

DOI
УДК 631.35

ТЕХНОЛОГИИ УБОРКИ ЗЕРНА ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИМИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ АГРЕГАТАМИ

Е. М. Юдина, Н. А. Ринас, С. К. Папуша, А. В. Палапин

Реферат. Исследований проводили с целью совершенствования технологии уборки зерновых колосовых культур для производства конкурентоспособной продукции. Работу выполняли в 2018–2022 гг. в Краснодарском крае. Оптимизировали параметры многофункциональных агрегатов и апробировали их применительно к условиям уборки на Кубани. Сравнение машин, комплексов, технологий и систем осуществляли по методике комплексной оценки с использованием функции Харрингтона. Предлагаемая технология с многофункциональными агрегатами, по сравнению с базовой, позволяет снизить затраты труда в 1,25 раза, эксплуатационные затраты и металлоемкость – в 1,2 раза, повысить производительность труда почти в 2 раза. При анализе зависимости стоимости потерь урожая зерна от продолжительности уборки учитывали прямые биологические потери урожая и косвенные, связанные с травмированием зерна рабочими органами уборочных машин. Предложен многофункциональный агрегат, предназначенный для уборки зерновых культур с одновременным прессованием соломы. Он базируется на использовании серийного энергосредства «Полесье» УЭС-2-280А, навесного зерноуборочного комбайна КЗР-10 и пресс-подборщика соломы ПРП-1,6. Производственной проверкой доказано преимущество роторного молотильного аппарата, по сравнению с классическим. Применение на уборке комбайнов с роторными молотильно-сепарирующими устройствами снижает дробление зерна, по сравнению с бильными, в 10 раз, микроповреждение зерна – на 6...8%. С использованием метода планирования трехфакторного эксперимента установлена оптимальная продолжительность уборки зерновых культур по предлагаемой технологии многофункциональным агрегатом, которая при урожайности зерна 6,8 т/га, составляет 5 рабочих дней, ширина захвата жатки комбайна – 5,4 м. Использование предлагаемого агрегата с одной из прицепных машин (пресс-подборщиком соломы, сеялка прямого посева, дискатор или другая почвообрабатывающая машина) достаточно эффективно.

Ключевые слова: энерго-ресурсосберегающая технология, уборка зерна, комбайн, многофункциональный агрегат, оптимизация, конкурентоспособность.

Введение. Проблема уборки зерна, как главной продукции сельского хозяйства, по-прежнему остается острой и не до конца решенной. К сожалению, параметры отечественных технологий уборки зерна уступают зарубежным по энергоемкости, трудовым, финансовым и другим затратам. Кроме того, потери до 10% урожая зерна [1], его травмирование машинами, нарушение точности, ритмичности и комплексности выполнения уборочных и послеуборочных работ, а также экологических требований требуют перехода на принципиально новые инновационные конструктивные и технологические решения. То есть необходима новая методология комплексной высокопроизводительной уборки урожая зерновых культур с одновременным выполнением основных послеуборочных операций (пожнивный посев сидератов, рыхление почвы, заготовка половы и соломы в необходимых объемах). Все это возможно на базе системы гибких энерго-ресурсосберегающих многофункциональных агрегатов, составляющих основу концепции создания таких технологий [2, 3].

Цель исследований – совершенствование технологии уборки зерновых колосовых культур путем модернизации конструкции уборочных агрегатов, использования многофункциональных агрегатов, рациональной организации уборочных работ.

Условия, объекты и методы. Основные методы исследований – системный подход,

исследование операций, моделирование и оптимизация производственных процессов, теория планирования эксперимента, вероятности и математической статистики с использованием программного обеспечения MATLAB Simulink, современные методы экономической и эксплуатационно-технологической оценки машинных агрегатов.

Результаты анализа технико-экономических показателей работы серийных зерноуборочных комбайнов свидетельствуют, что их дальнейшее совершенствование практически исчерпано [4]. Рост производительности комбайнов вызывает необходимость повышения мощности двигателя, расхода топлива, массы, которая уже оказывает давление на почву выше допустимого, снижая ее плодородие [5]. Такая тенденция отставания прироста производительности в тоннах за час, по сравнению с приростом номинальной мощности двигателя в кВт, характерна для всех самоходных комбайнов, как с классическими, так и с роторными молотильно-сепарирующими устройствами (МСУ).

