

distantionnogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya uzlov i agregatov traktora // Tekhnicheskoe i kadrovoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologiy v selskom khozyaystve: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Minsk, 24-25 oktyabrya 2019 g.: v 2 ch.

Ch. 2. – Minsk: BGATU, 2019. – S. 30-35. <https://rep.bsatu./handle/doc/13802>.

14. Goncharov R.D. Perspektivy primeneniya IoT-tekhnologiy v monitoringe selskokhozyaystvennoy tekhniki: razrabotka i aprobatsiya platformy "Agrotrek" // Vestnik Omskogo GAU. 2025. No. 3 (59). S. 92–101.



УДК 631.354.2.076

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-262-8-72-80

Д.С. Котенко, А.Н. Панасюк, А.В. Липкань

D.S. Kotenko, A.N. Panasyuk, A.V. Lipkan

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА УБОРКЕ СОИ В УСЛОВИЯХ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

RESERVATION OF A GRAIN HARVESTER POWER FOR SOYBEAN HARVESTING IN THE AMUR REGION

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, мощностной баланс, соя, резервный источник питания, воздушно-решетная очистка.

В условиях повышенной влажности почвы снижается её несущая способность, повышается липкость почв, что ведёт к росту энергетических затрат на передвижение колесных комбайнов при уборке сои. Расчетно-аналитическим методом установлен недостаток мощности штатной энергетической установки зерноуборочных комбайнов в Амурской области, применяемых для выполнения уборочного процесса при рекомендуемых для уборки сои рабочих скоростях 7,2-9 км/ч. Из-за снижения коэффициента сцепления при влажности почвы 24-26% и роста затрат на передвижение уборку сои колесными комбайнами приходится останавливать. Проведенными расчетами мощностного баланса выявлен дефицит мощности на осуществление уборочного процесса в диапазоне 4,9-24,4 кВт у 92% комбайнового парка. В связи с этим исследования, направленные на резервирование мощности на передвижение зерноуборочного комбайна, являются актуальными. Для решения проблемы предложен способ компенсации недостатка мощности путем установки дополнительного источника резервной мощности с блоком управления электромагнитными муфтами и оборотами электродвигателя в качестве привода воздушно-решетной очистки, включаемых в работу на участках поля с повышенной влажностью. Для проверки предложенного способа резервирования и перераспределения потока мощности на движители комбайна проведены лабораторные и полевые испытания модернизированного комбайна. Полевые испытания проведены на опытном поле Федерального научного центра

«Всероссийский научно-исследовательский институт сои», с. Садовое Амурской области, при влажности почвы 26% на сорте сои Сентябринка, рабочая передача – 2-я, полный вариатор. Чистота бункерного зерна сои модернизированного комбайна составляла 97,8%, в том числе дробление семян – 4,1%. Доказано, что предложенный способ позволяет сохранить производительность и агротехнические требования на качество уборки сои колесным комбайном на почвах повышенной влажности.

Keywords: grain combine, power balance, soybeans, backup power source, air-screen cleaning.

Under the conditions of increased soil moisture, the bearing capacity of the soil decreases and soil stickiness increases leading to increased energy costs for moving wheeled combine harvesters during soybean harvesting. A calculation and analytical method revealed a shortage of power in the standard power units of grain harvesters in the Amur Region used for harvesting at the recommended operating speeds of 7.2–9 km/h. Due to a decrease in the traction coefficient at soil moisture levels of 24–26% and increased travel costs, soybean harvesting by wheeled combine harvesters have to be suspended. Power balance calculations revealed a harvesting power shortage in the range of 4.9–24.4 kW for 92% of the combine fleet. Therefore, research aimed at reserving power for grain harvester travel is relevant. To address this issue, a proposed method for compensating for the lack of power involves installing an additional backup power source with a control unit for electromagnetic clutches and electric motor speeds which serves as a drive for the air-screen cleaning system activated in areas of the field with high moisture content. Laboratory and

field trials of the upgraded combine harvester were conducted to validate the proposed method for reserving and redistributing the power flow to the combine harvester's drive units. Field trials were conducted in an experimental field of the Federal Scientific Center "All-Russian Soybean Research Institute" in the village of Sadovoye, Amur Region, with soil moisture content of 26% using the Sentyabrinka soybean variety. The work-

ing gear was the second one with a fully variable transmission. The purity of the bunker soybean grain from the upgraded combine harvester was 97.8% including 4.1% of crushed seeds. The proposed method has been proven to maintain productivity and meet agronomic requirements for the quality of soybean harvesting using a wheeled combine harvester in high-moisture soils.

Котенко Дмитрий Станиславович, аспирант, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: d.kotenko99@mail.ru.

Панасюк Александр Николаевич, д.т.н., чл.-корр. РАН, гл. науч. сотр., ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: alex28rus@list.ru.

