

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**PROCESSES AND MACHINERY OF AGRO-ENGINEERING SYSTEMS**

УДК 631.354.2+51

ГРНТИ 55.57.37

Щитов С.В., д-р. техн. наук, профессор;

Кидяева Н.П., канд. техн. наук, доцент; Митрохина О.П. канд. техн. наук, доцент,

ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Россия

E-mail: dalgaumat@mail.ru

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНОУБОРОЧНОЙ
ТЕХНИКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ**

В период уборки зерновых культур на полях области используется разномарочный парк зерноуборочных комбайнов. Срок эксплуатации некоторых из них превышает 10 лет. Увеличение срока эксплуатации находит отражение не только в ухудшении технических качеств машин, но и в снижении значений эксплуатационных показателей и в увеличении затрат энергии. Целью данного исследования является повышение эффективности использования зерноуборочных комбайнов за счет оптимизации энергозатрат. Вопрос об оптимизации энергозатрат на уборке сельскохозяйственных культур рассматривается путем рационального распределения имеющихся в парке зерноуборочных комбайнов на основе построенной математической модели. В результате проведенных аналитических исследований построены зависимости полных энергозатрат зерноуборочных комбайнов разных марок от совместного влияния расхода топлива, производительности и коэффициента уплотнения почвы. С учетом этого составлены аддитивные двухфакторные модели каких-либо двух факторов, и построены их модели. Экспериментальные данные были получены путем проведения хронометражных наблюдений за работой уборочных агрегатов. Наблюдения проводились методом сплошного хронометража рабочего времени. Расход топлива контролировался заправкой до полного бака до начала работы и по её окончании. Для охвата большого массива данных на ряде уборочных агрегатов устанавливалась спутниковая система позиционирования, которая позволила вести мониторинг работы в течение всего периода работ. В результате экспериментальных исследований выявлено, что выбор зерноуборочных комбайнов определяется коэффициентом эффективности, который зависит от производительности, расхода топлива и коэффициента уплотнения почвы. Установлено, что на уборке зерновых культур коэффициент эффективности находится в пределах 0,68- 1,00. Наибольший коэффициент эффективности $K_{эф} = 1$ на уборке зерновых культур имеет КЗС-812, наименьший – $K_{эф} = 0,68$ – КЗС-812С. На уборке сои коэффициенты эффективности зерноуборочных комбайнов составили 0,61-1,00. Наибольший коэффициент эффективности $K_{эф} = 1$ на уборке сои имеет комбайн Claas Mega 350, наименьший – $K_{эф} = 0,61$ – КЗС-812.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, ПОЛНЫЕ ЭНЕРГОЗАТРАТЫ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗНАЧИМОСТИ, КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ.

UDC 631.354.2+51

Shchitov S.V., Dr Tech. Sci., Professor;

Kidyaeva N.P., Cand.Tech.Sci.; Mitrokhina O. P., Cand.Tech.Sci., Associate Professor,
Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russia

E-mail: dalgaumat@mail.ru

THE ASSESSMENT OF THE COMBINE HARVESTERS EFFICIENCY
BY MEANS OF NUMERICAL TECHNIQUE

In the harvest time the various brands of combine harvesters are used on the region's fields. The life-span of some of them is more than 10 years. The increasing of life-span is manifested not only in the deterioration of the technical qualities of machines, but also in the decrease of performances and in high power inputs. The purpose of this research is the enhancing of the efficiency of combine harvesters through optimizing power inputs. The question of optimization of the power inputs in harvest time is considered through the rational allocation of the available harvesters on the basis of mathematical model. As the result of analytical researches we revealed the dependencies of the full power inputs of combine harvesters of different brands on the joined influence of fuel consumption, performance, and coefficient of consolidation of soil. Basing on these facts, the additive two-factor models of any two factors were worked out and their models were designed. Experimental data were obtained by timing harvesting units' work. Observations were carried out by the method of solid timekeeping of working time. Fuel consumption was under the control beginning from filling up a full tank before work till its finish. To cover a large array of data the satellite positioning system was installed on some of harvesting units, which allowed us to monitor the work throughout the whole harvest period. As a result of experimental researches it was revealed that the choice of combine harvesters is determined by the efficiency coefficient, which depends on the performance, fuel consumption and coefficient of consolidation of soil. It was found out that in the harvest time the coefficient of efficiency is within 0.68~1.00. During the corn harvesting K3C-812 type harvester gets the highest coefficient of efficiency $K_{ef} = 1$, K3C-812C gets the least coefficient – $K_{ef} = 0,68$. For harvesting soybeans the coefficients of efficiency of combine harvesters amounted to 0,61... 1,00. The combine harvester Claas Mega 350 has the highest coefficient of efficiency $K_{ef} = 1$ at the soybean harvesting, K3C-812 gets the least coefficient $K_{ef} = 0,61$