Для оптимизации продолжительности уборки озимой пшеницы разработана экономико-математическая модель с целевой функцией $C_{зп}$ – минимум затрат и потерь (предусмотрены затраты на выполнение уборочных работ и потери урожая из-за отклонения от оптимальных сроков уборки).

$$C_{зп} = C_з + C_п \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C_{3n} - сумма затрат на уборку урожая и потерь урожая, тыс. руб.,
 C_3 - сумма затрат на уборку зерна, тыс. руб.,
 C_n - сумма потерь урожая, тыс. руб.

В свою очередь формула расчета суммы затрат C_3 на уборку урожая многофункциональным уборочным агрегатом после преобразований зависимости выглядит следующим образом:

$$C_3 = \frac{F \cdot 1993,3 n_{арп}}{W_ч}, \quad (2)$$

где $n_{арп}$ - количество многофункциональных агрегатов (МФА) на уборочную площадь 1000 га, шт.;

$W_ч$ - производительность МФА за 1 ч основного времени, га/ч;

1993,3 - эмпирический коэффициент;

F - уборочная площадь, га.

Сумма потерь урожая C_n в зависимости от продолжительности уборки n определяется из следующего выражения:

$$C_n = FzU \frac{(1,16n - 4) + 4,2}{100}, \quad (3)$$

где z - закупочная цена зерна пшеницы, руб./т;

U - урожайность, т/га;

n - продолжительность уборки, дней;

1,16; 4; 4,2 - эмпирические коэффициенты.

Новизна полученной зависимости (3)

состоит в учете стоимости косвенных потерь урожая от дробления зерна уборочными машинами и от его микрповреждения. Выражение в скобках

$$\left[\frac{(1,16n - 4) + 4,2}{100} \right]$$

учитывает биологические потери урожая после наступления полной спелости зерна за каждый день n_i уборки.

Результаты и обсуждение. Разработка эффективной технологии, в том числе для уборки зерновых культур, базируется на выполнении четырех блоков концептуальной схемы (рис. 1). Одним из главных блоков концепции выступает ресурсосбережение. Оно имеет огромное значение для всего агропромышленного комплекса, служит основой обеспечения конкурентоспособности аграрной отрасли экономики.

Согласно предложенной схеме (рис. 1) ресурсосбережение в технологии уборки зерновых культур будет обеспечено путем экономии топлива, металла, средств химизации и рабочей силы. Уже сейчас некоторые серийные машины обеспечивают эффективную экономию топлива посредством совершенствования системы его подачи и распыла, использования оригинальных рабочих органов, совмещения технологических операций, выполняемых за один проход машины по полю, оптимизации вариантов технологий [6, 7, 8] и параметров уборочных машин [9, 10].