Липкань Александр Васильевич, ст. науч. сотр., ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», г. Благовещенск, Российская Федерация, e-mail: lav-blg@mail.ru.

Kotenko Dmitriy Stanislavovich, post-graduate student, Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: d.kotenko99@mail.ru.

Panasjuk Aleksandr Nikolaevich, Dr. Tech. Sci., Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Federal Research Center All-Russian Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: alex28rus@list.ru.

Lipkan Aleksandr Vasilevich, Senior Researcher, Federal Research Center All-Russian Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russian Federation, e-mail: lav-blg@mail.ru.

Введение

Современное сельское хозяйство, характеризующееся интенсивным использованием тяжелой техники, сталкивается с проблемой снижения её проходимости в условиях переувлажнения почвы в период уборки. Примером является уборка сои – важнейшей зернобобовой культуры Амурской области, которая часто проводится в период повышенной влажности почвы, обусловленной региональными климатическими особенностями, вследствие чего сроки уборки затягиваются. В этих условиях проход колесных комбайнов по полю неизбежно приводит к значительному увеличению глубины колеи вследствие снижения несущей способности почвы. Процесс деформации почвы, в свою очередь, ведет к росту энергетических затрат на преодоление сопротивления качению и буксования движителя. Колесные комбайны из-за повышения буксования и потери проходимости не способны вести уборку культуры.

Исследования, направленные на резервирование мощности на передвижение зерноуборочного комбайна, являются актуальными и позволяют обеспечить непрерывную и качественную уборку сои в условиях повышенной влажности почвы.

Цель исследования – провести расчет мощностного баланса зерноуборочных комбайнов, применяемых в Амурской области на уборке сои в условиях повышенной влажности и обосновать

необходимость резервирования мощности на передвижение.

Объекты и методы исследования

Для обеспечения работы комбайна необходимо выполнение условия [1, 2]:

$$N_e \cdot \xi_N \geq N_T + N_F + N_B + N_{TP} \quad (1)$$

где N_e – мощность двигателя, кВт;

ξ_N – коэффициент использования мощности двигателя;

N_T – мощность, необходимая для выполнения уборочного процесса, кВт;

N_F – мощность на передвижение комбайна, кВт;

N_B – мощность, затрачиваемая на буксование, кВт;

N_{TP} – мощность на преодоление потерь в трансмиссии, кВт.

Мощность, необходимая для выполнения уборочного процесса, находим по формуле:

$$N_T = N_{изм} + N_{техн} + N_{хх} \quad (2)$$

где $N_{изм}$ – мощность, затрачиваемая на работу измельчителя, кВт;

$N_{техн}$ – мощность на выполнение технологического процесса, кВт;

$N_{хх}$ – мощность на холостой ход рабочих органов комбайна, кВт.

Мощность на передвижение комбайна определяется:

$$N_f = P_f \cdot V_T \cdot \eta_b \quad (3)$$

где P_f – сопротивление комбайна на перекачивание, кН;

V_T – теоретическая скорость комбайна, м/с;

η_b – КПД буксования.

Мощность, затрачиваемая на буксование:

$$N_b = (N_c \cdot \zeta_M \cdot N_T) \cdot \eta_{тр} \cdot \delta, \quad (4)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

δ – буксование, %.

Мощность, затрачиваемая на потери в трансмиссии:

$$N_{тр} = (N_c \cdot \zeta_M \cdot N_T) \cdot (1 - \eta_{тр}), \quad (5)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

Мощность на выполнение технологического процесса при обмолоте зерновых [1]:

$$N_{техн} = N_{уд} \cdot q + N_{ж}, \quad (6)$$

где $N_{уд}$ – удельная мощность на обмолот, кВт/(кг/с);

q – подача зерносомистой массы, кг/с;

$N_{ж}$ – мощность на работу жатки, кВт.

Удельная мощность на обмолот значительно зависит от диаметра, количества молотильных барабанов и влажности культуры. Для однобарабанных комбайнов с барабаном диаметром до 610 мм – $N_{уд} = 5,5$ кВт/(кг/с) и 6,6 кВт/(кг/с) – в увлажненных районах страны, для диаметра барабана свыше 610 мм – $N_{уд} = 5,8$ и 6,9 кВт/(кг/с) соответственно, для роторных комбайнов – $N_{уд} = 6,6$ и 7,9 кВт/(кг/с) соответственно [1, 2].

Для нахождения $N_{техн}$ при уборке сои комбайном, имеющим два молотильных барабана, нами предлагается формула:

$$N_{техн} = N_{уд} \cdot q \cdot \left(\frac{q \cdot v_{окр}^2}{1 - f_n} \right) \cdot 10^{-3} + \left(\frac{q_1 \cdot v_{1окр}^2}{1 - f_n} + \frac{q_2 \cdot v_{2окр}^2}{1 - f_n} \right) \cdot 10^{-3} + N_{ж}, \quad (7)$$

где f_n – коэффициент перетирания;

$v_{окр}$ – окружная скорость барабана для обмолота зерновых, м/с;

$v_{1окр}, v_{2окр}$ – окружная скорость 1-го и 2-го барабанов для обмолота сои, м/с;

q_1 – подача зерносомистой массы в первый молотильный аппарат, кг/с;

q_2 – подача зерносомистой массы во второй молотильный аппарат, (как правило, подается на 60-70% меньше зерна и на 36,4-27,8% меньше половины относительно первого молотильного барабана [3]) кг/с.

