

Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 2 (46). С. 57–69

Vestnik Kurganskoy GSNA. 2023; (2–46): 57–69

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 631.3

Код ВАК 4.3.1

EDN: WMOXNX

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МАШИН И
ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Алексей Иванович Дерепаскин¹, Юрий Владимирович Полищук², Артём Павлович Комаров³✉, Максим Александрович Плохотенко⁴, Николай Владимирович Лаптев⁵
1, 2, 3, 4, 5Костанайский филиал ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии»,
Костанай, Казахстан

¹ celinnii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4553-5474>

² celinnii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6215-6487>

³ celinnii@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-9182-5096>

⁴ celinnii@mail.ru

⁵ celinnii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4115-3025>

Аннотация. Цель исследования – разработка экономико-математической модели для выполнения работ по обоснованию оптимального комплекса машин [1]. Разработка модели основывается на методах оптимизации использования машинно-тракторного парка и методах оценки эффективности использования сельскохозяйственной техники. Определены комплексные затраты для агрегатов на технологических операциях при различном сочетании обеспеченности хозяйств механизаторами и урожайности сельскохозяйственных культур. Проведены расчеты и определены суммарные комплексные затраты без использования оборудования для точного земледелия и с его установкой на агрегат. По результатам расчетов выбирался трактор и комбайн с минимальным значением комплексных затрат и тракторы и комбайны, имеющие комплексные затраты в пределах допуска (пять процентов от минимального значения). После чего подбирался шлейф необходимых машин для возделывания сельскохозяйственных культур. Далее формировались предварительные комплексы машин и оборудования для реализации технологий возделывания сельскохозяйственных культур по системе точного земледелия применительно к условиям ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» [1]. Разработанная экономико-математическая модель учитывает эффективность применения систем точного земледелия при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях северного региона Республики Казахстан. Использование тракторов и комбайнов, оборудованных системами точного земледелия, способствует снижению суммарных комплексных затрат на возделывании и уборке сельскохозяйственных культур по сравнению с вариантом без систем с 1664 (286) до 2550 (440) тенге/га (руб./га) в зависимости от марки трактора, комбайна и урожайности возделываемой культуры.

Ключевые слова: точное земледелие, экономико-математическая модель, комплексные затраты, комплекс машин, критерий оптимизации.

Для цитирования: Дерепаскин А.И., Полищук Ю.В., Комаров А.П., Плохотенко М.А., Лаптев Н.В. Формирование оптимальных комплексов машин и оборудования в системе точного земледелия // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 2 (46). С. 57–69. EDN: WMOXNX.

Scientific article

FORMATION OF OPTIMAL COMPLEXES OF MACHINES AND
EQUIPMENT IN PRECISION FARMING SYSTEM

Alexey I. Derepaskin¹, Yury V. Polychshuk², Artyom P. Komarov³✉, Maxim A. Plokhotenko⁴,
Nikolai V. Laptev⁵

1, 2, 3, 4, 5Kostanai branch LLP «Scientific production center of agricultural engineering», Kostanay,
Kazakhstan Kazakhstan

¹ celinnii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4553-5474>

² celinnii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6215-6487>

³ celinnii@mail.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-9182-5096>

⁴ celinnii@mail.ru

⁵ celinnii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4115-3025>

Abstract. The purpose of the study is to develop an economic and mathematical model for performing work on the justification of the optimal set of machines [1]. The development of the model is based on methods for optimizing the use of the machine and tractor fleet and methods for evaluating the efficiency of using agricultural machinery. The complex costs for units at technological operations are determined for a different combination of the provision of farms with machine operators and agricultural yields. Calculations were carried out and the total complex costs

© Дерепаскин А.И., Полищук Ю.В., Комаров А.П., Плохотенко М.А., Лаптев Н.В., 2023

were determined without the use of equipment for precision farming and with its installation at the unit. According to the results of the calculations, a tractor and a combine harvester with a minimum value of complex costs were selected as well as tractors and combine harvesters with complex costs within tolerance (five percent of the minimum value). After that, a set of necessary machines for the cultivation of crops was selected. Further, preliminary complexes of machines and equipment were formed for the implementation of technologies for the cultivation of crops according to the system of precision farming in relation to the conditions of LLP «North-Kazakhstan agricultural experimental station» [1]. The developed economic and mathematical model takes into account the effectiveness of the application of precision farming systems in the cultivation of crops in the conditions of the northern region of the Republic of Kazakhstan. The use of tractors and combine harvesters equipped with precision farming systems helps to reduce the total complex costs for the cultivation and harvesting of crops from 1664 (286) to 2550 (440) tenge / ha (rubles / ha) compared to the option without such systems, depending on the brand of a tractor, a combine harvester and the yield of cultivated crop.

Key words: precision farming, economic and mathematical model, complex costs, complexes of machines, optimization criterion.

For citation: Derpaskin A. I., Polychshuk Yu. V., Komarov A. P., Plokhotenko M. A., Laptev N. V. Formation of optimal complexes of machines and equipment in the precision farming system. Vestnik Kurganskoj GSXA. 2023; (2–46): 57–69. EDN: WMOXNX. (in Russ).

Введение. Увеличение производства продукции растениеводства и животноводства является одной из основных задач в сельском хозяйстве. В связи с этим вопросы организации и интенсификации их производства приобретают значительную актуальность. Обеспечить рентабельность при возделывании сельскохозяйственных культур и отрасли в целом возможно только при переходе от затратных агротехнологий к ресурсо- и энергосберегающим.

Одним из базовых элементов ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве является «точное земледелие» («прецизионное земледелие» – precision agriculture) [1-3]. Как показывает международный опыт, такой подход обеспечивает гораздо больший экономический эффект и позволяет повысить воспроизводство почвенного плодородия и уровень экологической чистоты сельскохозяйственной продукции [1; 4-5]. На сегодняшний день в сельском хозяйстве США и странах Европы происходит активное внедрение и применение систем точного земледелия [1; 6-8].

Механизация наиболее массовых видов работ в сельском хозяйстве обуславливает актуальность оптимизации применяемых машин в сочетании с современными технологиями, позволяющими повысить эффективность выполняемых работ [1; 9-11]. Существующие экономико-математические модели не в полной мере учитывают уровень развития современных технологий, в частности применение систем точного земледелия в сельском хозяйстве [12-14]. В связи с этим возникла необходимость разработки экономико-математической модели [15-16], применение которой позволит сформировать оптимальные комплексы машин и оборудования для комплексной механизации возделывания культур в системе точного земледелия в северном регионе Республики Казахстан [1; 17-18].