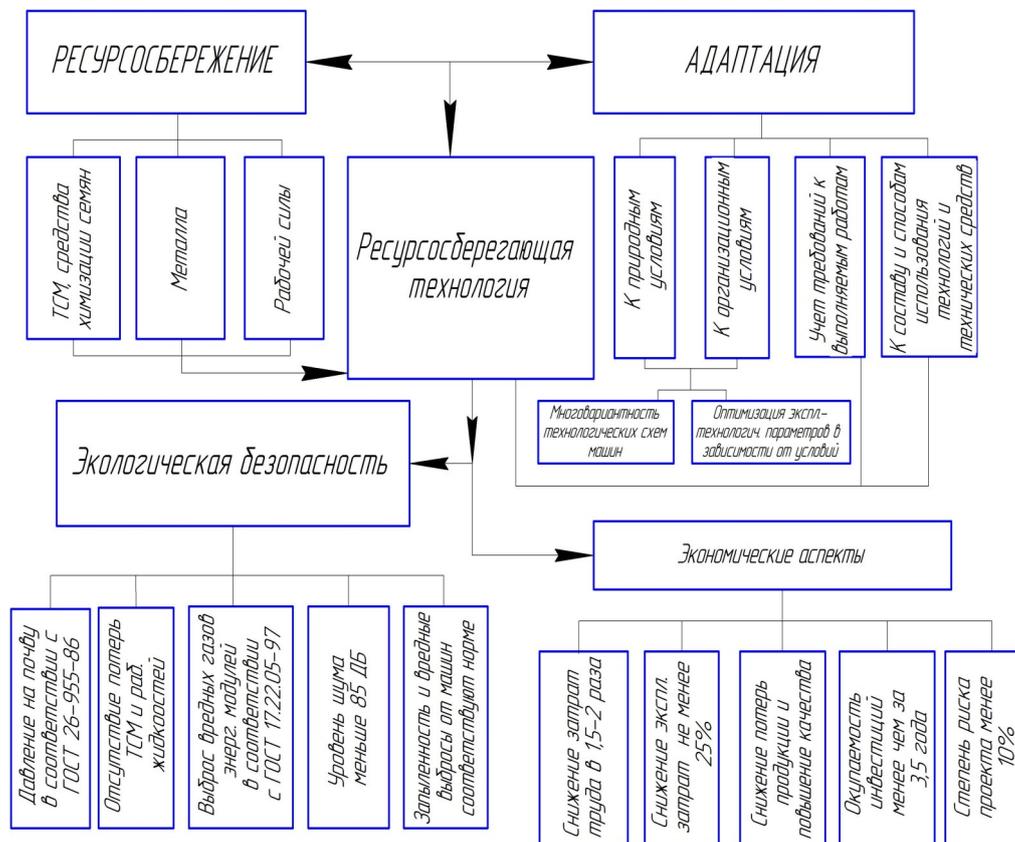


Рис.1 – Блоки концептуальной схемы создания новых технологий

Блок адаптации машин, используемых в технологическом процессе, учитывает природно-организационные условия, агротехнические требования, состав и способы применения технологических и технических средств с учетом требований к выполняемой работе.

Третий блок концептуальной схемы (экологическая безопасность) разрабатываемой технологии учитывает влияние всех негативных факторов реализации машинной технологии (давление на грунт ходовых частей машин, потеря горюче-смазочных материалов, выделение вредных газов энергосредством, уровень шума и запыленность). Например, разрабатываемая технология уборки зерновых культур не предусматривает использование уборочных машин и транспорта с большой массой, уплотняющих почву ходовыми системами. Кроме того, планируется снижение общего числа проходов агрегатов по полю путем совмещения операций.

Четвертый блок схемы посвящен обоснованию экономической эффективности разрабатываемой технологии. Она должна обеспечивать снижение трудовых затрат не менее чем в 1,5...2,0 раза, эксплуатационных затрат – минимум на 20...25%, повышение качества зерна и сокращение его потерь. Степень риска проекта не должна превышать 10%. Соблюдение всех четырех блоков концептуальной схемы (рис. 1) позволит создать эффективную машинную технологию.

Работа современных зерноуборочных комбайнов с молотильными аппаратами бильного типа сопровождается повышенным дроблением зерна. Это снижает его качество и востребованность на рынке [11]. Необходима модернизация конструкции молотильных аппаратов, а также оптимизация параметров и режимов работы машин [12, 13].

Структура и состав комбайнового парка России уже исчерпал свои возможности. Требования к наукоемкости конструкции комбайна должны учитывать не только его надежность, производительность, качество работы, комфортность и др., но и резкое снижение затрат вследствие совмещения операций. Испарение влаги (воды) с поверхности почвы после уборки урожая может достигать 100...150 т/га, что приводит к значительному снижению урожая последующих культур, поэтому одновременное выполнение сопутствующих операций (боронование для закрытия почвенной влаги, посев сидератов и других промежуточных культур, уборка незерновой части урожая и др.) просто необходимо [14].