В свою очередь, для одного молотильного барабана предлагается вести расчет по формуле:

$$N_{техн} = N_{уд} \cdot q \cdot \left(\frac{q \cdot v_{окр}^2}{1 - f_n} \right) \cdot 10^{-3} + \left(\frac{q_1 \cdot v_{1окр}^2}{1 - f_n} \right) \cdot 10^{-3} + N_{ж}. \quad (8)$$

Мощность на работу жатки:

$$N_{ж} = K_{уд} \cdot B \cdot V_T \cdot \eta_b, \quad (9)$$

где $K_{уд}$ – удельное сопротивление жатки, кН/м;

B – ширина захвата жатки, м.

Подача зерносомистой массы в молотилку включает в себя подачу соломы, половы и зерна:

$$q = q_{солома} + q_{зерно}, \quad (10)$$

Подача соломы и половы в молотильный аппарат определяется:

$$q_{солома} = \frac{B \cdot V_T \cdot \eta_b \cdot Q_z \cdot \beta_c}{(1 - \beta_c) \cdot 10^{-3}}, \quad (11)$$

где B – ширина захвата жатки, м;

Q_z – урожайность зерна, т/га;

β_c – коэффициент соломистости, для сои принимаем $\beta_c = 0,54$ [4].

Соответственно, подача зерна в молотильный аппарат:

$$q_z = \frac{B \cdot V_T \cdot \eta_b \cdot Q_z}{10^{-3}} \quad (12)$$

Мощность на холостой ход рабочих органов комбайна:

$$N_{хх} = E_{хх} \cdot q_{max} \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

где $E_{хх}$ – энергия на привод холостого хода, Дж/кг;

q_{max} – максимальная расчетная подача, кг/с.

$$q_{max} = 1,833 \cdot i_k \cdot 0,833 \quad (14)$$

где i_k – параметрический индекс, связан с максимальной пропускной способностью комбайна.

Для зерноуборочных комбайнов с молотильными барабанами параметрический индекс определяется [5]:

$$i_k = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{N_c}{32} + \frac{F_n}{0,26} + \frac{F_c}{1,5} + \frac{F_p}{0,8} \right), \quad (15)$$

где N_e – мощность двигателя, л.с;

F_n – площадь подбарабаша, м²;

F_c – площадь соломотряса, м²;

F_p – площадь решет, м².

Для комбайнов с аксиально-роторной молотилкой [5]:

$$N_{\text{к}} = \frac{N_e}{126} + 0,15 \cdot (F_p + F_{\text{п.с}}), \quad (16)$$

где $F_{\text{п.с}}$ – площадь подроторной решетки, м².

Мощность на привод рабочих органов серийного измельчителя-разбрасывателя соломы:

$$N_{\text{разб}} = 1,6 \cdot q_{\text{макс}} + 3,7 \cdot q_{\text{св}} \quad (17)$$

где $q_{\text{макс}}$ – расчетная максимально возможная подачи соломы, при отношении зерна сои к соломе 1:0,67, кг/с [4].

Результаты и обсуждение

Расчеты мощностного баланса проведены для комбайнового парка Амурской области (наиболее распространенных моделей: Вектор-410, Т500, 1218-40 Амур-Палессе, CLAAS Тусано 340, John Deere W650 и др.), применяемых на уборке сои при влажности почвы от 20 до 28%. Расчёты позволили выявить критические условия эксплуатации, при которых наблю-

дается дефицит запаса проходимости и эксплуатационной мощности двигателя на уборочный процесс (рис. 1).

В целом по модельному ряду комбайнового парка Амурской области при влажности почвы от 24 до 26% при рабочих скоростях 2,5-2 м/с, рекомендуемых для уборки сои, расчетный дефицит мощности наблюдается у 1472 комбайнов, что составляет 92% парка. Величина расчетной недостающей мощности варьируется в диапазоне 4,9-24,4 кВт.

Для уборки сои используются комбайны с различными молотильно-сепарирующими устройствами, однако двухбарабанные комбайны предпочтительнее благодаря возможности настройки щадящего режима обмолота за счёт снижения частоты вращения первого барабана. Это минимизирует механическое повреждение зерна и обеспечивает эффективную сепарацию на участке первого барабана, что способствует сохранению посевных и товарных характеристик сои [3]. Реализовать щадящий режим обмолота позволяют, в частности, комбайны «Енисей 1200» и «Ростсельмаш Т500» (40 и 47 ед. соответственно).