Материалы и методы. Одним из этапов формирования оптимального комплекса машин является разработка экономико-математической модели, которая позволит выявить МТА с минимальными комплексными затратами в системе точного

земледелия и определить границы эффективного использования машин и оборудования для комплексной механизации возделывания культур в системе точного земледелия для сельскохозяйственного производства Северо-Казахстанской области [1].

Разработка модели проводилась на основе анализа научно-технической литературы, описывающей методы оптимизации использования машинно-тракторного парка. Известно, что процесс экономико-математического моделирования состоит из отдельных, но взаимосвязанных этапов:

- постановка задачи и обоснование критерия оптимальности;
- разработка структурной математической модели;
- сбор и обработка исходной информации;
- построение развернутой матрицы задачи (числовой модели);
- решение задачи с применением компьютеров, анализ и корректировка.

Выбор критериев оценки эффективности использования машинно-тракторного парка и технических средств для систем точного земледелия проводился на основании анализа научно-технической литературы, описывающей методы оценки эффективности использования сельскохозяйственной техники [1]. В качестве критериев оптимизации использованы:

- максимум производительности;
- минимум затрат труда на единицу наработки;
- минимум прямых (эксплуатационных) затрат;
- минимум капитальных вложений на приобретение тракторов и сельскохозяйственной техники;
- минимум энергоемкости;
- минимум расхода топлива и др.

С учетом выбранного критерия разработана экономико-математическая модель для формирования оптимальных комплексов машин и оборудования для комплексной механизации возделывания культур в системе точного земледелия для различного уровня оснащенности хозяйств в Северо-Казахстанской области.

При разработке модели учитывается, что для разных зональных условий Казахстана огромное

значение имеет продолжительность и качество выполнения работ, оказывающие непосредственное влияние на потери сельскохозяйственной продукции. Сократить продолжительность проведения и повысить качество полевых работ возможно либо за счет повышения количества работающих агрегатов, либо за счет повышения их производительности с применением систем точного земледелия. Первый путь является практически невозможным из-за низкой обеспеченности механизаторскими кадрами, поэтому при выполнении полевых работ необходимо исходить из условия выполнения всех работ имеющимися в хозяйствах механизаторами. В этом случае использование более производительных МТА, оборудованных системами точного земледелия, позволит сократить продолжительность проведения сельскохозяйственных работ, повысить качество и, следовательно, снизить потери урожая. Существующие экономико-математические модели не принимают во внимание ограничения на механизаторов, и поэтому при разработке экономико-математической модели это не учитывалось [1].

Исходной информацией для разработки и реализации модели являются:

- данные приемочных и сравнительных испытаний МИС;
- данные хронометражных наблюдений;
- данные научно-технических источников (нормативов);
- расчетные данные;
- технологические карты на сельскохозяйственные культуры;
- составы агрегатов;
- технические характеристики оборудования для точного земледелия;
- количество рабочих по видам (механизаторы, шоферы, вспомогательные рабочие);
- виды топлива (дизельное, бензин или по маркам);
- данные, необходимые для расчёта денежных затрат (тарифные ставки рабочих по видам, цены на топливо, балансовые стоимости техники, нормативы отчислений на амортизацию, ТО, ремонт и др.) [1].

Результаты исследований и их обсуждение. При разработке экономико-математической модели в качестве основного критерия для оценки, как отмечалось ранее, приняты комплексные затраты денежных средств. Модель учитывает уровень цифровизации производства.

Математическое выражение модели имеет следующий вид:

$$I_{к.з.} = \left(\frac{B_{эн}(a_{эн} + r_{эн} + \mu)}{T_{эн}} + \frac{B_{схм}(a_{схм} + r_{схм} + \mu)}{T_{схм}} + \frac{B_{сц}(a_{сц} + r_{сц} + \mu)}{T_{сц}} + \frac{B_o(a_o + r_o + \mu)}{T_o} + LbK_3 + \Pi_T g_ч + \frac{З_{мех}}{T_{мех}} \right) / W_{сч} + З_{орг} + З_{пр} + \Pi_{ур} + I_{ут} + I_3 \Rightarrow \min \quad (1)$$

Отдельные составляющие модели определяются по следующим зависимостям:

$$B_{эг} = f(P_H) \quad (2)$$

$$B_{схм} = f(\Pi_{уд,схм}, B) \quad (3)$$

$$B_{сц} = f(\Pi_{уд,сц}, B_{сц}) \quad (4)$$

$$\Pi_{ур} = (D_p - D_{доп}) UK_{п} \Pi_{у} \quad (5)$$

$$D_p = \frac{F_{мех}}{W_{сч} K_{пог} K_{гот} T_{сч}} \quad (6)$$

$$W_{сч} = 0,1 BK_{в} V_p \tau_{сч} \quad (7)$$

$$F_{мех} = \sum_{i=1}^n \frac{1000}{N_{мех_i}} \quad (8)$$

$$I_3 = N_{эк} q_T \quad (9)$$

$$I_{ут} = \frac{T_{ф}}{T_{фj}} \left(\frac{(1 - K_{бт}) b Л + \frac{И_{м.Л} + b T_{сч} N_{п} \Psi}{T_{мех}}}{W_{сч}} \right) \quad (10)$$

Ограничения переменных:

$N_{мех} \leq N_{мех}^{хоз}, D_p \leq D_{доп}, V_p \leq V_{агр,доп}$, не отрицательность переменных.