В первом блоке ресурсосбережения (рис. 1) при уборке зерновых культур большое значение имеют транспортировка зерна от комбайнов, новые приемы уборки [15] и оптимизация ее продолжительности [16]. На перевозке зерна от комбайнов необходимы только оборудованные накопители – перегрузчики типа Т-740. Нельзя уплотнять почву тяжелыми грузовыми автомобилями, да еще в составе

автопоездов. При расстоянии до 3 км накопители – перегрузчики могут сами транспортировать зерно от комбайнов до тока, а более 3 км – должны перегружать в большегрузный транспорт типа Fliegl, ожидающий на дороге, возле поля. Трудоемкость транспортировки зерна при этом снижается в 1,2 раза, а расход топлива – в 1,6 раза, по сравнению с автомобильным транспортом.

Новые способы уборки, например, с разделением невеяного вороха на стационаре, пока еще мало применяют на практике, хотя уже доказана их высокая эффективность в Канаде [17]. Импонирует высокая производительность уборочного агрегата МН130 с трактором 120 кВт. Она составляет около 7 га за 1 ч чистого времени, а цена прицепного комбайна в разы ниже самоходного, кроме того, снижаются затраты на техническое обслуживание и хранение.

Решить проблему комплексного выполнения, поточности и ритмичности уборочных работ (рис. 2) позволяет создание на базе прицепных зерноуборочных комбайнов многофункциональных агрегатов, работающих в режиме сбора невеянного вороха с разделением его на стационаре, и совмещающих технологические операции уборки зерна с одновременным выполнением основных послеуборочных работ [18]. В направлении повышения производительности комбайнов и качества уборки высокую эффективность обеспечивает технология уборки зерновых путем очеса. Она повышает производительность комбайна, в сравнении с классической схемой уборки, в 1,4...1,5 раза, экономит ресурсы, но, к сожалению, ни в нашей стране, ни за рубежом серийная очистка комбайнов не приспособлена для невеяного вороха после очеса. Получается, что очесывающая жатка очень эффективна, но нужна модернизированная очистка под физико-механические свойства очесанного вороха с целью исключения высокого травмирования зерна, которое имеет место при совместной работе очесывающей жатки и серийного молотильно-сепарирующего устройства. Дополнительный проход очесанного вороха через серийную молотилку чреват увеличением дробления и микроповреждений зерна, что снижает его посевные и товарные свойства. Нашими исследованиями уже намечены предложения по совершенствованию молотильно-сепарирующего устройства, которые обеспечат повышение качества зерна после очеса и снизят его потери. Это будет весомым достижением в повышении эффективности уборки зерна [19, 20]. Показатели энергетической эффективности предлагаемой технологии с многофункциональными агрегатами подчеркивают ее существенное преимущество, по сравнению с базовой, и высокую эффективность (табл. 1): удельные затраты совокупной энергии и металлоемкость снижаются почти в 1,9 раза, производительность труда возрастает в 1,8...2,0 раза.



Рис. 2 – Новые направления повышения эффективности работы зерноуборочных комбайнов

Таблица 1 – Эффективность технологии уборки пшеницы с применением multifunctional агрегатов

Показатель	Вариант технологии	
	базовая	с МФА
Затраты труда, чел-ч/га	1,2	0,96
Эксплуатационные затраты, руб./га	7702,6	6513,1
Металлоемкость, кг/га	49,8	41,9
Энергоемкость, МДж/га	602,5	702,7

Оптимальная продолжительность уборки каждого сорта озимой пшеницы не должна превышать 4...5 календарных дней, а всего в сельхозпредприятии необходимо использовать 5...6 сортов. Все это будет способствовать повышению урожайности и экономии ресурсов.

Высокую эффективность новой технологии по всем показателям обеспечивает использование multifunctional агрегатов, совмещающих уборку зерна

с прессованием соломы.

В результате оптимизации уборки по целевой функции (1) ее минимальная стоимость для предлагаемого уборочного агрегата МФА с одновременным прессованием соломы составит 5696 руб./га, при затратах на уборку урожая $C_3 = 2848$ руб./га и стоимость потерь урожая $C_n = 2848$ руб./га. Минимум функции затрат и потерь C_{3n} отмечен при оптимальной продолжительности выполнения работ $n = 4$ календарных дня.