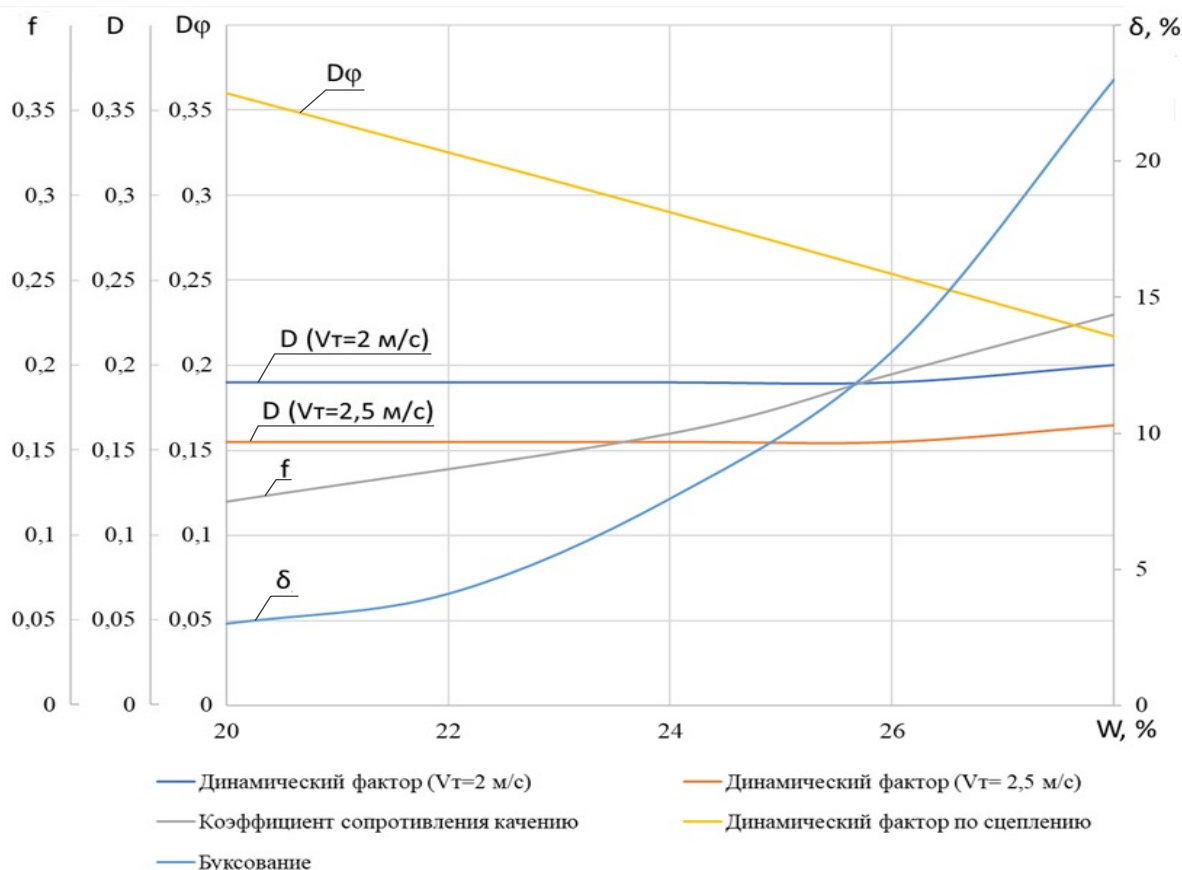


Рис. 1. Усредненные значения критериев проходимости зерноуборочных комбайнов

Приведены результаты расчета мощностного баланса на примере двухбарабанного зерноуборочного комбайна «Ростсельмаш Т500» (табл.).

Комбайн Т500 начал выпускаться с 2023 г. и является наиболее перспективным для уборки сои, особенно на репродукционных участках и семеноводческих хозяйствах.

Для расчета приняты $V_T = 2-2,5$ м/с [3], диапазон изменения влажности почвы $W = 20-28\%$, $Q_3 = 2,18$ т/га; $\eta_{тр} = 0,85$ [6]; $\delta = 3-23\%$ [16]; $f = 0,12-0,23$; $n_1 = 400$ об/мин. (первый барабан) [3, 7], $n_2 = 600$ об/мин. (второй барабан) [3, 7]; $f_n = 0,7$ [8]; $N_{уд} = 5,8-6,9$; $K_{уд} = 0,6-0,9$ [9]; $E_{хх} = 2750$ Дж/кг [10]; $\xi_N = 0,94$ [11, 12];

$N_e = 264$ кВт; $m_3 = 28297$ кг; $B = 9$ м; $D_1 = 0,8$ м; $D_2 = 0,75$ м; $F_n = 3$ м²; $F_c = 5,3$ м²; $F_p = 5,85$ м² [13].