где $B_{эн}, B_{схм}, B_{сц}, B_o$ – балансовая стоимость трактора (комбайна), сельскохозяйственной машины, сцепки, оборудования для точного земледелия, устанавливаемого на МТА, тенге;

$a_{эн}, a_{схм}, a_{сц}, a_o$ – коэффициенты отчислений на реновацию трактора (комбайна), сельхозмашины, сцепки, оборудования для точного земледелия, устанавливаемого на МТА;

$r_{эн}, r_{схм}, r_{сц}$ – коэффициенты отчислений на ремонт и техническое обслуживание трактора (комбайна), сельхозмашины, сцепки, оборудования для точного земледелия, устанавливаемого на МТА;

μ – банковский коэффициент за кредит;

L – число обслуживающего персонала, чел.;

b – оплата труда обслуживающего персонала, тенге/чел.-ч;

Тэн, Тсхм, Тсц, Тмех, То – годовая загрузка трактора (комбайна), сельхозмашины, сцепки, механизатора, оборудования для точного земледелия, устанавливаемого на МТА, ч;

Кз – коэффициент начислений на зарплату [1];

Цт – цена 1 кг топлива, тенге;

q_ч – часовой расход топлива, кг;

Змех – эффективность труда механизатора, тенге;

Wсм – производительность за час сменного времени, га;

Зотз – затраты на эксплуатацию оборудования для точного земледелия, которое не используется на механизированных полевых работах, тенге/га;

Зпр – прочие затраты (семена, удобрения, накладные расходы, налоги и пр.), тенге/га;

Пур – стоимость потерь урожая, тенге/га;

Иут – затраты средств, учитывающие уровень условий труда механизатора, тенге/га;

Из – затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду, тенге/га;

Рн – номинальное тяговое усилие трактора, кН;

V_р – рабочая скорость движения, км/ч;

Ц_{уд.схм}, Ц_{уд.сц} – удельная стоимость с.-х. машины и сцепки, тенге/м;

B, B_{сц} – ширина захвата сельскохозяйственной машины и сцепки, м;

D_р – продолжительность работы, дней;

D_{бп} – продолжительность работы без потерь, дней;

У – урожайность, т/га;

K_п – коэффициент учета потерь урожая за день с одного гектара;

Ц_у – стоимость продукции, тенге/т;

F_{мех} – нагрузка на механизатора, га;

K_{пог} – коэффициент погодных условий;

K_{гот} – коэффициент готовности техники;

T_{см} – продолжительность смены, ч;

K_в – коэффициент использования ширины захвата агрегата [1];

τ_{см} – коэффициент использования времени смены;

N_{мехi} – количество механизаторов, занятых на выполнении операции, чел;

n – количество одновременно выполняемых операций;

T_ф – фактическая загрузка техники на операции, ч;

T_{фj} – годовая фактическая загрузка техники, ч;

K_{от} – совокупный комплексный показатель безопасности труда;

I_м – затраты на подготовку одного механизатора в год, тенге;

Z – коэффициент текучести кадров;

N_п – коэффициент потерь рабочих дней;

Ψ – коэффициент материальных потерь по причине травматизма;

N_{эк} – норма затрат на охрану окружающей среды, тенге/кг [1].

Частные коэффициенты использования сменного времени определяют по результатам ранее проведенных наблюдений за аналогичными машинами и орудиями.

Формирование предварительных оптимальных комплексов машин и оборудования для реализации в ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» перспективных технологий возделывания сои, пшеницы и ячменя по системе точного земледелия выполнялось по следующему алгоритму:

- проведен сбор исходных данных для реализации экономико-математической модели;

- в качестве критерия оптимизации приняты комплексные затраты;

- разработана экономико-математическая модель;

- для уточнения технико-эксплуатационных показателей проведены испытания машинно-тракторных агрегатов в ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» с оценкой функциональных, эксплуатационно-технологических, энергетических и экономических показателей на посеве, химической обработке, уборке и основной обработке почвы;

- с помощью экономико-математической модели определены комплексные затраты для агрегатов на технологических операциях, выполняемых при возделывании и уборке пшеницы, ячменя и сои при различном сочетании обеспеченности хозяйств механизаторами и урожайности сельскохозяйственных культур;

- расчеты проведены для трех вариантов: без использования оборудования для точного земледелия, с установкой на трактора и комбайны оборудования для параллельного вождения и с установкой на трактора и комбайны автопилота;

- определялись суммарные комплексные затраты на возделывании и уборке пшеницы, ячменя и сои по каждому из рассматриваемых тракторов (22 модели) и комбайнов (13 моделей);

- для каждого варианта расчетов выбирался трактор и комбайн с минимальным значением комплексных затрат и тракторы и комбайны, имеющие комплексные затраты в пределах допуска (пять процентов от минимального значения);

– для выбранных тракторов подбирались шлейфы необходимых машин для возделывания пшеницы, ячменя и сои;

– формировались предварительные комплексы машин и оборудования для реализации технологий возделывания сои, пшеницы и ячменя по системе точного земледелия применительно к условиям ТОО «Северо-Казахстанская СХОС».

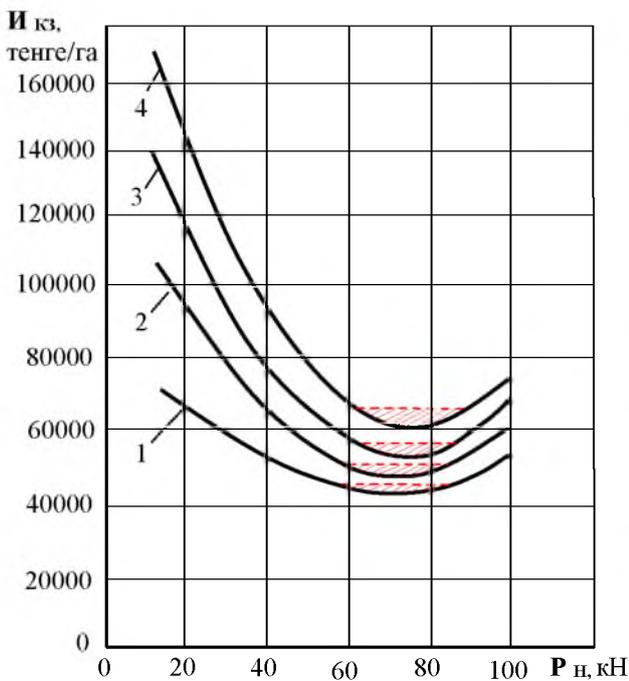
Рассмотрим на примере зерновых культур процесс формирования предварительных комплексов машин и оборудования. На рисунке 1 представлены зависимости комплексных затрат от нагрузки и номинального тягового усилия трактора при урожайности зерновых культур 1,5 т/га для варианта с установкой на трактора автопилота, на рисунке 2 – зависимости комплексных затрат от урожайности зерновых культур и номинального тягового усилия трактора при нагрузке на трактор 500 га для варианта с установкой на трактора автопилота [15]. Реализация экономико-математической модели позволила установить, что зависимость комплексных затрат от номинального тягового усилия трактора носит экстремальный характер во всём диапазоне рассмотренных значений урожайности и нагрузки на технику. Причем, как видно из рисунков 1 и 2, минимум комплексных затрат с ростом нагрузки на трактор и урожайности

смещается в зону более высоких номинальных тяговых усилий.