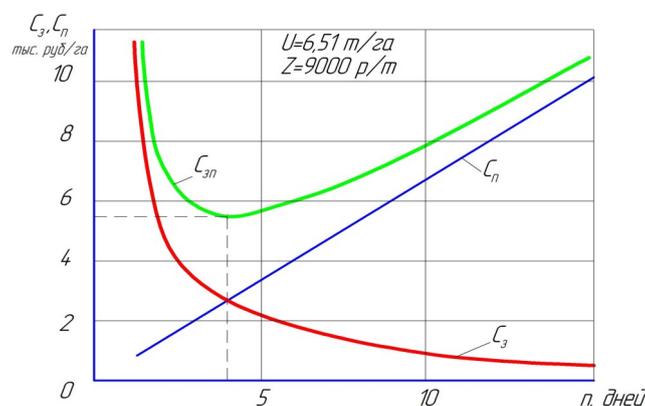


Рис. 2 – Зависимость затрат на уборку зерна и потерь урожая от продолжительности уборки

В создании технического обеспечения технологии одним из требований к машинам выступает качество продукции (рис. 1 блок 4). Особенно это касается зерна пшеницы, качество которого можно повысить путем улучшения конструкции МСУ комбайнов.

Результаты наших исследований показывают, что применение на уборке роторных МСУ снижает дробление зерна, по сравнению с бильными, в 10 раз, микроповреждение зерна – на 6...8%, а это влияет и на общие потери урожая и на качество зерна (табл. 2).

Разница в содержании белка в зерне сорта Ольхон, убранного комбайнами с МСУ существенна как в целом до сортировки на решетках, так и по фракциям. Это объясняется снижением микроповреждений зерна при уборке (табл. 2).

Выводы. Разработана концепция создания энерго- ресурсосберегающей технологии уборки зерновых культур, в структуре которой предусмотрены четыре блока: энергосбережение, адаптация машин к условиям уборки, экологическое обеспечение и экономическое обоснование.

Таблица 2 – Влияние конструкции молотильно-сепарирующего устройства комбайнов при уборке пшеницы сорта Ольхон на качество зерна

Фракция зерна	Показатель								
	влажность зерна, %	натура, г/дм ³	общая стекловидность, %	протеин, %	сырая клейковина				класс зерна
					%	единиц ИДК	группа качества	характеристика	
Комбайн Tuscano									
До разделения на фракции	10,10	824	69,7	14,24	23,21	52,3	I	хор.	3
3,0/20	10,10	840	74,2	15,62	25,84	54,8	I	хор.	3
2,5/20	10,15	832	70,1	14,38	23,80	52,6	I	хор.	3
2,2/20	9,91	785	67,5	13,42	19,48	53,9	I	хор.	4
1,7/20	9,66	736	58,5	10,42	16,04	38,9	II	удовл., крепкая	5
НСР ₀₅	0,04	6	1,3	0,83	1,40	-	-	-	-
Комбайн Torum									
До разделения на фракции	10,49	824	81,9	17,81	26,63	58,90	I	хор.	3
3,0/20	10,34	845	85,2	19,68	31,12	65,00	I	хор.	2
2,5/20	10,63	828	82,4	17,86	26,40	59,80	I	хор.	3
2,2/20	9,99	782	77,2	14,85	21,56	44,80	I	хор.	4
1,7/20	9,76	731	67,4	14,39	20,20	43,09	I	хор.	4
НСР ₀₅	0,12	7,2	2,7	0,56	0,84	-	-	-	-

В первом блоке главное внимание обращено на замену тяжелых дорогостоящих самоходных комбайнов многофункциональными гибкими уборочными агрегатами, совмещающими операции по уборке зерна с одновременным выполнением других работ (рыхление почвы, промежуточный посев сидератов или кормовых культур, прессование соломы в запланированных объемах). Многофункциональные агрегаты можно комплектовать на базе прицепных безмоторных, самоходных полноприводных или навесных зерноуборочных комбайнов. Экспериментальными исследованиями подтверждено существенное преимущество многофункциональных уборочных агрегатов на примере полноприводного комбайна TORUM-740 завода Ростсельмаш (Россия) с комплектом агрегируемых машин

и навесного КЗР-10 на энергосредство МЭС-280 (Беларусь). Наиболее предпочтителен способ уборки зерновых колосовых многофункциональными агрегатами с разделением вороха на стационаре аспирационно-решетными сепараторами.