Дефицит мощности на осуществление уборочного процесса колеблется от 9,3 кВт ($W=28\%$, $V_T=2$ м/с) до 5,4 кВт ($W=24\%$, $V_T=2,5$ м/с).

Для визуализации результатов построена поверхность отклика (рис. 2), которая позволяет утверждать, что при влажности 26% комбайн способен убирать сою на скоростях 2,15 м/с при условии резерва дополнительного источника мощности до 10 кВт.

Таблица 1

Мощностной баланс комбайна «Ростсельмаш Т500» на уборке сои на рекомендуемых рабочих скоростях при изменении влажности почвы $W= 20-28\%$

Влажность почвы, %	Теоретическая скорость движения, м/с	$N_{\text{передвиж.}}$, кВт	$N_{\text{т.}}$, кВт	Эксплуатационная мощность комбайна, кВт	Суммарно затрачиваемая мощность, кВт	Дефицит мощности, кВт
20	2	90	109	248,8	199	+ 49,8
	2,5	103,5	124,4		227,9	+ 20,9
24	2	112	108,4		220,4	+ 28,4
	2,5	130,5	123,7		254,2	- 5,4
28	2	148,1	110		258,1	- 9,3
	2,5	174	125,7		299,7	- 50,9

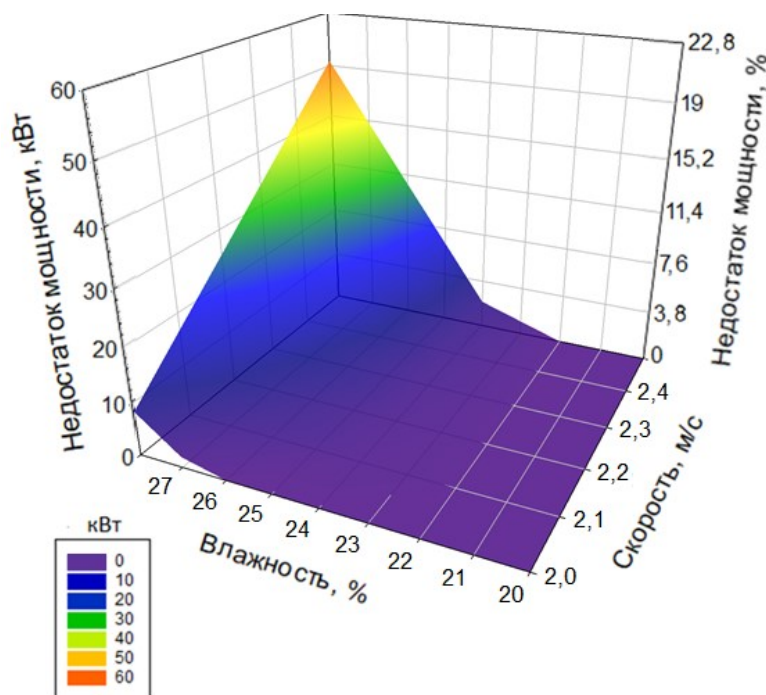


Рис. 2. Поверхность отклика изменения недостатка мощности на уборку сои от влажности почвы и скорости движения комбайна Т500

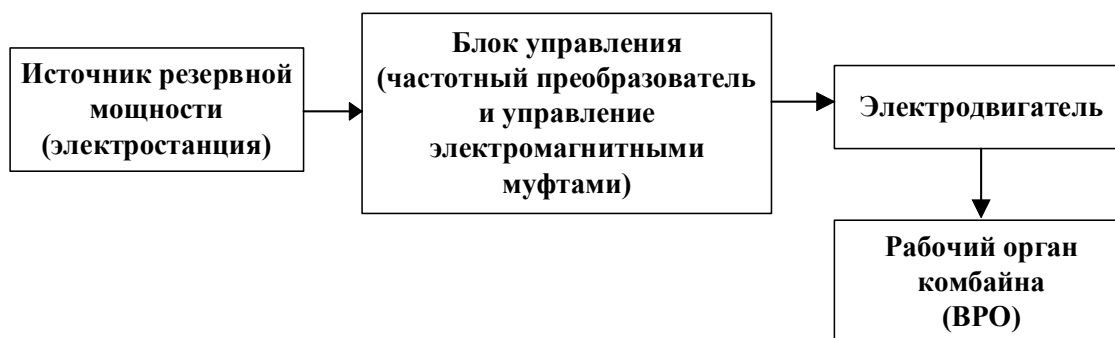


Рис. 3. Предлагаемая схема резервирования мощности

Когда превышение необходимой мощности относительно номинальной развиваемой энергетической установкой комбайна невелико, возможен вариант технической компенсации дефицита мощности. Для этого предлагается установить резервный источник мощности и направить вырабатываемую мощность на обеспечение работы отдельных рабочих органов, высвободившийся поток мощности, развиваемый двигателем комбайна, перераспределить на ходовую часть (рис. 3).