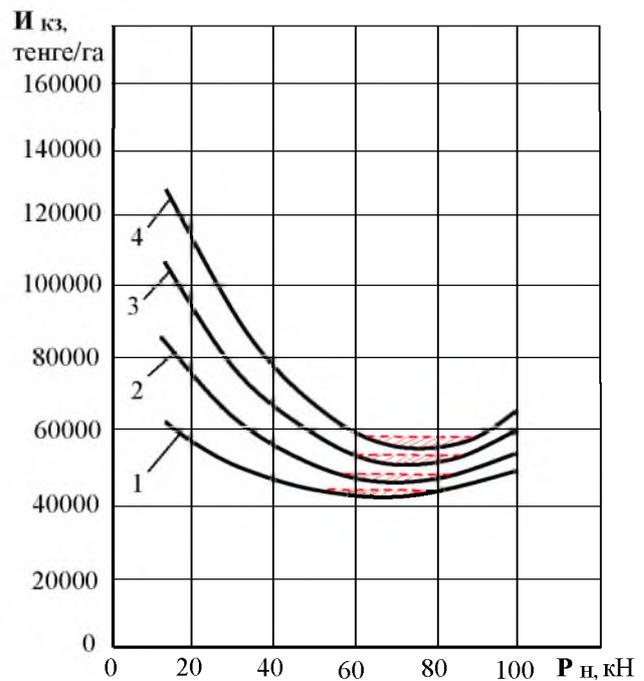
Из рисунков 1 и 2 также видно, что в зоне минимума комплексные затраты изменяются незначительно при изменении номинального тягового усилия в довольно широком диапазоне. Поэтому при анализе результатов рассматривался трактор и комбайн с минимальным значением комплексных затрат и тракторы и комбайны, имеющие комплексные затраты в пределах допуска (пять процентов от минимального значения).

Анализ полученных результатов расчетов, представленных на рисунках 1 и 2 показывает, что при малом номинальном тяговом усилии применяемых тракторов комплексные затраты растут из-за увеличения стоимости потерь (левая ветвь графиков), а при большом номинальном тяговом усилии – из-за увеличения стоимости применяемых тракторов. При этом стоимость увеличения потерь нарастает интенсивнее, чем увеличение стоимости тракторов.

Такие расчеты по определению комплексных затрат для тракторов и комбайнов в зависимости от урожайности культур и нагрузки на технику были выполнены для различных сельскохозяйственных культур (пшеница, ячмень и соя). Результаты расчетов для зерновых культур представлены в таблицах 1-6.



1 – 250 га; 2 – 500 га; 3 – 750 га; 4 – 1000 га
Рисунок 1 – Зависимость комплексных затрат от нагрузки и номинального тягового усилия трактора при урожайности зерновых культур 1,5 т/га



1 – 0,5 т/га; 2 – 1,0 т/га; 3 – 1,5 т/га; 4 – 2,0 т/га
Рисунок 2 – Зависимость комплексных затрат от урожайности зерновых культур и номинального тягового усилия трактора при нагрузке на трактор 500 га

Таблица 1 – Суммарные комплексные затраты на возделывание зерновых культур (пшеница, ячмень) для варианта с установкой на трактора автопилота при нагрузке на трактор 250 и 500 га

Марка трактора	Комплексные затраты, тенге/га							
	нагрузка на трактор 250 га				нагрузка на трактор 500 га			
	урожайность, т/га				урожайность, т/га			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Беларус-80.1	45652,82	57008,90	68364,99	79721,08	57008,90	79721,08	102433,26	125145,44
Беларус-1221	42049,75	49169,41	56289,07	63408,73	49169,41	63408,73	77648,04	91887,36
Беларус-1523	43263,89	49585,64	55907,39	62229,13	49585,64	62229,13	74872,63	87516,12
John Deere 6095B	55378,98	66522,61	77666,24	88809,88	66522,61	88809,88	111097,14	133384,41
Case Magnum 280	41950,93	45062,49	48174,04	51285,60	45062,49	51285,60	57508,71	63731,82
Claas Arion 410	55871,90	66994,91	78117,93	89240,94	66994,91	89240,94	111486,97	133732,99
Кировец К-424	43303,18	47783,49	52263,80	56744,12	47783,49	56744,12	65704,75	74665,37
Кировец К-730	35049,01	38579,88	42110,76	45641,63	38579,88	45641,63	52703,38	59765,13
Кировец К-735	32476,02	35207,75	37939,47	40671,20	35207,75	40671,20	46134,66	51598,11
Кировец К-739	31242,44	33658,32	36074,20	38490,08	33658,32	38490,08	43321,85	48153,61
Кировец К-742	32698,76	35189,77	37680,79	40171,80	35189,77	40171,80	45153,82	50135,85
John Deere 8270	49930,99	58274,92	61399,79	64524,66	53055,86	64524,66	70774,41	77024,15
John Deere 9430	47494,91	49630,12	51765,34	53900,55	49630,12	53900,55	58170,98	62441,42
John Deere 9470	45967,54	47859,13	49750,72	51642,31	47859,13	51642,31	55425,49	59208,67
Buhler 2375	40376,04	42854,37	45332,71	47811,04	42854,37	47811,04	52767,71	57724,38
Buhler 2425	40563,22	42789,07	45014,92	47240,77	42789,07	47240,77	51692,47	56144,17
Case Steiger 425	47812,17	49972,09	52132,02	54291,95	49972,09	54291,95	58611,80	62931,66
Case Steiger 500	39237,79	40686,51	42135,23	43583,95	40686,51	43583,95	46481,38	49378,82
Case Steiger 600	40599,45	42048,16	43496,88	44945,60	42048,16	44945,60	47843,04	50740,47
Claas Axion 920	43818,81	46678,56	49538,32	52398,07	46678,56	52398,07	58117,58	63837,09
Claas Axion 950	39887,07	42117,58	44348,09	46578,59	42117,58	46578,59	51039,61	55500,63
Claas Xerion 5000	47376,47	49255,25	51134,03	53012,81	49255,25	53012,81	56770,36	60527,92

Таблица 2 – Суммарные комплексные затраты на возделывание зерновых культур (пшеница, ячмень) для варианта с установкой на трактора автопилота при нагрузке на трактор 750 и 1000 га