Оптимальная продолжительность уборки одного сорта зерновых колосовых культур, обоснованная с использованием функции затрат и потерь составляет 4...5 календарных дней. При этом, согласно рекомендациям селекционеров, в каждом сельхозпредприятии необходимо возделывать 5...6 сортов пшеницы, среди которых должны быть сильные, высокоурожайные, ранние, средние и др. Все это эффективно скажется на урожайности, качестве зерна, а также на энерго- и ресурсосбережении.

Литература

1. The Improvement of the Technology of Winter Wheat Grain Production for the Purpose of Energy Saving / G. G. Maslov, V. T. Tkachenko, E. M. Yudina, et al. // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12. No. 3. P. 2071–2080. doi: 10.13005/bbra/1875.
2. Маслов Г., Палапин А., Ринас Н. Многофункциональный уборочный агрегат // Международный сельскохозяйственный журнал. 2014. № 1-2. С. 16–19.
3. Rational System Of Multifunctional Aggregates For Mechanization Of Plant Growing / G. G. Maslov, E. M. Yudina, A. S. Serguntsov, et al. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. No. 5. P. 1177–1185.
4. Юдина Е. М. Техническое переоснащение парка уборочной техники сельскохозяйственных организаций Краснодарского края // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5 (67). С. 100–103.

5. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе / А. Н. Коробка, С. Ю. Орленко, Е. В. Алексеев и др. Краснодар: Просвещение-Юг, 2015. 352 с.
 6. Маслов Г. Г., Юдина Е. М. Концепция нового подхода к механизации возделывания полевых культур // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 1 (21). С. 39–47. doi: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-39-47.
 7. Лукманов А. А., Логинов Н. А., Сафиоллин Ф. Н. Технологии возделывания яровой пшеницы на выщелоченных черноземах Среднего Поволжья // Агротехнический вестник. 2022. № 1. С. 3–7.
 8. Технологии и средства уборки зерновых колосовых культур очесом / Ю. Ф. Лачуга, В. И. Пахомов, А. И. Бурьянов и др. // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 5. С. 2–6.
 9. Патент на полезную модель № 141083 U1 Российская Федерация, МПК А01D 41/00. Навесной зерноуборочный комбайн: № 2013146050/13 : заявл. 15.10.2013: опубл. 27.05.2014 / Г. Г. Маслов, А. В. Палапин, Н. А. Ринас и др.; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет».
 10. Оптимальные параметры многофункционального уборочного агрегата и продолжительность уборки озимой пшеницы / Г. Г. Маслов, В. В. Цыбулевский, А. В. Палапин и др. // Аграрная наука. 2015. № 1. С. 25–27.
 11. Виневский Е. И., Папуша С. К., Жадько В. В. Оценка конкурентоспособности отечественных и зарубежных зерноуборочных комбайнов // Сельский механизатор. 2022. № 1. С. 6–7.
 12. Патент № 2363140 С1 Российская Федерация, МПК А01F 7/06, А01F 12/18. Молотильно-сепарирующее устройство: № 2008102187/12: заявл. 21.01.2008 : опубл. 10.08.2009 / М. А. Погорелова, Е. М. Юдина; заявитель ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет».
 13. Пневматическое молотильное устройство / В. И. Пахомов, С. В. Брагинцев, Д. В. Рудой, и др. // Техника и оборудование для села. 2023. № 6 (312). С. 28–30. doi: 10.33267/2072-9642-2023-6-28-30.
 14. Ринас Н. А. К решению проблемы комплексной уборки зерновых культур // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 103. С. 431–445.
 15. Беренштейн И. Б., Шабанов Н. П. Ресурсосберегающие технологии уборки зерновых (колосовых) культур // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2017. № 10 (173). С. 62–73.
 16. Optimization Of Flow And Rhythm Of Work Of The Harvest-Transport Link / G. G. Maslov, V. V. Tsybulevsky, N. A. Rinas, et al. // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. Vol. 6. No. 4. P. 7053–7059.
 17. Гейдебрехт И. П. Канадская технология уборки сельскохозяйственных культур // Техника и оборудование для села. 2006. № 4. С. 38–40
 18. Гольяпин В. Я. Зарубежный комплекс машин для уборки зерновых культур с обработкой невяного вороха на стационаре // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 5. С. 123.
 19. Полуэктова Н. Р., Беренштейн И. Б. Оценка экономической эффективности технологий уборки пшеницы на основании методов граничного анализа // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2018. № 15 (178). С. 177–188.
 20. Современные технологии уборки зерновых культур и технические средства их реализации с оптимальными параметрами / А. П. Дьячков, В. Г. Козлов, А. Д. Бровченко и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 4 (67). С. 33–43. doi: 10.17238/issn2071-2243.2020.4.33.
- Сведения об авторах:**
 Юдина Елена Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и машин в агробизнесе, e-mail: elena_yudina1963@mail.ru
 Ринас Николай Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и технический сервиса, e-mail: mr.rinas@mail.ru
 Папуша Сергей Константинович – кандидат технических наук, заведующий кафедры процессов и машин в агробизнесе, e-mail: serega0318@mail.ru
 Палапин Алексей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и машин в агробизнесе, e-mail: palapin77@mail.ru
 Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия.