В качестве потребителя источника резервной мощности предлагается воздушно-решетная очистка (ВРО), на которую тратится до 7-8% от мощности двигателя комбайна [14, 15]. Для проверки работоспособности предлагаемого способа и подбора необходимого оборудования проведены испытания на лабораторном стенде, имитирующем ВРО двухбарабанного комбайна «Енисей 1200». Подача зерносомистой массы изменялась в диапазоне 5-7 кг/с, что соответствует нормативной пропускной способности комбайна. Установлено, что для привода ВРО экспериментальной установки требуется двигатель мощностью 7 кВт. Для проведения полевых испытаний на комбайне «Енисей 1200» была смонтирована платформа, на которой жёстко закреплён дизельный генератор мощностью 10 кВт, питающий электродвигатель через частотный преобразователь (обеспечивает необходимую установку числа оборотов электродвигателя для поддержания штатной частоты вращения вала вентилятора комбайна) (рис. 4).

Переход на резервное питание осуществляется в ручном режиме. Дистанционно, при помощи электромагнитных муфт, привод воздушно-решетной очистки отключается от ДВС, одновременно крутящийся момент от электродвигателя передаётся на вал вентилятора, который механически связан с грохотом, шнеком и элеватором ВРО. Освободившаяся мощность ДВС,

используемая на работу ВРО, перераспределяется на привод ведущих колес комбайна.



а



б

Рис. 4. Источник резервной мощности, установленный на зерноуборочный комбайн «Енисей 1200»:

а – электростанция;

б – электродвигатель с приводом на ВРО

Полевые испытания модернизированного комбайна проведены на опытном поле ФНЦ ВНИИ сои, с. Садовое Амурской области, при соблюдении регламентируемых настроек комбайна, сорт сои – Сентябринка, влажность почвы 26%, рабочая передача – вторая, полный вариатор. Целью полевых испытаний являлась

проверка работоспособности ВРО с электроприводом по сравнению со штатным режимом работы. Лабораторно-полевые испытания проводились в соответствии с ГОСТ 28301 «Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний». Для отбора проб и составления среднего образца для лабораторного анализа использовался специальный многоуровневый пробоотборник. Взвешивание навесок для определения показателей производилось на весах с точностью до $\pm 0,01$ г.

Пробы, отобранные из бункера во время полевых испытаний при работе ВРО с приводом, как от ДВС, так и от резервного источника мощности, показали идентичные значения по качеству очистки. Чистота бункерного зерна сои модернизированного комбайна составляла 97,8%, в том числе дробление семян – 4,1%, что соответствует агротехническим требованиям по качеству комбайновой уборки сои.

Выводы

Разработан способ резервирования мощности, заключающийся в установке на зерноуборочные комбайны дополнительного источника мощности. Предложенный способ позволяет перераспределить поток мощности на ходовую часть, обеспечивая компенсацию кратковременного дефицита мощности на передвижение без нарушения технологического процесса, что позволяет обеспечить работу колесного комбайнового парка на полях с влажностью почвы до 24-26%.

Библиографический список

1. Плаксин, А. М. Энергетика машинно-тракторных агрегатов: учебное пособие / А. М. Плаксин. – Челябинск: ЮУрГАУ, 2005. – 215 с. – Текст: непосредственный.
2. Капустин, В. П. Сельскохозяйственные машины: методические указания / В. П. Капустин, Д. Н. Коновалов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 32 с. – Текст: непосредственный.
3. Присяжная, И. М. Совершенствование процесса уборки сои для получения семян в комбайне двухфазного обмолота / И. М. Присяжная, С. П. Присяжная. – Благовещенск: Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», 2024. – 208 с. – ISBN 978-5-6040714-8-9. – EDN HYJSJQ. – Текст: непосредственный.

4. Использование экологически чистых технологий при получении зерна сои / В. Т. Синеговская, И. М. Присяжная, М. О. Синеговский, С. П. Присяжная. – DOI 10.31857/S2500262720030175. – Текст: непосредственный // Российская сельскохозяйственная наука. – 2020. – № 3. – С. 71-75. – EDN TTCGZA.

5. Жалнин, Э. В. Совершенствование конструкции зерноуборочных комбайнов путем гармонизации их базовых технических параметров / Э. В. Жалнин, М. Е. Чаплыгин. – Текст: непосредственный // Инженерные технологии и системы. – 2023. – Т. 33, № 3. – С. 403-416. – URL: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416>.

6. Определение основных параметров настройки и производительности зерноуборочного комбайна: методические указания / В. И. Ходосевич, Г. А. Радишевский, А. В. Кузьмицкий [и др.]. – Текст: непосредственный. – Минск, 2007. – 56 с. – Текст: непосредственный.