KEYWORDS: COMBINE HARVESTER, FULL POWER INPUTS, MATHEMATICAL MODEL, EFFICIENCY, THE SIGNIFICANCE COEFFICIENTS, THE EFFICIENCY COEFFICIENT

Введение. Оснащение технологии уборочных работ новыми средствами механизации ставит своей целью совершенствование и разработку способов и путей повышения эффективного их использования за счет полной реализации заложенных в них технико-технологических параметров. При этом возникает необходимость в теоретическом обосновании и последующем внедрении в производство научных приемов и методов по оптимизации использования зерноуборочных комбайнов на уборке. Слож-

ные естественно-производственные условия диктуют совместное ее использование из-за ограниченных сроков проведения уборочных работ. В настоящее время зерноуборочный парк Амурской области пополняется новыми высокопроизводительными зерноуборочными комбайнами Амур-Лида, Acros 530, Acros 580, Вектор 410, Вектор 420, КЗС-812, КЗС-812С, КЗС-1218-40.

Все вышеперечисленные обстоятельства предъявляют большие требования к

формированию и рациональному использованию зерноуборочных комбайнов в технологии уборочных работ.

В результате этого, **цель исследования** - повышение эффективности использования зерноуборочных комбайнов за счет оптимизации энергозатрат.

Материалы и методы исследования. Теоретические исследования по повышению эффективности использования зерноуборочных комбайнов в технологии уборочных работ проведены на основе структурной экономико-математической модели с использованием графического способа целочисленного программирования, транспортной задачи, теории статистических решений и метода анализа иерархий. Экспериментальные исследования проведены в реальных условиях эксплуатации на базе передовых хозяйств Амурской области. Полученные экспериментальные данные обработаны в соответствии с современными методами теории вероятностей, математической статистики и планирования экспериментальных исследований.

Результаты исследований. При повышении эффективности использования зерноуборочной техники рассмотрена структурная экономико-математическая модель оценки эффективности использования зерноуборочных комбайнов в технологии уборочных работ за счет оптимизации энергозатрат. В общем случае энергозатраты зерноуборочной техники при оптимальном использовании имеющихся в наличии комбайнов и плана работ определяются из условия

$$Z = \sum_{j \in J_0} \sum_{i \in I_0} \sum_{t \in T_0} E_{ijt} x_{ijt} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где j - номер марки зерноуборочного комбайна; J_0 - множество наличных марок зерноуборочных комбайнов; i - номер вида механизированных работ; I_0 - множество видов механизированных работ; t - номер периода напряжённых работ; T_0 - множество периодов напряжённых работ;

при следующих ограничениях:

– выполнение всего объёма работ

$$\sum_{j \in J_0} w_{ijt} x_{ijt} \geq Q_{it}, \quad i \in I_0, \quad t \in T_0, \quad (2)$$

– использование собственных зерноуборочных комбайнов

$$\sum_{i \in I_0} p_{ijt} x_{ijt} = T_{jt} R_j, \quad j \in J_0, \quad t \in T_0, \quad (3)$$

– выполнение агротехнических сроков

$$\sum_{i \in I_0} \frac{Q_{it}}{w_{ijt} x_{ijt}} \leq p_{ijt}, \quad j \in J_0, \quad t \in T_0, \quad (4)$$

– максимальное число собственных зерноуборочных комбайнов на выполнение отдельных видов работ (уточняет соотношение 3)

$$\sum_{i \in I_0} x_{ijt} \leq R_j, \quad j \in J_0, \quad t = \tau_0, \quad (5)$$

где x_{ijt} - количество зерноуборочных комбайнов марки j на выполнение работы i в период t , шт; Q_{it} - объём механизированных работ вида i в период t , га; T_{jt} - рабочий период для зерноуборочного комбайна марки j в период t , ч; R_j - наличие собственных зерноуборочных комбайнов марки j , шт; w_{ijt} - производительность j зерноуборочного комбайна при выполнении i работы в период t , га/ч; p_{ijt} - агротехнические сроки выполнения i работы j зерноуборочным комбайном в период t , ч; E_{ijt} - полные энергозатраты j зерноуборочного комбайна при выполнении i работы в период t , МДж.

