

УДК 631.372:629.114.2
ГРНТИ 68.85.87; 55.57.37

<http://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-14063>

Щитов С.В., д-р техн. наук, проф.;
Кривуца З.Ф., д-р техн. наук, доц.;
Кузнецов Е. Е., д-р техн. наук, доц.;
Евдокимов В. Г., д-р техн. наук, проф.;
Щегорец О.В., д-р с.-х. наук, проф.;
Курков Ю.Б., д-р. т. наук, проф.;
Двойнова Н. Ф., канд. с.-х. наук, доц.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ТРАНСПОРТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

© Щитов С.В., Кривуца З.Ф., Кузнецов Е.Е., Евдокимов В.Г.,
Щегорец О.В., Курков Ю.Б., Двойнова Н.Ф., 2020

Резюме. Эффективность операций транспортно-производственного процесса зависит от взаимосоглашенной работы автомобильного транспорта, уборочных машин и функционирования приемных пунктов. Степень приспособленности выполнять поставленные перед ними функции позволяет дать оценку эффективности использования автомобильного транспорта при транспортировке грузов по схеме «поле-элеватор». Одним из критериев оценки эффективности работы автомобильного транспорта являются полные удельные энергозатраты. Внедрение разработанных рекомендаций с учетом моделирования грузопотоков дает возможность уменьшить энергетические затраты при транспортировке сельскохозяйственных грузов с учетом размещения производственных объектов, с которыми эти грузопотоки связаны.

Ключевые слова: транспортное средство, комбайн, энергозатраты, цикл, процесс, эффективность.

UDC 631.372:629.114.2

<http://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-14063>

S.V. Shchitov, Dr Tech. Sci., Professor;
Z.F. Krivutsa, Dr Tech. Sci., Associate Professor;
E.E. Kuznetsov, Dr Tech. Sci., Associate Professor;
V.G. Evdokimov, Dr Tech. Sci., Professor;
O.V. Shchegorets, Dr Agr. Sci., Professor;
Yu. B. Kurkov, Dr Tech. Sci., Professor;
N.F. Dvoynova, Cand. Agr. Sci., Associate Professor

OPTIMIZATION OF ENERGY COST OF TRANSPORTATION AND PRODUCTION PROCESS

Abstract. The efficiency of transport and production operations depends on the mutually agreed work of road transport, harvesting machines and functioning of reception points. The degree of adaptability to perform the functions assigned to them allows you to assess the efficiency of using road transport in transporting goods according to the “field-elevator” scheme. One of the criteria for assessing the efficiency of road transport is full energy cost per unit. The introduction of this research recommendations, taking into account the modeling of cargo flows, makes it possible to reduce energy cost during the transportation of agricultural goods, taking into account the location of production facilities with which these cargo flows are associated.

Key words: vehicle, combine harvester, energy cost, cycle, process, efficiency.

Введение. Одним из важнейших условий повышения рентабельности транспортно-производственного процесса является разработка и внедрение оптимальных критериев управления

энергетическими потоками при перевозке сельскохозяйственных грузов. Для реализации такого подхода необходимо обеспечить сокращение длительности выполнения процесса как за

счет механизации операций, так и за счет совершенствования технологических линий, в том числе путем определенного совмещения во времени технологических, перевозочных и перегрузочных операций. Синхронность операций транспортно-производственного процесса, отличающихся своей продолжительностью и неоднородностью, позволит обеспечить бесперебойную работу комбайнов и транспорта и, как следствие, минимизировать энергетические затраты [1-2,5,6].

Условия и методы исследования. При работе нескольких машин на каждой операции продолжительность цикла транспортно-производственного процесса определяют групповые циклы [7]

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{nij} \rightarrow \min \Leftrightarrow \tau_{сгр} \rightarrow \max \Leftrightarrow T_{ц} = \sum_{k=1}^K t_{цбгр} + \sum_{i=1}^I t_{цтргр} - \tau_{сгр} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где K – число комбайнов, I – число автомобилей

Исследуем пути снижения удельного расхода энергии транспортного средства, обслуживающего зерноуборочный комбайн при ритмичности транспортно-производственного процесса за счет синхронности операций, которая обуславливается согласованностью такта каждой операции расчетному такту процесса.