Марка трактора	Комплексные затраты, тенге/га							
	нагрузка на трактор 750 га				нагрузка на трактор 1000 га			
	урожайность, т/га				урожайность, т/га			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Беларус-80.1	68364,99	102433,26	136501,53	170569,80	79721,08	125145,44	170569,80	215994,15
Беларус-1221	56289,07	77648,04	99007,02	120366,00	63408,73	91887,36	120366,00	148844,64
Беларус-1523	55907,39	74872,63	93837,87	112803,11	62229,13	87516,12	112803,11	138090,09
John Deere 6095B	77666,24	111097,14	144528,04	177958,94	88809,88	133384,41	177958,94	222533,47
Case Magnum 280	48174,04	57508,71	66843,37	76178,04	51285,60	63731,82	76178,04	88624,26
Claas Arion 410	78117,93	111486,97	144856,00	178225,04	89240,94	133732,99	178225,04	222717,09
Кировец К-424	52263,80	65704,75	79145,69	92586,63	56744,12	74665,37	92586,63	110507,89
Кировец К-730	42110,76	52703,38	63296,01	73888,63	45641,63	59765,13	73888,63	88012,13
Кировец К-735	37939,47	46134,66	54329,84	62525,02	40671,20	51598,11	62525,02	73451,93
Кировец К-739	36074,20	43321,85	50569,50	57817,14	38490,08	48153,61	57817,14	67480,67
Кировец К-742	37680,79	45153,82	52626,86	60099,89	40171,80	50135,85	60099,89	70063,94
John Deere 8270	56180,73	70774,41	80149,02	89523,64	59305,61	77024,15	89523,64	102023,13
John Deere 9430	51765,34	58170,98	64576,63	70982,28	53900,55	62441,42	70982,28	79523,14
John Deere 9470	49750,72	55425,49	61100,26	66775,03	51642,31	59208,67	66775,03	74341,40
Buhler 2375	45332,71	52767,71	60202,72	67637,72	47811,04	57724,38	67637,72	77551,06
Buhler 2425	45014,92	51692,47	58370,02	65047,57	47240,77	56144,17	65047,57	73950,98
Case Steiger 425	52132,02	58611,80	65091,58	71571,37	54291,95	62931,66	71571,37	80211,08
Case Steiger 500	42135,23	46481,38	50827,54	55173,69	43583,95	49378,82	55173,69	60968,56
Case Steiger 600	43496,88	47843,04	52189,19	56535,34	44945,60	50740,47	56535,34	62330,21
Claas Axion 920	49538,32	58117,58	66696,84	75276,11	52398,07	63837,09	75276,11	86715,12
Claas Axion 950	44348,09	51039,61	57731,13	64422,66	46578,59	55500,63	64422,66	73344,69
Claas Xerion 5000	51134,03	56770,36	62406,70	68043,04	53012,81	60527,92	68043,04	75558,16

Таблица 3 – Суммарные комплексные затраты на возделывание зерновых культур (пшеница, ячмень) для различных вариантов использования оборудования для точного земледелия при нагрузке на трактор 500 га и урожайности 1,0 и 1,5 т/га

Марка трактора	Комплексные затраты, тенге/га					
	без оборудования		оборудованием для параллельного вождения		с автопилотом	
	урожайность, т/га					
	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
Кировец К-735	42443,26	48217,75	41284,93	46891,24	40671,20	46134,66
Кировец К-739	40117,10	45209,82	39018,46	43962,85	38490,08	43321,85
Кировец К-742	41925,33	47191,26	40776,45	45889,00	40171,80	45153,82
Case Steiger 500	45603,48	48662,98	44325,93	47296,32	43583,95	46481,38
Case Steiger 600	47067,49	50126,99	45743,99	48714,37	44945,60	47843,04

Таблица 4 – Изменение суммарных комплексных затрат на возделывание зерновых культур (пшеница, ячмень) для различных вариантов использования оборудования для точного земледелия при нагрузке на трактор 500 га и урожайности 1,0 и 1,5 т/га

Марка трактора	Комплексные затраты, тенге/га					
	без оборудования		оборудованием для параллельного вождения		с автопилотом	
	урожайность, т/га					
	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
Кировец К-735	42443,26	48217,75	-1158,33	-1326,51	-1772,06	-2083,09
Кировец К-739	40117,10	45209,82	-1098,64	-1246,97	-1627,02	-1887,97
Кировец К-742	41925,33	47191,26	-1148,88	-1302,26	-1753,53	-2037,44
Case Steiger 500	45603,48	48662,98	-1277,55	-1366,66	-2019,53	-2181,60
Case Steiger 600	47067,49	50126,99	-1323,50	-1412,62	-2121,89	-2283,95

По результатам проведенного анализа полученных результатов расчетов установлено, что при возделывании зерновых культур (пшеница и ячмень) минимальным суммарным комплексным затратам при нагрузке на трактор до 500 га во всем рассматриваемом диапазоне урожайности соответствует трактор Кировец К-739, с учётом 5 %-го допуска равноэффективным с ним будет трактор Кировец К-735. При увеличении нагрузки до 1000 га минимум комплексных затрат смещается в сторону тракторов с большим номинальным

тяговым усилием – Кировец К-742, Case Steiger 500 и Case Steiger 600.

Для оценки влияния использования оборудования для точного земледелия на комплексные затраты аналогичные расчеты были проведены для вариантов использования техники без оборудования для точного земледелия и с установкой оборудования для точного земледелия на трактора. Расчеты по тракторам с минимальными комплексными затратами приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 5 – Суммарные комплексные затраты на уборку зерновых культур (пшеница, ячмень) для варианта с установкой на комбайны автопилота при нагрузке на комбайн 250 и 500 га

Марка комбайна	Комплексные затраты, тенге/га							
	нагрузка на комбайн 250 га				нагрузка на комбайн 500 га			
	урожайность, т/га				урожайность, т/га			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Nova	28420,88	32433,07	36445,27	45747,40	32433,07	40457,47	48481,86	63895,40
Акрос 530	16719,51	18656,93	20594,36	30278,83	18656,93	22531,78	26406,62	40693,05
Торум 750	20933,10	22519,04	24104,98	35327,32	22519,04	25690,92	28862,81	44051,61
Есиль 740	17738,86	19979,01	22219,15	36572,69	19979,01	24459,29	28939,58	49971,68
Есиль 760	17018,32	18761,06	20503,79	27841,41	18761,06	22246,53	25732,00	36565,70
John Deere S660	34032,80	35499,74	36966,69	56461,87	35499,74	38433,63	41367,51	65081,26
John Deere T660	35442,68	37074,35	38706,02	54141,09	37074,35	40337,68	43601,02	62900,92
Claas Tucano 450	23574,35	25300,3	27026,26	43582,78	25300,30	28752,21	32204,12	54047,68
Claas Lexion 750	32179,82	33455,35	34730,88	54589,91	33455,35	36006,40	38557,46	62325,65
Case Axial-Flow 6140	30095,31	31525,19	32955,07	51509,18	31525,19	34384,95	37244,71	60077,06
Case Axial-Flow 8240	44593,41	45849,56	47105,72	75542,13	45849,56	48361,88	50874,19	83390,81
New Holland CX 5080	23361,22	25511,76	27662,3	36355,83	25511,76	29812,84	34113,91	46846,25
New Holland TC 5.80	26207,49	28358,02	30508,56	39827,00	28358,02	32659,10	36960,18	50317,43