Функциональная зависимость полных энергозатрат имеет вид

$$E_{ijt} = f(W, Q, g, T, \rho), \quad (7)$$

где W - производительность зерноуборочного комбайна, га/ч; Q - объём работ, га; g - удельный расход топлива, л/га; T - время нахождения в работе зерноуборочного комбайна, ч; ρ - плотность почвы, г/см³.

Для учёта их влияния на исследуемую величину введём коэффициенты значимости

$$K_{пол} = K_{np} + K_{жс} + K_{э} + K_n, \quad (8)$$

где $K_{пол}$ - коэффициент значимости полных энергозатрат от использования зерноуборочной техники; $K_{пр} = \frac{E_{прйт}}{E_{ijt}}$ - коэффициент значимости прямых энергозатрат от использования зерноуборочной техники; $K_{жс} = \frac{E_{жсijt}}{E_{ijt}}$ - коэффициент значимости энергозатрат живого труда от использования зерноуборочной техники; $K_{\phi} = \frac{E_{\phiijt}}{E_{ijt}}$ - коэффициент значимости энергоемкости от использования зерноуборочной техники; $K_n = \frac{E_{nijt}}{E_{ijt}}$ - коэффициент значимости энергозатрат от потеряннго урожая.

Таким образом, эффективность использования зерноуборочной техники определяется из условий

$$K_{пол}^{\phi} - K_{пол}^n \rightarrow max, \quad (9)$$

$$K_{\phi} = \frac{K_{пол}^{\phi}}{K_{пол}^n} > 1. \quad (10)$$

В процессе изучения структурной экономико-математической модели, направленной на минимизацию полных энергозатрат, для визуализации совместного влияния каких-либо двух факторов, из предложенных составлены аддитивные двухфакторные модели (рисунок 11, 12, 13)

$$E(G, W) = -0,0086G^4 + 0,2744G^3 - 3,2656G^2 + 17,293G + 0,1379W^3 - 1,540W^2 + 5,4142W - 39,0368, \quad (11)$$

$$E(K_y, G) = 141,38K_y^3 - 493,66K_y^2 + 572,93K_y - 0,0086G^4 + 0,2744G^3 - 3,2656G^2 + 17,293G + 254,094, \quad (12)$$

$$E(K_y, W) = 141,38K_y^3 - 493,66K_y^2 + 572,93K_y + 0,1379W^3 - 1,540W^2 + 5,4142W - 225,5828 \quad (13)$$

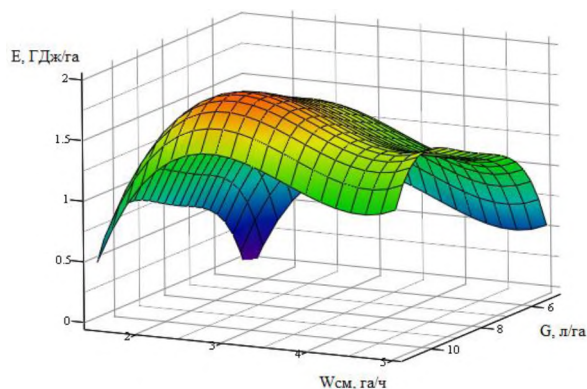


Рис. 1. Зависимость полных энергозатрат зерноуборочных комбайнов разных марок от совместного влияния расхода топлива и производительности

Так, при исследовании совместного влияния двух факторов зависимости (11): расхода топлива и производительности зерноуборочных комбайнов различных марок на изменение полных энергозатрат наибольшую значимость оказывает производительность (рис. 1). Наименьшие энергозатраты имеют зерноуборочные комбайны, производительность которых располагается в диапазоне от 4 га/ч до 5 га/ч с расходом топлива в диапазоне от 6 л/га до 8 л/га. Наибольшие энергозатраты имеют зерноуборочные комбайны, производительность которых располагается в диапазоне от 2 га/ч до 4 га/ч с расходом топлива в диапазоне от 8 л/га до 10 л/га.