GRAIN HARVESTING TECHNOLOGIES WITH ENERGY AND RESOURCE SAVING MULTIFUNCTIONAL UNITS

E. M. Yudina, N. A. Rinas, S. K. Papusha, A. V. Palapin

Abstract. The research was carried out with the aim of improving the technology of harvesting cereal crops for the production of competitive products. The work was carried out in 2018-2022 in Krasnodar region. We optimized the parameters of multifunctional units and tested them in relation to harvesting conditions in Kuban. Comparison of machines, complexes, technologies and systems was carried out using a comprehensive assessment method using the Harrington function. The proposed technology with multifunctional units, compared to the basic one, allows reducing labor costs by 1.25 times, operating costs and metal consumption by 1.2 times, and increasing labor productivity by almost 2 times. When analyzing the dependence of the cost of grain yield losses on the duration of harvesting, direct biological yield losses and indirect losses associated with injury to grain by the working parts of harvesting machines were taken into account. A multifunctional unit is proposed, designed for harvesting grain crops with simultaneous pressing of straw. It is based on the use of the serial power unit “Polesie” UES-2-280A, the mounted grain harvester KZR-10 and the straw baler PRP-1.6. A production test has proven the advantage of a rotary threshing apparatus compared to a classic one. The use of combine harvesters with rotary threshing and separating devices reduces grain crushing, compared to threshing machines, by 10 times, microdamage to grain - by 6...8%. Using the three-factor experiment planning method, the optimal duration for harvesting grain crops using the proposed technology with a multifunctional unit was established, which, with a grain yield of 6.8 t/ha, is 5 working days, the working width of the combine header is 5.4 m. Using the proposed unit with one of the trailed machines (straw baler, direct seed seeder, discor or other tillage machine) is quite effective.

Key words: energy-resource-saving technology, grain harvesting, combine harvester, multifunctional unit, optimization, competitiveness.