$$E_{п} = \frac{(\alpha_m + f_m) \cdot G \cdot Z_e \cdot l_{ге} \cdot \rho \cdot N_y \cdot t_{цтр}}{50q\gamma T_n} + \frac{n_{ч} \cdot a_{ж} \cdot T_n \cdot N_y \cdot t_{цтргр}}{q\gamma T_n} + \frac{2E_a \cdot Z_e \cdot l_{ге} \cdot N_y \cdot t_{цтр}}{q\gamma T_n} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $l_{ге}$ – расстояние груженой ездки длина, км; N_y – урожайности убираемой культуры, ц/га; T_n – времени пребывания в наряде, ч; q – грузоподъемность транспортного средства, т; γ – коэффициент использования грузоподъемности

Результаты исследований. Для определения эффективности использования транспортных средств в хозяйствах Амурской области проведена энергетическая оценка транспортных работ в зависимости от протяженности груженой ездки до пункта выгрузки при многопозиционном уборочно-транспортном процессе.

При организации многопозиционного однопоточного с одноразовой разгрузкой бункера комбайна в каждый автомобиль уборочно-транспортного процесса, учитывая формулу (1), продолжительность цикла определяется выражением

Таким образом, подставляя выражение из равенства (5) в формулу (3), определяем минимальное значение удельного расхода энергии при работе автомобиля на единицу перевозимого груза при многопозиционном однопоточном транспортно-производственном процессе, с одноразовой выгрузкой бункера комбайна в каждый автомобиль

$$E_{п} = \left(\frac{(\alpha_m + f_m) \cdot G \cdot l_{ге} \cdot Z \cdot \rho}{50} + n_{ч} \cdot a_{ж} \cdot T_n + E_a \cdot L \cdot Z \right) \cdot N_y \frac{\frac{K\varepsilon_6\gamma_6}{W_6} + (K-1)t_{пер} + \frac{l_{ге}}{\beta V_T} + t_p}{q\gamma T_n} \rightarrow \min; \quad (6)$$

$$T_{ц} = t_{цбгр} + t_{цтргр} - \tau_{сгр}. \quad (1)$$

где $T_{ц}$ – время группового цикла, ч; $t_{цбгр}$ – время базового группового цикла, ч; $t_{цтргр}$ – время транспортного группового цикла, ч; $\tau_{сгр}$ – время совмещения элементарных групповых циклов, ч.

Наибольшее сокращение продолжительности транспортно-производственного процесса за счет максимального совмещения базового и транспортного циклов позволит значительно уменьшить энергетические затраты транспортных средств. Таким образом, удельный расход энергии при работе средств механизации на единицу перерабатываемого материала стремится к минимальному значению при условии

Учитывая работы [3,4], минимальный удельный расход энергии транспортного средства при обслуживании комбайнов с учетом эксплуатационных показателей и времени транспортного цикла определяется выражением

$$T_{ц} = t_{цбгр} + t_{цтр} - \tau_{сгр}, \quad (4)$$

время транспортного группового цикла

$$t_{цтргр} = \frac{K\varepsilon_6\gamma_6}{W_6} + (K-1)t_{пер} + \frac{l_{ге}}{\beta V_T} + t_p, \quad (5)$$

где $t_{пер}$ – время переездов транспортного средства при обслуживании комбайнов, ч; t_p – время разгрузки транспортного средства, ч; W_6 – производительность выгрузочного транспортера бункера, т/ч; $\varepsilon_6\gamma_6$ – фактическая грузоподъемность бункера комбайна, т; K – количество транспортных средств, ед.