7. 100 вопросов и ответов о возделывании сои: рекомендации для руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий / А. Кузьмин, Е. Т. Наумченко, К. А. Никульчев [и др.]. – Благовещенск: ООО «Одеон», 2021. – 79 с. – ISBN 978-5-6040714-5-8. – EDN OVXBTS. – Текст: непосредственный.

8. Капустин, В. П. Сельскохозяйственные машины: методические указания / В. П. Капустин, Д. Н. Коновалов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 32 с. – Текст: непосредственный.

9. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов / В. А. Самсонов, А. А. Зангиев, Ю. Ф. Лачуга, О. Н. Дидманидзе. – Москва: Колос, 2000. – 248 с. – Текст: непосредственный.

10. Леонов, А. Н. Определение номинальной мощности двигателя комбайна и скорости его движения при уборке зерновых, обеспечивающих минимальный уровень удельных затрат при заданной производительности труда / А. Н. Леонов, Ц. Ли. – Текст: непосредственный // Агропнорма. – 2019. – № 6. – С. 10-18. – ISSN 2078-7138.

11. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию, комбайн самоходный зерноуборочный РСМ-101 «Вектор», ООО «Комбайновый завод «РОСТСЕЛЬМАШ». – URL: <https://portalteplic.ru/files/instrukciya-po->

ekspluatacii-vektor-410.PDF. – Текст: электронный.

12. Труфляк, Е. В. Современные зерноуборочные комбайны: учебное пособие для СПО / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 320 с. – Текст: непосредственный.

13. Официальный сайт Ростсельмаш. Т500. – URL: <https://rostselmash.com/products/combine/t500/> (дата обращения: 21.10.2025). – Текст: электронный.

14. Evaluation of the operation of the fan of the combine harvester air-and-screen cleaning system when using an asynchronous electric motor as a drive / O. A. Pustovaya, E. A. Pustovoy, V. S. Usanov [et al.] // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 108. – P. 22004. – DOI 10.1051/bioconf/202410822004. – EDN DHPUBQ.

15. Мартыненко, Д. С. Повышение эффективности системы очистки зерноуборочного комбайна путем применения рекуперативного привода решет и транспортной доски: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мартыненко Дмитрий Сергеевич, 2015. – 170 с. – EDN RNXXOXQ. – Текст: непосредственный.

16. Козлова, Л. В. Повышение эффективности использования комбайнов в зоне Дальнего Востока за счёт рационального сочетания колёсных и гусеничных машин (на примере Амурской области): специальность 05.20.03 «Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники» диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Козлова Лариса Викторовна. – Санкт-Петербург, 1992. – 127 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Plaksin, A. M. Energetika mashinno-trakornykh agregatov: учебное пособие / A. M. Plaksin. – Chelyabinsk: YuUrGAU, 2005. – 215 s.

2. Kapustin, V. P. Selskokhozyaystvennyye mashiny: metod. ukaz. / V.P. Kapustin, D.N. Konovalov. – Tambov: Izd-vo GOU VPO TGTU, 2011. – 32 s.

3. Prisyazhnaya, I. M. Sovershenstvovanie protsessa uborki soi dlya polucheniya semyan v kombayne dvukhfaznogo obmolota / I. M. Prisyazhnaya, S. P. Prisyazhnaya. – Blagoveshchensk: FGBNU FNTs VNII soi, 2024. – 208 s.

4. Sinegovskaya, V. T. Ispolzovanie ekologicheskikh chistykh tekhnologiy pri poluchenii zerna soi / V. T. Sinegovskaya, I. M. Prisyazhnaya, M. O. Sinegovskiy, S.P. Prisyazhnaya // Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka. – 2020. – No. 3. – S. 71-75. – DOI 10.31857/S2500262720030175.

5. Zhalnin, E. V., Chaplygin M. E. Sovershenstvovanie konstruktivnykh zernoubochnykh kombaynov putem garmonizatsii ikh bazovykh tekhnicheskikh parametrov // Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2023. T. 33, No. 3. S. 403–416. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416>.

6. Khodosevich, V.I. Opredelenie osnovnykh parametrov nastroyki i proizvoditelnosti zernoubochnogo kombayna / V.I. Khodosevich, G.A. Radishevskiy, A.V. Kuzmitskiy, R.S. Stashinskiy, T.V. Avlasenko / metodicheskie ukazaniya. Minsk, 2007.

7. 100 voprosov i otvetov o vozdeystvii soi: rekomendatsii dlya rukovoditeley i spetsialistov selskokhozyaystvennykh predpriyatiy / A. Kuzmin, E. T. Naumchenko, K. A. Nikulchev [i dr.]. – Blagoveshchensk: OOO "Odeon", 2021. – 79 s.

8. Kapustin, V.P. Selskokhozyaystvennyye mashiny: metod. ukaz. / V.P. Kapustin, D.N. Konovalov. – Tambov: Izd-vo GOU VPO TGTU, 2011. – 32 s.