Таблица 6 – Суммарные комплексные затраты на уборку зерновых культур (пшеница, ячмень) для варианта с установкой на комбайны автопилота при нагрузке на комбайн 750 и 1000 га

Марка комбайна	Комплексные затраты, тенге/га							
	нагрузка на комбайн 750 га				нагрузка на комбайн 1000 га			
	урожайность, т/га				урожайность, т/га			
	0,5	1,0	1,5	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Nova	36445,27	48481,86	60518,45	82043,40	40457,47	56506,26	72555,04	100191,39
Акрос 530	20594,36	26406,62	32218,88	51107,28	22531,78	30281,46	38031,15	61521,51
Торум 750	24104,98	28862,81	33620,64	52775,90	25690,92	32034,69	38378,46	61500,19
Есиль 740	22219,15	28939,58	35660,01	63370,66	24459,29	33419,87	42380,44	76769,65
Есиль 760	20503,79	25732,00	30960,22	45289,99	22246,53	29217,48	36188,43	54014,28
John Deere S660	36966,69	41367,51	45768,34	73700,65	38433,63	44301,40	50169,17	82320,04
John Deere T660	38706,02	43601,02	48496,02	71660,74	40337,68	46864,35	53391,02	80420,57
Claas Tucano 450	27026,26	32204,12	37381,98	64512,59	28752,21	35656,02	42559,83	74977,49
Claas Lexion 750	34730,88	38557,46	42384,04	70061,40	36006,40	41108,51	46210,62	77797,15
Case Axial-Flow 6140	32955,07	37244,71	41534,34	68644,94	34384,95	40104,47	45823,98	77212,82
Case Axial-Flow 8240	47105,72	50874,19	54642,65	91239,49	48361,88	53386,50	58411,12	99088,17
New Holland CX 5080	27662,30	34113,91	40565,52	57336,68	29812,84	38414,99	47017,14	67827,11
New Holland TC 5.80	30508,56	36960,18	43411,79	60807,86	32659,10	41261,25	49863,40	71298,28

Таблица 7 – Предварительный комплекс машин для агрегатирования с трактором Кировец К-735 для реализации технологий возделывания пшеницы, ячменя и сои по системе точного земледелия

Марка техники	Производитель	Фото орудия	Краткая характеристика		
			Ширина захвата, м	Рабочая скорость, км/ч	Глубина обработки, см
Борона БЗЦ-24	КФ ТОО «НПЦ агроинженерии» (Республика Казахстан, г. Костанай)		24	до 15	до 5
Борона БС-24М	АО «Алтайский завод сельско-хозяйственного машиностроения» (Россия, Алтайский край)		24	до 18	до 6
Борона Bourgault 6000-90 (21,3 м)	«Bourgault Industries Ltd» (Канада)		27,4	до 20	до 5
Культиватор «Олимп» КСС-9500	ООО «Промзапчасть» (Россия, Белгородская область)		9,5	до 18	до 12
Культиватор «Landmaster» 11000	ООО ПК «Агромастер» (Россия, Республика Татарстан)		11	до 12	до 14
Культиватор «Кузбасс» К-12,2	ООО «Агро» (Россия, г. Кемерово)		12,2	до 10	до 16
Агрегат комбинированный Лидер-10,8	ООО «Сибагротехнопарк» (Россия, Новосибирская область)		10,8	до 11	до 16
Посевной комплекс Кузбасс ПК-9,7	ООО «Агро» (Россия, г. Кемерово)		9,7	до 12	до 10
Модульный посевной комплекс КСКП-2,1Дх5	ООО «Сибзавод» (Россия, г. Омск)		10,25	до 10	до 10
Плоскорез глубокорыхлитель ПГ 3-5	ТОО «ЦелинаАгро» (Республика Казахстан, г. Нур-Султан)		5	до 10	до 30
Плоскорез глубокорыхлитель ПГП-5	ТОО «ЦелинаАгро» (Республика Казахстан, г. Нур-Султан)		5	до 10	до 30
Рыхлитель РСР-4,2	КФ ТОО «НПЦ агроинженерии» (Республика Казахстан, г. Костанай)		4,2	до 10	до 30

Как видно из таблиц 3 и 4, комплексные затраты при установке на трактор систем точного земледелия снижаются по сравнению с вариантом систем от 1627 (280) до 2283 (394) тенге/га (руб./га) в зависимости от марки трактора и урожайности, курс перевода валют 1 руб. – 5,8 тенге. Снижение комплексных затрат происходит за счет повышения производительности до 6 %, снижения расхода топлива до 4 %, экономии семенного материала до 6 % и гербицидов – до 12 %.

Результаты расчетов комплексных затрат на уборку зерновых культур (пшеница и ячмень) представлены в таблицах 5 и 6.

По результатам проведенного анализа полученных результатов расчетов установлено, что при уборке зерновых культур (пшеница и ячмень) минимальным суммарным комплексным затратам во всем рассматриваемом диапазоне нагрузки на комбайн и урожайности соответствуют комбайны Акрос-530 и Есиль-760, с учётом 5 %-го допуска равноэффективным с ними будет комбайн Есиль-740.

Оценку влияния систем точного земледелия на комплексные затраты при уборке зерновых проводили аналогично, как для тракторов. Расчеты проведены для вариантов использования комбайнов без установки систем и с установкой систем точного земледелия. По результатам расчетов установлено, что комплексные затраты при установке на комбайн систем точного земледелия снижаются по сравнению с вариантом без систем с 37 (6) до 267 (46) тенге/га (руб./га), курс перевода валют 1 руб. – 5,8 тенге.