мого груза при многопозиционном однопоточном транспортно-производственном процессе, с одноразовой выгрузкой бункера комбайна в каждый автомобиль

при условии

$$\left. \begin{array}{l} t_{\text{имрзр}} - t_{\text{цб}} \rightarrow \max \\ \varepsilon_{\delta} \gamma_{\delta} - q\gamma \rightarrow \min \end{array} \right\} \quad (7)$$

При организации многопозиционного многопоточного транспортно- производственного процесса, с одноразовой выгрузкой бункера комбайна в каждый автомобиль время цикла составляет

$$E_{\text{ц}} = \left(\frac{(\alpha_m + f_m) \cdot G \cdot \ell_{\text{ге}} \cdot Z \cdot \rho}{50} + n_{\text{ч}} \cdot a_{\text{ж}} \cdot T_{\text{н}} + E_{\text{а}} \cdot L \cdot Z \right) \cdot N_{\text{у}} \frac{K \left(\frac{\varepsilon_{\delta} \gamma_{\delta}}{W_{\delta}} + t_{\text{неп}} \right) - t_{\text{неп}} + \frac{\ell_{\text{ге}}}{\beta V_{\text{T}}} + t_{\text{р}}}{q\gamma T_{\text{н}}} \rightarrow \min; \quad (10)$$

при условии

$$\left. \begin{array}{l} t_{\text{имр}} - t_{\text{цб}} \rightarrow \max; \\ q\gamma - \varepsilon_{\delta} \gamma_{\delta} \rightarrow \max. \end{array} \right\} \quad (12)$$

Для хозяйств Амурской области в большинстве случаев уборочно-транспортный процесс при обслуживании базовых машин транспортными средствами является многопозиционным однопоточным, с одноразовой разгрузкой бункера комбайна в автомобили ЗИЛ-ММЗ-554 или ГАЗ-5312. При обслуживании комбайнов КЗС-812С (Палессе – GS812), КЗС-1218-40 (Палессе – GS12), КЗС-10К (Палессе – GS10) автомобилями КамАЗ-45143 или КамАЗ-45143 с прицепом НЕФАЗ 8560-02 приводит к

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{цбср}} + t_{\text{имрзр}} - \tau_{\text{ср}}, \quad (8)$$

время выполнения транспортных работ

$$t_{\text{имрзр}} = K \left(\frac{\varepsilon_{\delta} \gamma_{\delta}}{W_{\delta}} + t_{\text{неп}} \right) - t_{\text{неп}} + \frac{\ell_{\text{ге}}}{\beta V_{\text{T}}} + t_{\text{р}}. \quad (9)$$

Учитывая формулы (3) и (9), удельные энергетические затраты транспортных средств являются минимальными

увеличению времени транспортного цикла за счет многократной разгрузки бункера комбайна. Применение многопозиционного многопоточного цикла, с многократной выгрузкой бункера комбайна в автомобили КамАЗ-45143, КамАЗ-45143 с прицепом НЕФАЗ 8560-02 позволяет значительно сократить удельные энергетические затраты для рассматриваемых схем транспортно-производственного процесса за счет уменьшения времени простоя автомобилей. На основании полученных экспериментальных данных проведены расчеты по определению влияния длины груженой ездки до пункта разгрузки на полные удельные энергетические затраты транспортных средств для рассматриваемых процессов (рис.1).

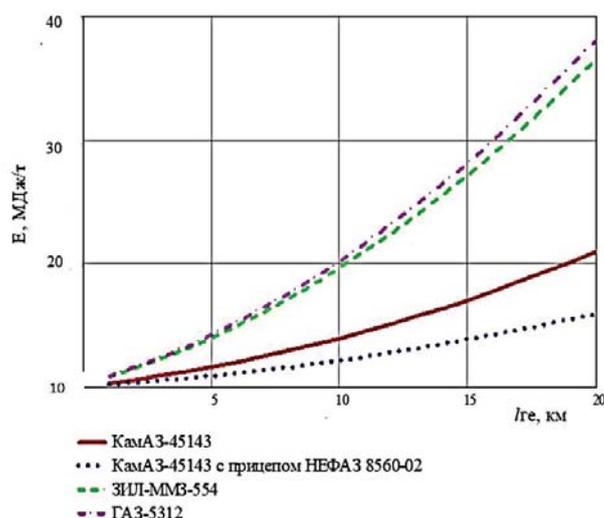


Рис. 1. Закономерности изменения удельных энергетических затрат автомобилей от длины груженой ездки.