9. Samsonov, V.A. Osnovy teorii mobilnykh selskokhozyaystvennykh agregatov / Samsonov V.A., Zangiev A.A., Lachuga Yu.F., Didmanidze O.N. – Moskva: Kolos, 2000. – 248 s.

10. Leonov, A.N. Opredelenie nominalnoy moshchnosti dvigatelya kombayna i skorosti ego dvizheniya pri uborke zemovykh, obespechivayushchikh minimalnyy uroven udelnykh zatrat pri zadannoy proizvoditelnosti truda / A. N. Leonov, Ts. Li // Agropanorama. – 2019. – No. 6. – S. 10-18.

11. Instruktsiya po ekspluatatsii i tekhnicheskemu obsluzhivaniyu, kombayn samokhodnyy zernoubochnyy RSM-101 "Vektor", OOO "Kombaynovyy zavod ROSTSELMASH".

12. Truflyak, E. V. Sovremennyye zernoubochnyye kombayny: учебное пособие для СПО / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 320 с.

13. Ofitsialnyy sayt Rostselmash. T 500 [Elektronnyy resurs]. URL: <https://rostselmash.com/products/combine/t500/> (data obrashcheniya 21.10.2025).

14. Pustovaya O. A., Pustovoy E. A., Usanov V. S., et al. (2024). Evaluation of the operation of the fan of the combine harvester air-and-screen cleaning system when using an asynchronous electric motor as a drive. BIO Web of Conferences. 108: 22004. – DOI 10.1051/bioconf/202410822004.

15. Martynenko, D. S. Povyshenie effektivnosti sistemy ochistki zernouborochnogo kombayna putem primeneniya rekuperativnogo privoda reshet i transportnoy doski: spetsialnost 05.20.01 "Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii selskogo khozyaystva": dissertatsiya na soiskanie uchenoy

stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Martynenko Dmitry Sergeevich, 2015. – 170 s.

16. Kozlova L.V. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya kombaynov v zone Dalnego Vostoka za schet ratsionalnogo sochetaniya kolesnykh i gusenichnykh mashin (na primere Amurskoy oblasti): spetsialnost 05.20.03 "Ekspluatatsiya, vostanovlenie i remont selskokhozyaystvennoy tekhniki" dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. – Sankt-Peterburg, 1992. – 127 s.



УДК 621.316

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-262-8-80-86

З.Р. Юлмухаметов, Р.Р. Галиуллин

Z.R. Yulmukhametov, R.R. Galiullin

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ БЮДЖЕТНОГО АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВОЖДЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

DEVELOPMENT OF AFFORDABLE HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR PARALLEL DRIVING OF A MACHINE-TRACTOR UNIT

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, планшет, спутниковый приемник, корректировка, низкая относительная погрешность, машинно-тракторный агрегат, система параллельного вождения, точное земледелие, GNSS, электронный компас, акселерометр.

Представлены результаты разработки и апробации экономичного отечественного аппаратно-программного комплекса, предназначенного для автоматизации процесса параллельного движения машинно-тракторных агрегатов в условиях точного земледелия. Актуальность обусловлена стратегической задачей импортозамещения и необходимостью обеспечения отечественных сельхозпредприятий доступными по цене средствами автоматизации. В основе комплекса лежит планшетный компьютер со встроенными инерциальными датчиками и магнитометром, интегрированный с многочастотным спутниковым приемником GPS/ГЛОНАСС и блоком управления. Разработан алгоритм компенсации погрешностей позиционирования, возникающих при поперечных и продольных кренах агрегата на неровностях почвенного покрова, что позволило достичь субдециметровой точности определения местоположения (погрешность не превышает 0,1 м). Проведенный комплекс натурных экспериментов включал испытания на тракторной технике MT3-82 и John Deere, а также на самоходном разбрасывателе удобрений

«Туман-2» с параллельной записью треков штатной системой TeeJet Matrix Pro 570GS. Установлено функциональное соответствие отечественной разработки импортному аналогу по показателям выработки (обработанная площадь 16,06 га за 20 мин. 51 с и 31,87 га за 20 мин. 11 с) при значительно большей устойчивости к внешним помехам. Выявлено, что при ручном управлении по курсоуказателю возможны отклонения до 30-40 см, для устранения которых целесообразно применение автоматического подруливающего устройства. Себестоимость созданного комплекса в несколько раз ниже зарубежных образцов при сопоставимых технических характеристиках. Дополнительно подтверждено, что внедрение комплекса позволяет сократить перекрытия и пропуски на 15-25%, повысить производительность полевых работ на 13-20% и обеспечить круглосуточный режим использования техники.

Keywords: hardware and software complex, tablet PC, satellite receiver, adjustment, low relative error, machine-tractor unit, parallel driving system, precision agriculture, Global Navigation Satellite System (GNSS), electronic compass, accelerometer.

The results of development and testing of an economical domestic hardware-software complex designed to automate the process of parallel movement of machine-tractor units under precision agriculture conditions