На основании анализа полученных результатов были сформированы предварительные комплексы машин и оборудования для реализации технологий возделывания сои, пшеницы и ячменя по системе точного земледелия применительно к условиям ТОО «Северо-Казахстанская СХОС». Предварительный комплекс машин для агрегатирования с трактором Кировец К-735 для реализации технологий возделывания пшеницы, ячменя и сои по системе точного земледелия представлен в таблице 7.

Для возделывания пшеницы, ячменя и сои при урожайности до 1,5 т/га и нагрузке на трактор 500 га, на технологических операциях ранневесеннее боронование, предпосевная культивация, посев, основная обработка рекомендуется применение тракторов Кировец К-735 и К-739 производства «Петербургский тракторный завод» (г. Санкт-Петербург, РФ) тяговых классов 5 и 6 с мощностью двигателя соответственно 350 и 00 га рекомендуются трактор К-742 производства «Петербургский тракторный завод» (г. Санкт-Петербург, РФ) тягового класса 8 мощностью двигателя 420 л.с и Case Steiger 500 (США) тягового класса 8 мощностью двигателя 560 л.с.

На технологических операциях прикатывание, боронование посевов и гербицидная обработка по вегетации при нагрузке на трактор до 1000 га и урожайности до 2,0 т/га рекомендуется применение тракторов Беларус-80.1 и Беларус-1523 производства «Минский тракторный завод» (г. Минск, Республика Беларусь) тяговых классов 1,4 и 3 с мощностью двигателя 81 и 148 л.с. соответственно.

При возделывании сои на технологических операциях боронование до и после всходов во всех рассматриваемых диапазонах нагрузки на трактор и урожайности рекомендуется применение тракторов Беларус-80.1 и Беларус-1523.

На трактора рекомендуется устанавливать следующее оборудование для точного земледелия: система дистанционного мониторинга техники, система контроля высева семян и системы автоматического и параллельного вождения.

Для уборки пшеницы, ячменя и сои во всех рассматриваемых диапазонах нагрузки на комбайн и урожайности рекомендуется применение зерноуборочных комбайнов Акрос-530 производства «Ростсельмаш» (г. Ростов-на-Дону, РФ) с двигателем мощностью 250 л.с. и жаткой шириной захвата 9 метров и Есиль-760 производства АО «Агромашхолдинг КЗ» (г. Костанай, Республика Казахстан) с двигателем мощностью 330 л.с. и жаткой шириной захвата 9 метров. На комбайны рекомендуется устанавливать следующее оборудование для точного земледелия: система дистанционного мониторинга техники, система автоматического вождения, система контроля потери зерна.

Заключение. Разработана экономико-математическая модель, применение которой позволяет сформировать оптимальные комплексы машин и оборудования для комплексной механизации возделывания культур в системе точного земледелия [1].

Исследованиями установлено, что использование тракторов и комбайнов оборудованных системами точного земледелия способствует снижению суммарных комплексных затрат на возделывании и уборке сельскохозяйственных культур по сравнению с вариантом без систем с 1664 (286) до 2550 (440) тенге/га (руб./га) в зависимости от марки трактора, комбайна и урожайности возделываемой культуры.

Список источников

1. Комаров А.П., Полищук Ю.В., Лаптев Н.В. Методика формирования оптимального комплекса машин для реализации перспективных технологий возделывания сельскохозяйственных культур по системе точного земледелия в северном регионе Республики Казахстан // «3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация». 2020. № 2. С. 86-94.

2. Gabriel A., Gandorfer M. Adoption of digital technologies in agriculture - an inventory in a european small-scale farming region // *Precision Agriculture*. 2023. Vol. 24. No.1. Pp. 68-91.
3. Артюшин А.А., Смирнов И.Г. Научно-техническое обеспечение применения ГЛОНАСС в сельскохозяйственном производстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. № 1. С. 8-11.
4. Плотникова Е.В., Артемова Е.И. Внедрение цифровых технологий в аграрных организациях // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. № 96. С. 47-52.
5. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Бахтиев Р.Н. Цифровые технологии в сельском хозяйстве // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 11. С. 95-98.
6. Полищук Ю.В., Лаптев Н.В., Комаров А.П. Применение систем автоматического и параллельного вождения в сельскохозяйственном производстве Республики Казахстан и эффективность их использования // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 5. С. 11-19.
7. Шевкуненко М. Ю., Нижегородов Н.В. Цифровизация аграрного сектора России в контексте формирования шестого технологического уклада // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. № 95. С. 54-60.
8. Seeding maneuvers using navigation system / L.C. Garcia [et al.] // *Engenharia Agricola*. 2016. Vol. 36. No. 2. Pp. 361-366.
9. Leonard E.C. Precision Agriculture // *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*. 2016. Vol. 4. Pp. 162-167.
10. Reduction of environmental pollution by using RTK-navigation in soil cultivation / D. Kelc [et al.] // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019. Vol. 12 No 5. Pp. 173-178.
11. Processing and Utilization in Precision Agriculture / C. Zhao [et al.] // *Precision Agriculture Technology For Crop Farming*. 2016. Ch. 3. Pp. 55-102.
12. Troiano S., Carzedda M., Marangon F. Better richer than environmentally friendly? Describing preferences toward and factors affecting precision agriculture adoption in Italy // *Agricultural and Food Economics*. 2023. Vol. 11. Article № 16.
13. Impacts of automatic and parallel driving systems on the productivity of machine-tractor units in the northern region of the republic of Kazakhstan / Y.V. Polishchuk [et al.] // *Acta Technologica Agriculturae*. 2021. Vol. 24 (3). Pp. 143-149.
14. Петров К.А., Григорьев Н.С. Организационно-экономический механизм стимулирования внедрения технологий точного земледелия (на примере Саратовской области) // *Аграрный научный журнал*. 2016. № 10. С. 96-100.
15. Телегина Ж.А. Оценка эффективности государственного управления процессом цифровизации в сельском хозяйстве // *Экономика сельского хозяйства России*. 2020. № 3. С. 26-32.
16. Бершицкий Ю.И., Сайфетдинов А.Р. Методические особенности и механизмы экономического обоснования оптимального состава машинно-тракторного парка сельскохозяйственных товаропроизводителей // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. № 94. С. 55-62.
17. Астафьев В.Л., Султанов И.И. Обоснование рационального соотношения зерноуборочных комбайнов с жатками для очёса и прямого комбинирования при формировании стерневых кулис в северном регионе Казахстана // *Вестник Курганской ГСХА*. 2021. № 1 (37). С. 56-60.
18. Иванченко П.Г., Табулденов А.Н. Результаты сравнительных испытаний зерноуборочных комбайнов «Essil-730» и «Nova-340» на уборке пшеницы // *Вестник Курганской ГСХА*. 2021. № 1 (37). С. 69-73.

