленной зависимости (рисунок 1) позволяет сделать вывод о большей степени влияния критерия величины длины пробега на

величину Эд, чем критерия увеличения скорости движения.

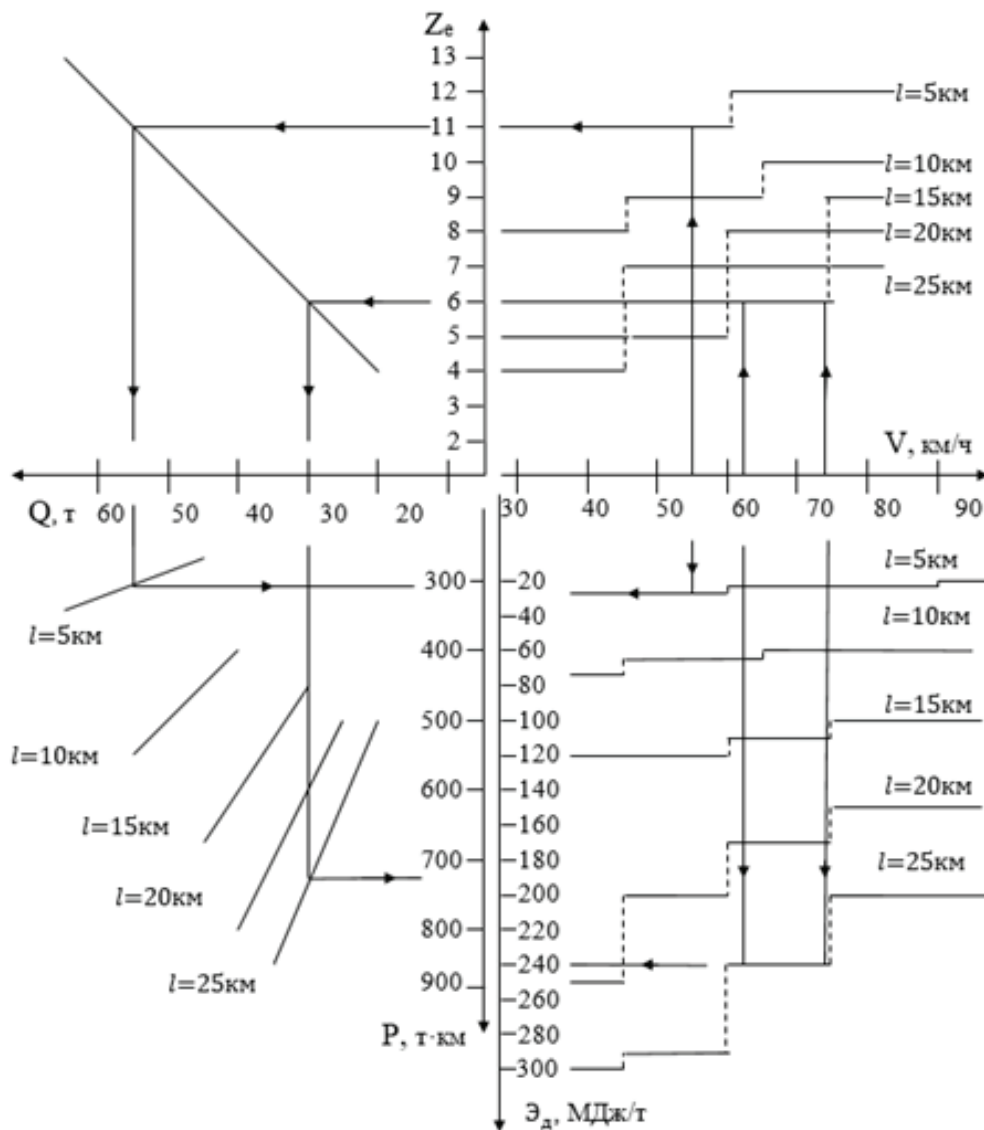


Рисунок 2. Номограмма для определения влияния количества перевозимого груза (Q), выполненной транспортной работы (P) и скорости движения (V) на энергетические затраты (Э_d)

При использовании номограммы методом простых геометрических операций, в частности использованием чертёжного инструмента, в нашем случае возможно применение математической линейки, существует прикладная возможность исследования представленных на номограмме зависимостей. Для этого линейка прикладывается к обозначению нужной эксплуатационной характеристики согласно направления стрелки и в месте её пересечения с графической осью находится нужный результат. Таким образом, номограмма является рациональным прикладным инструментом расчёта и исследования экспериментальных характеристик опытового объекта.