Энергетические затраты автомобилей ЗИЛ-ММЗ-554 и ГАЗ-5312 на единицу перевозимого сельскохозяйственного груза с увеличением длины груженой ездки до элеватора возрастают по экспоненциальным зависимостям и

совпадают на расстоянии до 10 км, при дальнейшем увеличении длины груженой ездки до 20 км отличаются на 2,6 МДж/ткм. Использование на транспортных работах большегрузных транспортных средств в многопозиционном

многопоточном цикле позволяет значительно уменьшить энергозатраты. Увеличение длины груженой ездки до 20 км приводит к сокращению удельных энергетических затрат в 1,36 раза и в 2,14 раза для автомобилей КамАЗ-45143 и автомобилей КамАЗ-45143 с прицепом НЕФАЗ 8560-02 соответственно по сравнению с энергетическими затратами автомобилей ЗИЛ-ММЗ-554 и ГАЗ-5312.

Вывод. Таким образом, снижение энергетических затрат транспортно- производственного процесса происходит в случае наибольшего сокращения длительности процесса за

счет максимального совмещения базового и транспортного циклов. При полном совмещении одного из циклов длительность процесса может быть сокращена за счет рационального использования транспортных средств при обслуживании уборочных агрегатов.

Внедрение разработанных рекомендаций с учетом моделирования грузопотоков дает возможность уменьшить энергетические затраты при транспортировке сельскохозяйственных грузов с учетом размещения пунктов хранения, с которыми эти грузопотоки связаны.

Список литературы

1. Алдошин, Н.В. Оптимизация транспортных процессов. Учебное пособие / Н.В. Алдошин, Р.В. Егоров. - Москва: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2011. - 40 с.
2. 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.
3. Гоберман, В.А. Автомобильный транспорт в сельскохозяйственном производстве: Эффективность и качество работы, оценка и разработка организационно-технических решений / В.А. Гоберман. – Москва : Транспорт, 1986. – 287 с.
4. Кузнецов, Е.Е. Повышение эффективности функционирования мобильных энергетических средств в условиях Амурской области / Е.Е. Кузнецов, З.Ф. Кривуца, С.Н. Марков, А.С. Вторников// Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо», – 2019. – № 2.- 0,66 п.л. – URL:http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_209.doc.(дата обращения:20.11.2020).
5. Щитов, С.В. Повышение эффективности перевозки сельскохозяйственных грузов / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 2. – С. 26-28.
6. Щитов, С.В. Повышение производительности автопоездов с прицепными системами в транспортно-технологическом обеспечении АПК / С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, Е.В. Панова // Научное обозрение. – 2014. – №7. – С. 469-474.
7. Щитов, С.В. Влияние транспортно-технологического обеспечения на формирование машинно-тракторного парка хозяйств/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, Н.Ф. Двойнова, Е.В. Попова, А.В. Сахненко // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». – 2016. – №4. – URL:http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/4/st_441.doc.(дата обращения:15.11.2020).
8. Щитов, С.В. Влияние скорости движения автомобиля на эффективность его эксплуатации/ С.В. Щитов, З.Ф. Кривуца, Е.Е. Кузнецов, В.Г. Евдокимов, С.А. Иванов// Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 1 (53). – С.104-111.) –URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42735408_75461709.pdf.(дата обращения: 10.11.2020).