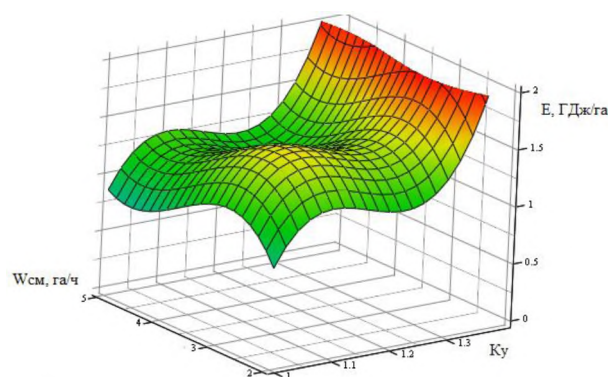


Рис. 2. Зависимость полных энергозатрат зерноуборочных комбайнов разных марок от совместного влияния коэффициента уплотнения почвы и производительности

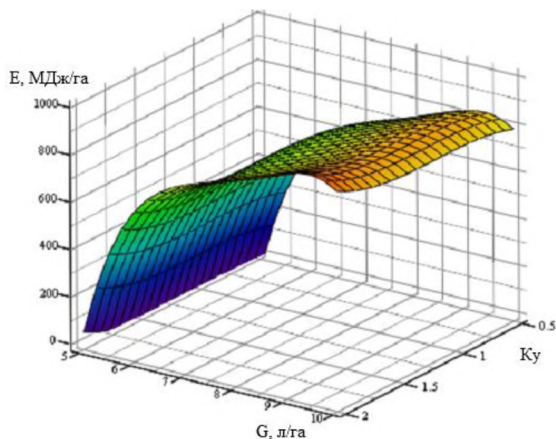


Рис. 3. Зависимость полных энергозатрат зерноуборочных комбайнов разных марок от совместного влияния коэффициент уплотнения почвы и расхода топлива

Зависимость полных энергозатрат зерноуборочных комбайнов разных марок от совместного влияния коэффициента уплотнения почвы и производительности показана на рисунке 2. Необходимо отметить, что низкая производительность в сочетании с низким коэффициентом уплотнения почвы предполагает высокие энергозатраты.

На рисунке 3 показано, что на изменение полных энергозатрат превалирующее влияние оказывает фактор расхода топлива.

Выводы

Таким образом, в результате исследования поставленная цель реализуется за счет оптимизации энергозатрат. Получена структурная экономико-математическая модель, позволяющая оценить эффективность использования различных зерноуборочных комбайнов в технологии уборочных работ за счет оптимизации энергозатрат. В результате экспериментальных исследований выявлено, что выбор зерноуборочных комбайнов определяется коэффициентом эффективности, который зависит от производительности, расхода топлива и погодных условий. Установлено, что на уборке зерновых культур коэффициент эффективности находится в пределах 0,68-1,00. Наибольший коэффициент эффективности $K_{эф} = 1$ на уборке зерновых культур имеет КЗС-812, наименьший – $K_{эф} = 0,68$ – КЗС-812С. На уборке сои коэффициенты эффективности зерноуборочных комбайнов составили 0,61-1,00. Наибольший коэффициент эффективности $K_{эф} = 1$ на уборке сои имеет комбайн Claas Mega 350, наименьший – $K_{эф} = 0,61$ – КЗС-812.