Заключение

В результате исследований экспериментально

установлено влияние расстояния грузовой ездки и скорости движения автомобиля на величину Э_d . Представленная номограмма показывает, что при увеличении скорости движения в диапазоне 45–50 км/ч снижение величины Э_d составляет 5,1%, а в диапазоне 80–85 км/ч на 0,7%. Таким образом, увеличение скорости движения при небольшой длине пробега в диапазоне малых скоростей приводит к большей степени снижения величины Э_d , чем при более высоких скоростях движения.

Полученные данные соответствуют теоретическим предпосылкам и позволяют провести энергетический расчёт при планировании и выполнении транспортных операций, а предложенные инструменты расчёта несомненно будут востребованы при ведении экономической и хозяйственной деятельности.

Литература

1. Алдошин Н. В. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов / Н. В. Алдошин, А. С. Пехутов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 4. – С. 26–27.
2. Алдошин Н. В. Стабильность технологических процессов в растениеводстве / Н. В. Алдошин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 3. – С. 5–7.
3. Асманкин Е. М. К вопросу развития энергосберегающих технологий в АПК / Е. М. Асманкин, С. В. Юмакаева, М. Б. Фомин, А. Ж. Балмугамбетова // Известия ОГАУ. – 2012. – № 2. – С. 77–79.
4. Гуськов Ю. А. Рациональные технологические схемы и технические средства для сбора и транспортировки грубых кормов: монография / Ю. А. Гуськов. – Новосибирск, 2006. – 150 с.
5. Измайлов А. Ю. Повышение уровня использования транспорта в сельском хозяйстве / А. Ю. Измайлов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 2. – С. 8–10.
6. Иофинов С. А. Эксплуатация тракторов и автомобилей на транспортных работах в сельском хозяйстве / С. А. Иофинов, А. А. Цырин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос, 1975. – 228 с.
7. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: монография. ДальГАУ–Благовещенск, 2017. – 272 с.
8. Николин В. И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов / В. И. Николин. – М.: Транспорт, 1990. – 192 с.
9. An Overview of China's Transport Sector, 2007.EASTE Working Paper, 15, World Bank, Washington DC.
10. Bulinski, J. Effect of moisture content in soil on its compaction caused by multiple running of agricultural vehicles / J. Bulinski, H. Niemczyk // Ann. Warsaw Agr. Univ. Agr. – 2007. – № 50. – P. 3–8.
11. Charles Hall «Why EROI matters» // The Oil Drum.: <http://www.theoil Drum.com/node/3786> (дата обращения 04.02.2020).
12. Increasing the Efficiency of Transport and Technological Complexes Used in Crop Harvesting/ S. V. Shchitov, Z. F. Krivuca, Yu. B. Kurkov, A. V. Burmaga, E. E. Kuznetsov, O. P. Mitrokhina, E. V. Popova// Journal of Engineering and Applied Sciences, Year: 2018, Voiume: 13, Issue: 16. DOL: 10.3923/jeasci.2018.6512.65. URL: <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/jeasci/2018/6850-6854.pdf> (дата обращения: 15.01.2020).
13. Improvement of efficiency of use of wheeled transport vehicles in the agro-industrial complex// S. V. Shchitov., Z. F. Krivutsa, E. E. Kuznetsov // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems (JARDCS) ISSN: 1943-023X, 13-Special Issue, 2018, pp. 707–714 <http://www.jardcs.org/abstract.php?archiveid=6036> (дата обращения: 15.01.2020).
14. Janić, Milan. Advanced Transport Systems: Analysis, Modeling, and Evaluation of Performances, 2014. – 408 p.
15. Jordan, Carl F. An Ecosystem Approach to Sustainable Agriculture. Energy Use Efficiency in the American South: Series: Environmental Challenges and Solutions, Vol. 1, 2013. – 247 p.