References

1. Komarov A.P., Polishchuk Yu.V., Laptev N.V. Metodika formirovaniya optimal'nogo kompleksa mashin dlya realizatsii perspektivnykh tekhnologii vozdeystviya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur po sisteme tochnogo zemledeliya v severnom regione Respubliki Kazakhstan [Methodology for the formation of an optimal set of machines for the implementation of promising technologies for the cultivation of crops according to the precision farming system in the northern region of the Republic of Kazakhstan]. *3i: intellect, idea, innovation - intellekt, ideya, innovatsiya*. 2020; (2): 86-94. (In Russ).
2. Gabriel A., Gandorfer M. Adoption of digital technologies in agriculture - an inventory in a european small-scale farming region. *Precision Agriculture*. 2023; (24-1): 68-91.
3. Artyushin A.A., Smirnov I.G. Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie primeneniya GLONASS v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve [Scientific and technical support for the use of GLONASS in agricultural production]. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2015; (1): 8-11. (In Russ).
4. Plotnikova E.V., Artemova E.I. Vnedrenie tsifrovyykh tekhnologii v agrarnykh organizatsiyakh [Implementation of digital technologies in agricultural organizations]. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022; (96): 47-52. (In Russ).
5. Solov'ev D.A., Zhuravleva L.A., Bakhtiev R.N. Tsifrovyye tekhnologii v sel'skom khozyaistve [Digital technologies in agriculture]. *The Agrarian Scientific Journal*. 2019; (11): 95-98. (In Russ).

6. Polishchuk Yu.V., Laptev N.V., Komarov A.P. Primenenie sistem avtomaticheskogo i parallel'nogo vozhdeniya v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve Respubliki Kazakhstan i effektivnost' ikh ispol'zovaniya [The use of automatic and parallel driving systems in the agricultural production of the Republic of Kazakhstan and the effectiveness of their use]. *Agricultural Bulletin of the Ural*. 2020; (5): 11-19. (In Russ).

7. Shevkunenko M.Yu., Nizhegorodov N.V. Tsi-frovizatsiya agrarnogo sektora Rossii v kontekste formirovaniya shestogo tekhnologicheskogo uklada [Digitalization of the agrarian sector of Russia in the context of the formation of the sixth technological mode]. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022; (95): 54-60. (In Russ).

8. Garcia L.C. et al. Seeding maneuvers using navigation system. *Engenharia Agricola*. 2016; (36-2): 361-366.

9. Leonard E.C. Precision Agriculture. *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*. 2016; (4): 162-167.

10. Kelc D. et al. Reduction of environmental pollution by using RTK-navigation in soil cultivation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2019; (12-5): 173-178.

11. Zhao C. et al. Processing and Utilization in Precision Agriculture. *Precision Agriculture Technology For Crop Farming*. 2016; (3): 55-102.

12. Troiano S., Carzedda M., Marangon F. Better richer than environmentally friendly? Describing preferences toward and factors affecting precision agriculture adoption in Italy. *Agricultural and Food Economics*. 2023; (11): 16.

13. Polishchuk Y.V. et al. Impacts of automatic and parallel driving systems on the productivity of machine-tractor units in the northern region of the republic of Kazakhstan. *Acta Technologica Agriculturae*. 2021; (24-3): 143-149.

14. Petrov K.A., Grigor'ev N.S. Organizatsionno-ekonomicheskii mekhanizm stimulirovaniya vnedreniya tekhnologii tochnogo zemledeliya (na primere Saratovskoi oblasti) [Organizational and economic mechanism for stimulating the introduction of precision farming technologies (on the example of the Saratov region)]. *The Agrarian Scientific Journal*. 2016; (10): 96-100. (In Russ).

15. Telegina Zh.A. Otsenka effektivnosti gosudarstvennogo upravleniya protsessom tsifrovizatsii v sel'skom khozyaistve [Evaluation of the effectiveness of public management of the digitalization process in agriculture]. *Economics of agriculture of Russia*. 2020; (3): 26-32. (In Russ).

16. Bershitskii Yu. I., Saifetdinov A. R. Metodicheskie osobennosti i mekhanizmy ekonom-

icheskogo obosnovaniya optimal'nogo sostava mashinno-traktornogo parka sel'skokhozyaistvennykh tovaroproizvoditelei [Methodological features and mechanisms of economic substantiation of the optimal composition of the machine and tractor fleet of agricultural producers]. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022; (94): 55-62. (In Russ).

17. Astafyev V.L., Sultanov I.I. Obosnovanie ratsional'nogo sootnosheniya zernouborochnykh kombainov s zhatkami dlya ochesa i pryamogo kombinirovaniya pri formirovanii sternevykh kul'is v severnom regione Kazakhstana [Justification of a rational relation of grain harvesters with stripper headers and direct combining headers when forming stubbles coulises in the northern region of Kazakhstan]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2021; (1-37): 56-60. (In Russ).

18. Ivanchenko P.G., Tabuldenov A.N. Rezul'taty sravnitel'nykh ispytaniy zernouborochnykh kombainov «Essil-730» i «Nova-340» na uborke pshenitsy [Results of comparative tests of grain harvester «Essil-730» and «Nova-340» in wheat harvesting]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2021; (1-37): 69-73. (In Russ).

Информация об авторах

А.И. Дерепаскин – доктор технических наук.

Ю.В. Полищук – кандидат технических наук; AuthorID 1112774.

А.П. Комаров – научный сотрудник.

М.А. Плохотенко – научный сотрудник.

Н.В. Лаптев – научный сотрудник. AuthorID 1107082.

Information about the author

A.I. Derepaskin – Doctor of Technical Sciences.

Yu.V. Polychshuk – Candidate of Technical Sciences. AuthorID 1112774.

A.P. Komarov – researcher.

M.A. Plokhotenko – researcher.

N.V. Laptev – researcher. AuthorID 1107082.

Статья поступила в редакцию 11.05.2023; одобрена после рецензирования 23.06.2023; принята к публикации 30.08.2023.

The article was submitted 11.05.2023; approved after reviewing 23.06.2023; accepted for publication 30.08.2023.