Reference

1. Aldoshin, N.V., Egorov, R.V. Optimizatsiya transportnykh protsessov. Uchebnoe posobie (Optimization of Transport Processes. Textbook), Moskva, FGBOU VPO MGAU, 2011, 40 p.
2. Aldoshin, N.V., Pekhutov, A.S. Povyshenie proizvoditel'nosti pri perevozke sel'skokhozyaistvennykh грузов (Enhancement of Productivity of Agricultural Goods Transportation), *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva*, 2012, No 4, PP. 26-27.
3. Goberman, V.A. Avtomobil'nyi transport v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve: Effektivnost' i kachestvo raboty, otsenka i razrabotka organizatsionno-tekhnicheskikh reshenii (Road Transport in Agricultural Production: Efficiency and Quality of Work, Assessment and Development of Organizational and Technical Solutions), Moskva, Transport, 1986, 287 p.
4. Kuznetsov, E.E., Krivutsa, Z.F., Markov, S.N., Vtornikov, A.S. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv v usloviyakh Amurskoi oblasti (Improving the Efficiency of Mobile Energy Units in the Amur Region), *Elektronnyi nauchno-proizvodstvennyi zhurnal «AgroEkoInfo»*, 2019, No 2, 0,66 p.l., URL:http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_209.doc.(data obrashcheniya:20.11.2020).
5. Shchitov, S.V., Krivutsa, Z.F. Povyshenie effektivnosti perevozki sel'skokhozyaistvennykh грузов (Enhancement of Efficiency of Agricultural Goods Transportation), *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva*, 2011, No 2, PP. 26-28.
6. Shchitov, S.V., Krivutsa, Z.F., Panova, E.V. Povyshenie proizvoditel'nosti avtopoezdov s pritsepnyimi sistemami v transportno-tekhnologicheskom obespechenii APK (Improving the Performance of Road Trains with Trailer Systems in the Transport and Technological Support of the Agro-Industrial Complex), *Nauchnoe obozrenie*, 2014, No 7, PP. 469-474.

7. Shchitov, S.V., Krivutsa, Z.F., Dvoynova, N.F., Popova E.V., Sakhnenko A.V. Vliyanie transportno-tekhnologicheskogo obespecheniya na formirovanie mashinno-traktornogo parka khozyaistv (Influence of Transport and Technological Support on the Formation of the Machine and Tractor Fleet of Farms), *Elektronnyi nauchno-proizvodstvennyi zhurnal «AgroEkoInfo»*, 2016, No 4, URL :<http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2016/4/st441.doc>.(data obrashcheniya:15.11.2020).

8. Shchitov, S.V., Krivutsa, Z.F., Kuznetsov, E.E., Evdokimov, V.G., Ivanov, S.A. Vliyanie skorosti dvizheniya avtomobilya na effektivnost' ego ekspluatatsii (Influence of Vehicle Speed on the Efficiency of Its Operation), *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2020, No 1 (53), PP.104-111), URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42735408_75461709.pdf.(data obrashcheniya: 10.11.2020).

Информация об авторах

Щитов Сергей Васильевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ТЭС и МАПК; ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ; ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Амурская область, Россия; e-mail: shitov.sv1955@mail.ru;

Кривуца Зоя Фёдоровна, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой физики и информатики; ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ; ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Амурская область, Россия; e-mail: zfk20091@rambler.ru;

Кузнецов Евгений Евгеньевич, д-р техн. наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации и ремонта транспортно-технологических машин и комплексов; ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ; ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Амурская область, Россия; e-mail: ji.tor@mail.ru;

Евдокимов Вячеслав Гензельевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры общетехнических дисциплин Дальневосточное высшее общевойсковое командное Краснознамённое, ордена Жукова училище имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского МО РФ; ул. Ленина, 158, г. Благовещенск, Амурская область, Россия; e-mail: evdokimov.dvku@mail.ru;

Щегорец Ольга Викторовна, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ; ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Амурская область, Россия;

Курков Юрий Борисович, д-р техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ; ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Амурская область, Россия; e-mail: kurkov1@mail.ru;

Двойнова Наталья Фёдоровна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО СахГУ, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская область, Россия; e-mail: dnfsach@yandex.ru.

Information about the authors

Sergey V. Shchitov, Doctor of Technical Science, Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: shitov.sv1955@mail.ru;

Zoya F. Krivutsa, Doctor of Technical Science, Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: zfk20091@rambler.ru;

Evgeny E. Kuznetsov, Doctor of Technical Science, Associate Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: ji.tor@mail.ru;

Vacheslav E. Evdokimov, Doctor of Technical Science, Professor; The Marshal of the Soviet Union K. K. Rokossovsky Far Eastern Higher Combined Arms Command School of the Russian Armed Forces; 158, Lenina str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: evdokimov.dvku@mail.ru;

Olga V. Shchegorets, Doctor of Agricultural Science, Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia;

Yurii B. Kurkov, Doctor of Technical Science, Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: kurkov1@mail.ru;

Natalya F. Dvoynova, Candidate of Agriculture Science, Associate Professor; Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin Region, Russia; e-mail: dnfsach@yandex.ru.