References

1. Aldoshin, N. V. (2012) [Increased productivity in the transportation of agricultural goods]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture]. Vol. 4, pp. 26–27. (In Russ.).
2. Aldoshin, N. V. (2007) [Stability of technological processes in crop production]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture]. Vol. 3, pp. 5–7. (In Russ.).
3. Asmankin, E. M. (2012) [To the development of energy-saving technologies in the APC]. *Izvestia OGAU* [News of the OGAU]. Vol. 2, pp. 77–79. (In Russ.).
4. Guskov, Y. A. (2006) *Ratsional'nyye tekhnologicheskiye skhemy i tekhnicheskiye sredstva dlya sbora i transportirovki grubyykh kormov: monografiya* [Rational technological schemes and technical means for collecting and transporting coarse feeds: monograph]. Novosibirsk, 150 p.
5. Izmaylov, A. Y. (2006) [Increased use of transport in agriculture]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve* [Agricultural technology]. Vol. 2, pp. 8–10. (In Russ.).
6. Iofinov, S. A. (1975) *Ekspluatatsiya traktorov i avtomobiley na transportnykh rabotakh v sel'skom khozyaystve* [Exploitation of tractors and cars on transport works in agriculture]. Leningrad: Kolos, 228 p.
7. Kuznetsov, E. E., Schitov, S. V. (2017) *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: monografiya*. [Increasing the efficiency of the use of mobile energy in crop cultivation technology: Monograph]. Dalgau-Blagoveschensk, 272 s.
8. Nicolin, V. I. (1990) *Avtotransportnyy protsess i optimizatsiya yego elementov* [Motor ingbusiness and optimization of its elements]. Moscow: Transport, 192 p.

9. An Overview of China's Transport Sector, 2007. EASTE Working Paper, 15, World Bank, Washington DC.
10. Bulinski, J. (2007) Effect of moisture content in soil on its compaction caused by multiple running of agricultural vehicles. *Ann. Warsaw Agr. Univ. Agr.* Vol. 50, pp. 3–8. (In Engl.).
11. Charles Hall «Why EROI matters». The Oil Drum. Available at: <http://www.theoil Drum.com/node/3786> (accessed 4.02.2020) (In Engl.).
12. Increasing the Efficiency of Transport and Technological Complexes Used in Crop Harvesting / S. V. Shchitov, Z. F. Krivutsa, Yu. B. Kurkov, A. V. Burmaga, E. E. Kuznetsov, O. P. Mitrokhina, E. V. Popova // *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Year: 2018, Volume:13, Issue:16. Available at: <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/jeasci/2018/6850-6854.pdf> (accessed 15.01.2020).
13. Improvement of efficiency of use of wheeled transport vehicles in the agro-industrial complex // S. V. Shchitov, Z. F. Krivutsa, E. E. Kuznetsov // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems (JARDCS)*, 13-Special Issue, 2018, pp. 707–714 Available at: <http://www.jardcs.org/abstract.php?archiveid=6036> (accessed 15.01.2020).
14. Janić, Milan. (2014) *Advanced Transport Systems: Analysis, Modeling, and Evaluation of Performances*, 408 p.
15. Jordan, Carl F. (2013) *An Ecosystem Approach to Sustainable Agriculture. Energy Use Efficiency in the American South: Series: Environmental Challenges and Solutions*, Vol. 1, 247 p.

Информация об авторах:

Евгений Евгеньевич Кузнецов, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов, Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

ORCID ID: 0000-0003-0725-4444

e-mail: ji.tor@mail.ru

Сергей Васильевич Шитов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортно-энергетических средств и механизации агропромышленного комплекса, Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

e-mail: shitov.sv1955@mail.ru

Зоя Фёдоровна Кривуца, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры транспортно-энергетических средств и механизации агропромышленного комплекса, Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия

e-mail: zfk20091@rambler.ru

Статья поступила в редакцию: 31.01.2020; принята в печать: 28.04.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Evgeny Evgenievich Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Department of Operation and Repair of Transport-Technological Machines and Complexes, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

ORCID ID: 0000-0003-0725-4444

e-mail: ji.tor@mail.ru

Sergey Vasilievich Shchitov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Department of Transport and Energy Facilities and Mechanization of the Agro-Industrial Complex, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

e-mail: shitov.sv1955@mail.ru

Zoya Fedorovna Krivutsa, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Transport and Energy Facilities and Mechanization of the Agro-Industrial Complex, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia

e-mail: zfk20091@rambler.ru

The paper was submitted: 31.01.2020.

Accepted for publication: 28.04.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.