Список литературы

1. Кидяева, Н.П. Оптимизация выбора комбайна по расходу топлива при уборке сельскохозяйственных культур / Н.П. Кидяева, С.В. Щитов, А.Б. Жирнов // Техника и оборудование для села, 2013. – №1. – С.18 – 20.
2. Кидяева, Н.П. Оптимизация выбора комбайна по необходимому объему работ в технологии возделывания сельскохозяйственных работ / Н.П. Кидяева, С.В. Щитов, А.Б. Жирнов // Техника и оборудование для села, 2013. – №1 – С.10 – 12.
3. Кидяева, Н.П. Использование методов математического моделирования при оптимизации выбора зерноуборочных комбайнов / Н.П. Кидяева, С.В. Щитов, Е.И. Решетник // Научное обозрение. – 2013. – № 8 – С. 28 – 35.
4. Кидяева, Н.П. Обоснование эффективности использования зерноуборочных комбайнов на основе математических методов / Н.П. Кидяева, С.В. Щитов, В.Г. Евдокимов // Вестник КрасГАУ - 2013. – № 12 – С. 203 – 207.
5. Кидяева, Н.П. Распределение зерноуборочных комбайнов по работам с использованием транспортной задачи / Н.П. Кидяева, С.В. Щитов // ДальГАУ. – Благовещенск, 2012. – 7с.: Деп. в ЦНИиТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 05.06.2012, № 42/19847
6. Кидяева, Н.П. Влияние естественно-производственных условий на эффективность использования уборочной техники / Н.П. Кидяева, С.В. Щитов // ДальГАУ. – Благовещенск, 2013. – 8с.: Деп. в ЦНИиТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 05.06.2012, № 16/19885.
7. Кидяева, Н.П. Распределение зерноуборочных комбайнов с использованием критериев эффективности / Н.П. Кидяева, С.В. Щитов // ДальГАУ. – Благовещенск, 2013. – 7с.: Деп. в ЦНИиТЭИ РАСХН ВНИИЭСХ 05.06.2012, № 14/19883.
8. Кидяева, Н.П. Использование экономико-математической модели при оптимизации в технологии уборочных работ / Н.П. Кидяева // Наука и образование: проблемы и тенденции развития: матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 20-21 декабря 2013 г.): в 3-х ч. Часть II. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. – С. 168 – 172.

Reference

1. Kidyayeva, N.P., Shchitov, S.V., Zhirnov, A.B. Optimizatsiya vybora kombaina po raskhodu topliva pri uborke sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Optimization of Selection of Combine Harvester according to Fuel Consumption during Harvesting), *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2013, No 1, PP.18 – 20.
2. Kidyayeva, N.P., Shchitov, S.V., Zhirnov, A.B. Optimizatsiya vybora kombaina po neobkhodimomu ob"emu rabot v tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skokhozyaistvennykh rabot (Optimization of Selection of Combine Harvester according to Essential Volume of Work in Crop Technology), *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2013, No 1, PP.10 – 12.
3. Kidyayeva, N.P., Shchitov, S.V., Reshetnik, E.I. Ispol'zovanie metodov matematicheskogo modelirovaniya pri optimizatsii vybora zernouborochnykh kombainov (Use of the Mathematical Model Approach for the Optimization of Selection of Combine Harvester), *Nauchnoe obozrenie*, 2013, No 8, PP. 28 – 35.
4. Kidyayeva, N.P., Shchitov, S.V., Evdokimov, V.G. Obosnovanie effektivnosti ispol'zovaniya zernouborochnykh kombainov na osnove matematicheskikh metodov (Substantiation of the Combine Harvesters' Efficiency on the Basis of Mathematical Method), *Vestnik KrasGAU*, 2013, No 12, PP. 203 – 207.
5. Kidyayeva, N.P., Shchitov, S.V. Raspreделение zernouborochnykh kombainov po rabotam s ispol'zovaniem transportnoi zadachi (Allocation of Combine Harvesters according to Operations with the Use of Transportation Problem), Dal'GAU, Blagoveshchensk, 2012, 7 p.: Dep. v TsNIITEI RASKhN VNIIESKh 05.06.2012, No 42/19847.
6. Kidyayeva, N.P., Shchitov, S.V. Vliyanie estestvenno-proizvodstvennykh uslovii na effektivnost' ispol'zovaniya uborochnoi tekhniki (The Influence of Natural Working Environment on the Harvesting Machinery Efficiency), Dal'GAU, Blagoveshchensk, 2013, 8 p.: Dep. v TsNIITEI RASKhN VNIIESKh 05.06.2012, No 16/19885.
7. Kidyayeva, N.P., Shchitov, S.V. Raspreделение zernouborochnykh kombainov s ispol'zovaniem kriteriev effektivnosti (Allocation of Combine Harvesters with the Use of Efficiency Criteria), Dal'GAU, Blagoveshchensk, 2013, 7 p.: Dep. v TsNIITEI RASKhN VNIIESKh 05.06.2012, No 14/19883.
8. Kidyayeva, N.P. Ispol'zovanie ekonomiko-matematicheskoi modeli pri optimizatsii v tekhnologii uborochnykh rabot (The Use of Economic and Mathematical Model in Optimization of Harvesting Technology), *Nauka i obrazovanie: problemy i tendentsii razvitiya: mater. Mezhdunar. nauch. -prakt. konf. (Ufa, 20-21 dekabrya 2013 g.): v 3-kh ch. Chast' II*, Ufa: RITs BashGU, 2013, PP. 168 – 172.