References

1. Maslov GG, Tkachenko VT, Yudina EM. The improvement of the technology of winter wheat grain production for the purpose of energy saving. *Biosciences Biotechnology Research Asia*. 2015; Vol.12. 3. 2071-2080 p. doi: 10.13005/bbra/1875.
2. Maslov G, Palapin A, Rinas N. [Multifunctional harvesting unit]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2014; 1-2. 16-19 p.
3. Maslov GG, Yudina EM, Serguntsov AS. Rational system of multifunctional aggregates for mechanization of plant growing. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; Vol.9. 5. 1177-1185 p.
4. Yudina EM. [Technical re-equipment of the fleet of harvesting equipment of agricultural organizations of Krasnodar Territory]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017; 5 (67). 100-103 p.
5. Korobka AN, Orlenko SYu, Alekseenko EV. [The agricultural system of Krasnodar region on an agrolandscape basis]. *Krasnodar: Prosveshchenie-Yug*. 2015; 352 p.
6. Maslov GG, Yudina EM. [Concept of a new approach to the mechanization of field crops cultivation]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoi nauki*. 2020; 1 (21). 39-47 p. doi: 10.33952/2542-0720-2020-1-21-39-47.
7. Lukmanov AA, Loginov NA, Safiollin FN. [Technologies for cultivating spring wheat on leached chernozems of Middle Volga region]. *Agrokhimicheskii vestnik*. 2022; 1. 3-7 p.
8. Lachuga YuF, Pakhomov VI, Bur'yanov AI. [Technologies and means of harvesting grain crops by stripping]. *Tekhnika v sel'skom khozyaistve*. 2012; 5. 2-6 p.
9. Maslov GG, Palapin AV, Rinas NA. [Mounted grain harvester]. Patent № 141083 U1 Russian Federation, IPC A01D 41/00. № 2013146050/13; zayavl. 15.10.2013; opubl. 27.05.2014; zayavitel': Kubanskiy gosudarstvennyi agrarniy universitet.
10. Maslov GG, Tsybulevskiy VV, Palapin AV. [Optimal parameters of a multifunctional harvesting unit and the duration of harvesting winter wheat]. *Agrarnaya nauka*. 2015; 1. 25-27 p.
11. Vinevskiy EI, Papusha SK, Zhad'ko VV. [Assessment of the competitiveness of domestic and foreign grain harvesters]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2022; 1. 6-7 p.
12. Pogorelova MA, Yudina EM. [Threshing and separating device]. Patent № 2363140 C1 Russian Federation, IPC A01F 7/06, A01F 12/18. № 2008102187/12; zayavl. 21.01.2008; opubl. 10.08.2009; zayavitel': Kubanskiy gosudarstvennyi agrarniy universitet.
13. Pakhomov VI, Braginets SV, Rudoy DV. [Pneumatic threshing device]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2023; 6 (312). 28-30 p. doi: 10.33267/2072-9642-2023-6-28-30.
14. Rinas NA. [Towards a solution to the problem of complex harvesting of grain crops]. *Politematicheskii setevoy elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014; 103. 431-445 p.
15. Berenshteyn IB, Shabanov NP. [Resource-saving technologies for harvesting grain (spike) crops]. *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoy nauki Tavriy*. 2017; 10 (173). 62-73 p.
16. Maslov GG, Tsybulevskiy VV, Rinas NA. Optimization of flow and rhythm of work of the harvest-transport link. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2019; Vol.6. 4. 7053-7059 p.
17. Geydebrekht IP. [Canadian technology for harvesting agricultural crops]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2006; 4. 38-40 p.
18. Gol'tyapin VYa. [Foreign complex of machines for harvesting grain crops with processing of unwinded heaps at a station]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2008; 5. 123 p.
19. Poluektova NR, Berenshtein IB. [Assessment of the economic efficiency of wheat harvesting technologies based on boundary analysis methods]. *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoy nauki Tavriy*. 2018; 15 (178). 177-188 p.
20. D'yachkov AP, Kozlov VG, Brovchenko AD. [Modern technologies for harvesting grain crops and technical means for their implementation with optimal parameters]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020; Vol.13. 4 (67). 33-43 p. doi: 10.17238/issn2071-2243.2020.4.33.

Authors:

Yudina Elena Mikhaylovna – Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor of Processes and Machines in Agribusiness Department, e-mail: elena_yudina1963@mail.ru
 Rinas Nikolay Anatolyevich – Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor of Operation and Technical Service Department, e-mail: mr.rinas@mail.ru
 Papusha Sergey Konstantinovich – Ph.D. of Technical sciences, Head of Processes and Machines in Agribusiness Department, e-mail: serega0318@mail.ru
 Palapin Aleksey Vitalevich – Ph.D. of Technical sciences, Associate Professor of Processes and Machines in Agribusiness Department, e-mail: palapin77@mail.ru
 Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia.