



УДК 631.354.2 (083.131)

Г.Е. ЧЕПУРИН, член-корреспондент РАН, заместитель директора,
Н.М. ИВАНОВ, доктор технических наук, директор

*Сибирский научно-исследовательский институт
механизации и электрификации сельского хозяйства*

630501, Новосибирская область, пос. Краснообск

e-mail: sibime@ngs.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАСПОРТА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

На примере уборки зерновых культур урожайностью 18 ц/га рассмотрен порядок определения рабочей скорости и производительности комбайна класса 6 кт/с. При раздельной уборке комбайн полностью загружается на обмолоте валков, скошенных жатками с рабочей шириной захвата 20, 16, 12 и 10 м при скорости движения соответственно 6,2; 7,8; 10,4 и 12,5 км/ч. На этих скоростях комбайн за 1 ч чистого времени убирает 12,5 га, а сменная выработка комбайна за 10 ч сменного времени составит 84,3 га при нормативном отношении доли массы незерновой части 1 : 1,5. При отношении 1 : 2,3 сменная производительность уменьшается до 71,4 га, при 1 : 0,8 увеличивается до 110,8 га. Аналогичным образом определяется сменная производительность комбайна при нормативной доле массы незерновой части 1,5, а также 2,3 и 0,8 при рабочей ширине захвата хедера от 5 до 12 м на обмолоте зерновых культур урожайностью от 10 до 50 ц/га. При известных сменной производительности комбайна и урожайности зерновых культур определяются приведенные издержки и себестоимость получаемой продукции. Данные технологического паспорта позволяют установить допустимую скорость движения комбайна при уборке зерновых на каждом поле в зависимости от рельефа, длины гона и других факторов, выбрать наиболее рациональную технологию и уборочную технику, а также степень использования паспортной способности комбайна. Рациональное сочетание раздельной и прямой уборки зерновых, наличие необходимого шлейфа хедеров и валковых жаток в хозяйствах позволит повысить эффективность их использования, уменьшить себестоимость и повысить качество получаемой продукции.

Ключевые слова: технологический паспорт комбайна, пропускная способность, класс комбайна, раздельная и прямая уборка зерновых.

Характерной особенностью уборки зерновых в Сибири являются значительные колебания урожайности не только по природно-климатическим зонам, регионам, административным районам, предприятиям, но и по полям в пределах хозяйств.

В результате анализа динамики урожайности зерновых культур в основных зернопроизводящих регионах Сибирского федерального округа (СФО) за десятилетний период установлено, что средняя урожайность зерновых культур находилась в пределах 12–25 ц/га, наименьшая – в Алтайском крае, наибольшая – в Красноярском [1]. Средняя урожайность по годам в регионах варьировала в пределах 13–25 % (табл. 1).

Практически в каждом регионе есть районы, где средняя урожайность зерновых составляет 30–40 ц/га: в Красноярском крае за 2006–2010 гг. в

Таблица 1

Средняя урожайность зерновых культур и коэффициент ее вариации по регионам СФО

Регион	2000–2010 гг.		2006–2010 гг.	
	Урожайность, ц/га	Коэффициент вариации урожайности, %	Урожайность, ц/га	Коэффициент вариации урожайности, %
Новосибирская область	17,1	20,0	18,5	17,2
Омская область	14,8	25,0	14,8	20,1
Алтайский край	12,3	16,2	13,0	15,4
Красноярский край	—	—	24,6	13,0

Назаровском, Ужурском районах – 35–41 ц/га; в Новосибирской области она изменялась от 21 до 33 ц/га, в Ордынском районе – от 20–25 ц/га, а в ЗАО «Верх-Ирмень» находилась в пределах 35–42 ц/га. При таких различиях в урожайности по регионам и районам, тем более отдельным хозяйствам, единых рекомендаций по типуажу уборочной техники быть не может. Чтобы зерноуборочный комбайн любой пропускной способности работал эффективно, необходимо обеспечить условия для реализации его потенциальных возможностей, т.е. паспортной пропускной способности, за счет соответствующего шлейфа хедеров или валковых жаток, имеющих соответствующую ширину захвата, а также допустимую скорость движения комбайна.

В настоящее время зарубежные и отечественные комбайностроительные фирмы все интенсивнее осваивают российский рынок, расширяется номенклатура отечественных зерноуборочных комбайнов. Многообразие моделей зерноуборочных комбайнов, предлагаемых сельхозтоваропроизводителям, вызывает необходимость оценки их технического и технологического уровня и выбора наиболее эффективной модели для конкретных условий уборки зерновых культур.

Цель исследования – обоснование рационального типажа зерноуборочной техникой, учитывающее природно-климатические зональные и производственные условия.

Основными показателями, интересующими потребителя, являются производительность и пропускная способность зерноуборочных комбайнов при регламентированном уровне потерь (обычно 1,5 % за молотилкой комбайна при отношении массы зерна к массе соломы 1 : 1,5). Используя эти показатели, рассчитывают число необходимых комбайнов, продолжительность и экономическую эффективность уборки, выбирают аналоги для оценки технического уровня. Для отечественных комбайнов их пропускная способность определяется при испытаниях на машиноиспытательных станциях (МИС). Зарубежные фирмы в своих проспектах и в других информационных материалах приводят технические характеристики зерноуборочных комбайнов без этих показателей.

В практике мирового комбайностроения применяют различные системы классификации зерноуборочных комбайнов, которые позволяют ориентироваться в многообразии предлагаемых рынком моделей комбайнов. Классификацию и типизацию зерноуборочных комбайнов проводят

с целью помочь потребителю ориентироваться в многообразии предлагаемых рынком моделей зерноуборочных комбайнов при выборе наиболее рациональной, а производителям комбайнов – определить место на рынке каждой выпускаемой модели для планирования объемов производства. В источнике [2] сообщалось, что в США отсутствует единый стандарт распределения комбайнов по классам, поэтому каждая фирма предлагает свои подходы при определении класса комбайна по производительности, мощности двигателя, ширине молотилки. С 2004 г. в США принята система классификации комбайнов только по мощности двигателя, которая периодически пересматривается по мере увеличения мощности двигателей, устанавливаемых на новые модели комбайнов. Аналогичную систему классификации комбайнов по мощности движения применяют в Аргентине. Разработчиками классификации отмечено, что при отнесении комбайна к определенному классу учитываются и другие факторы: объем бункера, вид привода ходовой части комбайна (механической или гидростатической) [2].

В СССР применяли, как и в настоящее время в РФ и странах СНГ, классификацию комбайнов по номинальной (паспортной) пропускной способности комбайнов. В соответствии с источниками [3–5] МИС проводят испытания комбайнов при обмолоте зерновых культур на участке с прямым стеблестоем, влажностью зерна 10–18 %, незерновой части 10–20 % и отношении зерна к соломе 1 : 1,5, уклон поля не должен превышать 2 %. По результатам испытаний строят график изменений, общих потерь зерна за молотилкой комбайна от фактической подачи хлебной массы. За паспортную (номинальную) пропускную способность принимают пропускную способность в килограммах в секунду, соответствующую потерям зерна 1,5 %. По данной величине устанавливают класс зерноуборочного комбайна. На этапе проектирования комбайнов их пропускную способность рассчитывают, используя выражения, учитывающие конструктивные параметры рабочих органов комбайна, мощность двигателя, ширину молотилки, удельную мощность на единицу пропускной способности, объем бункера и другие факторы [5–9].

При обосновании класса комбайна по пропускной способности (кг/с), соответствующей допустимому уровню потерь зерна за молотилкой 1,5 %, для конкретных условий необходимо учитывать фактическую реализуемость паспортных данных в реальных условиях эксплуатации; соответствие класса комбайна требованиям сельхозтоваропроизводителей с учетом зональных особенностей; наличие гарантированной эффективности применения; конкурентоспособность нового комбайна в сравнении с аналогами, т.е. по критериям «цена – производительность», «цена – качество», «цена – стоимость техсервиса», которые должны обеспечивать прибыль сельхозтоваропроизводителю.

Основными факторами, определяющими фактическую производительность комбайна и реализуемость его паспортной производительности, являются урожайность зерна и соломы; состояние урожая зерновых культур по влажности, засоренности, полеглости и другое; скорость движения комбайна; ширина захвата хедеров или валковых жаток; размеры полей и их конфигурация; способ уборки незерновой части урожая; техническая и технологическая надежность; транспортное обеспечение; состояние инже-

нерной службы хозяйства; квалификация механизаторских кадров; организация уборочных работ.

Сложившаяся практика оснащения сельскохозяйственных предприятий зерноуборочной техникой во многих регионах СФО носит стихийный характер, не учитываются зональные и производственные особенности уборки зерновых, а также возможности рационального использования паспортной пропускной способности комбайнов при различных технологиях уборки, что значительно снижает эффективность их применения, увеличивает себестоимость и качество получаемой продукции.

По данным источника [1], парк зерноуборочных комбайнов в Новосибирской области в 2010 г. имел 6 тыс. единиц 65 моделей, выпускаемых 29 фирмами. За последние 5 лет приобретено 65 новых моделей импортных комбайнов. Такая же разномарочность комбайнов имеет место и в других регионах СФО. Многие модели комбайнов, особенно с высокой пропускной способностью, при уборке зерновых урожайностью до 25 ц/га полностью не используют свои потенциальные возможности, что значительно повышает эксплуатационные затраты и себестоимость зерна.

Степень загрузки молотилки комбайна определяется как отношение фактической подачи хлебной массы (q_f), поступающей в молотилку комбайна, к его паспортной способности (q_o), величина которой определяется массой хлебной массы, поступающей за секунду.

В табл. 2 представлена расчетная степень загрузки комбайнов классов от 5 до 8 кг/с в зависимости от ширины захвата жатки и хедера, урожайности, массы зерна к незерновой части при отношении 1 : 1,5 в долях единицы.

Таблица 2

Степень загрузки молотилки комбайнов в зависимости от урожайности и ширины захвата жатки при раздельной и прямой уборке

Ширина захвата жатки, м	Класс комбайна, кг/с	Урожайность, ц/га					
		10	15	20	25	30	35
6	5	0,44	0,66	0,89	1,10	1,32	1,54
	6	0,36	0,54	0,73	0,91	1,08	1,26
	8	0,30	0,45	0,60	0,75	0,89	1,05
10	5	0,61	0,91	1,21	1,51	1,82	2,12
	6	0,52	0,80	1,05	1,31	1,57	1,83
	8	0,43	0,65	0,87	1,09	1,30	1,52
12	5	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00	1,33
	6	0,61	0,91	1,21	1,51	1,82	2,12
	8	0,49	0,73	0,95	1,22	1,46	1,70
16	5	0,80	1,20	1,60	2,00	2,40	2,80
	6	0,71	1,07	1,43	1,85	2,14	2,50
	8	0,57	0,83	1,14	1,43	1,71	2,00
20	5	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
	6	0,83	1,25	1,67	2,08	2,50	2,92
	8	0,71	1,07	1,43	1,78	2,14	2,50

По данным М.А. Пустыгина [10], Г.Д. Терского [11], содержание зерна в составе хлебной массы уменьшает содержание незерновой части, что в отношении качественных показателей работы молотилки комбайна равносильно снижению нагрузки.

Процесс выделения зерна в комбайне включает две стадии: просев зерна через ворох на соломотрясе; просеивание зерна через отверстия решет очески и соломотряса – и определяется структурой пространственной решетки вороха и разрыхленностью слоя на решетках и соломотрясе. В связи с этим фактическая паспортная пропускная способность ($q\tilde{}$), существенно зависит от доли незерновой части в составе обмолачиваемой хлебной массы (Γ_c) и определяется по формуле

$$q\tilde{=} 0,6q_0 \left(1 + \frac{1}{\Gamma_c} \right)^* \quad (1)$$

На рис. 1. показаны зависимости изменения паспортной пропускной способности комбайнов класса от 5 до 12 кг/с при допустимом уровне потерь за молотилкой комбайна 1,5 % и изменении содержания незерновой части в составе обмолачиваемой хлебной массы в долях единицы от 2,3 до 0,7.

В соответствии с Системой критериев качества и эффективности сельскохозяйственной техники», изданной Министерством сельского хозяйства РФ [12], допускается недоиспользование паспортной способности комбайна не более 10 %. Перегрузка молотилки комбайна не допускается, поскольку приводит к значительным потерям зерна.

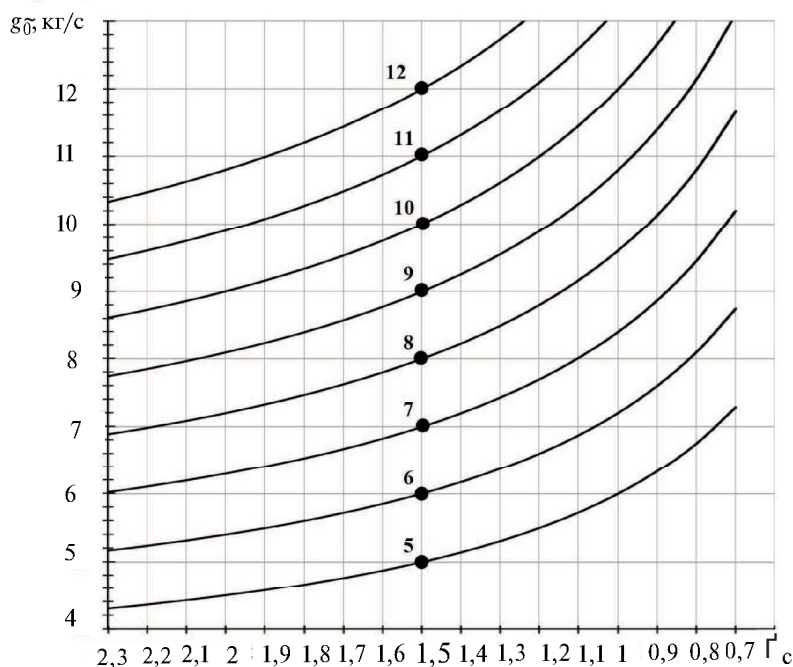


Рис. 1. Изменение пропускной способности комбайнов от содержания незерновой части в хлебной массе

Современные отечественные и зарубежные зерноуборочные комбайны обеспечивают синхронизацию частоты вращения мотовила при прямом комбайнировании и подборщика при раздельной уборке со скоростью движения комбайна. Это позволяет увеличивать рабочую скорость комбайна до 12–13 км/ч, что обеспечивает оптимальную загрузку не только за счет ширины захвата, но рабочей скорости движения.

Рабочая скорость движения комбайна (V_p), реализующая паспортную способность, определяется по формуле

$$V_p = \frac{360q_0}{GB\P_b}, \quad (2)$$

где q_0 – паспортная пропускная способность комбайна, кг/с; G – урожайность зерновых культур, ц/га; B – конструктивная ширина захвата жатки, м; $\P_b$ – коэффициент использования ширины захвата – 0,96 [12].

На рис. 2 представлены зависимости изменения рабочей скорости движения комбайна класса 6 кг/с при полной паспортной загрузке на раздельной и прямой уборке с использованием жатки с рабочей шириной захвата от 5 до 20 м и скорости движения комбайна до 13 км/ч при уборке зерновых урожайностью от 10 до 50 ц/га, отношении массы зерна к массе соломы 1 : 1,5 и относительной влажности хлебной массы 14–20 %.

На примере уборки зерновых культур с урожайностью 18 ц/га рассмотрим порядок определения рабочей скорости и производительности комбайна. По рис. 2, а, как показано штриховой линией со стрелками, определяем скорость движения комбайна при обмолоте сдвоенных валков, скошенных жатками шириной 20, 16, 12 и 10 м. Условно будем в дальнейшем принимать эти валки, скошенными жатками с рабочей шириной захвата 20, 16, 12 и 10 м. Комбайн класса 6 кг/с полностью загружается на обмолоте валков, скошенных указанными жатками при скорости движения соответственно 6,2; 7,8; 10,4; 12,5 км/ч.

По рис. 2, б определяем рабочую производительность комбайна за 1 ч чистого времени, равную 12,5 га/ч при обмолоте сдвоенных валков 10, 12, 16, 20 м при массе незерновой части в долях единицы – $\Gamma_c = 1,5$.

Аналогичным образом определяем производительность комбайна на прямом комбайнировании при рабочей ширине захвата хедера от 5 до 12 м и нормативной доле массы незерновой части 1,5, а также на обмолоте зерновых урожайностью от 10 до 50 ц/га при изменении Γ_c от 0,7 до 2,3. В рассматриваемом примере часовая производительность комбайна при $\Gamma_c = 2,3$, $W = 11$ га/ч, при $\Gamma_c = 0,8$ – $W = 16,3$ га/ч.

Сменная производительность комбайна (W_{cm}) определяется по формуле

$$W_{cm} = W \cdot T \cdot \Pi_{cm}, \quad (3)$$

где T – продолжительность смены, ч (принимается в расчетах $T = 10$ ч); Π_{cm} – коэффициент использования времени смены в долях единицы; по нормативам $\Pi_{cm} = 0,68$ [12].

Расчетная сменная производительность комбайна 6 кг/с (W_{cm}) при раздельной уборке зерновых урожайностью 18 ц/га при нормативной $\Gamma_c = 1,5$ составляет 84,3 га, при $\Gamma_c = 2,3$ равна 71,4 га, при $\Gamma_c = 0,8$ – 110,8 га.

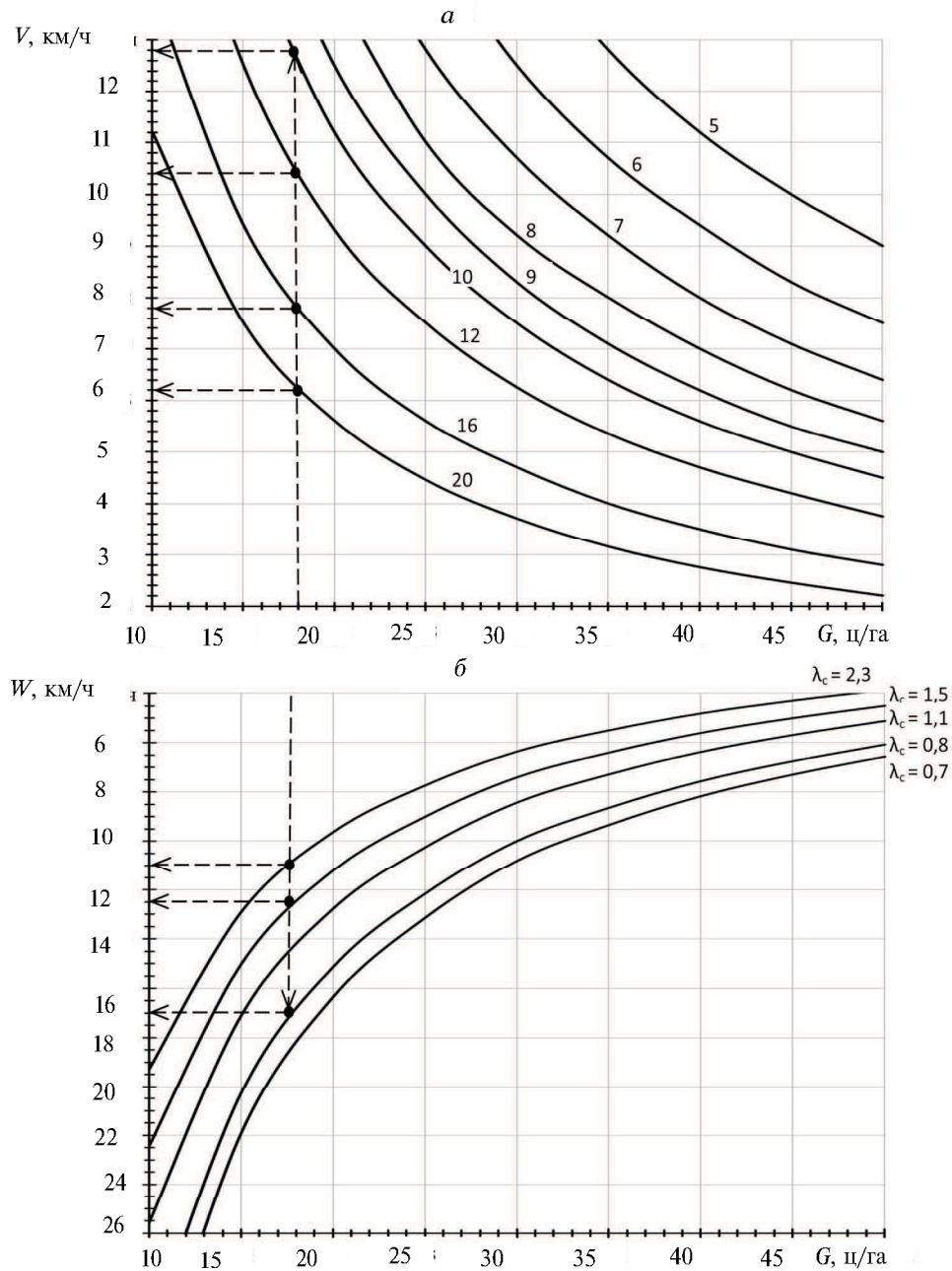


Рис. 2. Производительность и рабочая скорость комбайна класса 6 кг/с за 1 ч чистого времени в зависимости от урожайности (а) и содержания незерновой части в хлебной массе в долях единиц (б), га/ч; V_p – рабочая скорость комбайна, км/ч; цифры 5–10, 12, 16, 20 – рабочая ширина захвата жатки хедера, м; G – урожайность, ц/га; W – производительность комбайна за час чистого времени, га/ч; Γ_c – содержание незерновой части в хлебной массе, доли единиц.

При известных сменной производительности комбайна и урожайности зерновых культур определяются приведенные издержки и себестоимость получаемой продукции. Кроме того, данные технологического паспорта позволяют установить допустимую скорость движения комбайна при уборке зерновых на каждом поле в зависимости от рельефа, длины гона и других факторов, выбрать наиболее рациональную технологию и уборочную технику, а также степень использования паспортной способности комбайна.

Рассмотрим пример, когда скорость движения комбайна на конкретном поле равна нормативной – $V_n = 7,5$ км/ч [12]. В этом случае на уборке зерновых раздельным способом с урожайностью 18 ц/га и $\Gamma_c = 1,5$ на обмолоте валков, скошенных жаткой $B_p = 10$ м, комбайн будет загружен на 56 %, при $B_p = 12$ м – на 72, $B_p = 16$ м – на 96, при $B_p = 20$ м перегружен на 20 %. Согласно нормативам [12], допускается недоиспользование паспортной способности комбайна не более 10 %. Следовательно, только при $B_p = 16$ м будет соблюдаться норматив. Если $B_p = 20$ м, скорость движения следует уменьшить до 6,2 км/ч, чтобы не допускать перегруза комбайна.

При прямом комбайнировании (если не будет ограничений по скорости движения до 13 км/ч) комбайн класса 6 кг/с при рабочей ширине хедера 5 м будет загружен полностью на обмолоте зерновых с урожайностью 34,8 ц/га, 6 м – 29, 7 м – 24,7, 8 м – 22, 9 м – 19, 10 м – 18,0, 12 м – 14 ц/га. На уборке зерновых с указанной урожайностью при нормативной скорости движения 7,5 км/ч комбайны класса 6 кг/с загружаются только на 0,57 %, следовательно, они не будут использовать свои потенциальные возможности.

При нормативной скорости 7,5 км/ч комбайн класса 6 кг/с на прямом комбайнировании загружен полностью, если $\Gamma_c = 1,5$ на уборке зерновых при рабочей ширине захвата хедера 6, 7, 8, 9, 10, 12 м при уборке зерновых с урожайностью, равной или более 50, 43, 37, 33, 30 и 25 кг/га соответственно. Если Γ_c значительно меньше 1,5, комбайн будет работать с недогрузкой.

Рациональное сочетание раздельной и прямой уборки зерновых, наличие необходимого шлейфа хедеров и валковых жаток в хозяйствах позволит повысить эффективность их использования, уменьшить себестоимость и повысить качество получаемой продукции.

Представленный материал на примере обоснования основных положений разработки технологического паспорта комбайна класса 6 кг/с раскрывает только частично практическую значимость разработки аналогичных паспортов для всех классов зерноуборочных комбайнов, поставляемых в сельскохозяйственные предприятия Сибири, что крайне необходимо при обосновании типажа уборочной техники, разработке стратегии и тактики проведения уборочных работ с учетом зональных природно-климатических и производственных условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Чепурин Г.Е., Иванов Н.М., Кузнецов А.В. и др. Уборка и послеуборочная обработка зерновых культур в экстремальных условиях Сибири. – М.: Росинформагротех, 2011. – 175 с.
2. Клочков А.В., Дюжев А.А., Гусаров В.В. Зерноуборочные комбайны: этапы совершенствования, современное состояние, перспективы развития. – Минск, 2012. – 179 с.

3. ГОСТ 28301–89 (СТСЭВ 6542–88) Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 17 с.
4. Гольяпин В.Я. Анализ пропускной способности зерноуборочных комбайнов и основных показателей, определяющих ее величину: аналитическая справка (обзор). – М.: Росинформагротех, 2002. – 22 с.
5. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. – М.: ВИМ, 2001. – 106 с.
6. Жалнин Э.В., Баранов А.А., Сулейманов М. Среднестатистическая пропускная способность зерноуборочных комбайнов // Тракторы и с.-х. машины. – 1997. – № 8. – С. 25–27.
7. Занько Н.Д. Методика оценки пропускной способности молотилки и определения класса зерноуборочного комбайна // Тракторы и с.-х. машины. – 1999. – № 6. – С. 26–28.
8. Занько Н.Д., Осипов Н.М. Оценка пропускной способности молотилки с системой интенсивной сепарации зерна // Тракторы и с.-х. машины. – 1996. – № 10. – С. 13–15.
9. Пенкин С.М. Оценка пропускной способности зерноуборочных комбайнов по известным параметрам // Тракторы и с.-х. машины. – 2003. – № 1. – С. 24–26.
10. Пустыгин М.А. Теория и технический расчет молотильных устройств. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 322 с.
11. Терсков Г.Д. Расчет зерноуборочных машин. – М.: Изд-во машиностроительной литературы. – 1961. – 213 с.
12. Система критериев качества, надежности, экономической эффективности сельскохозяйственной техники. – М.: Росинформагротех, 2010. – 376 с.

Поступила в редакцию 12.04.2016

**G.E. CHEPURIN, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,
Deputy Director,**

N.M. IVANOV, Doctor of Science in Engineering, Director

Siberian Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture

Krasnoobsk, Novosibirsk District, Novosibirsk Region, 630501 Russia

e-mail: sibime@ngs.ru:

THEORETICAL FRAMEWORK FOR DEVELOPING A PASSPORT OF GRAIN HARVESTER

By way of example of harvesting grain crops with yield of 18 centners per ha is considered a procedure for determining operating speed and performance of a harvester of the 6 kg/c class. At two-phase harvesting, a harvester is fully loaded with swaths of grain crops cut by swathers with operating coverages of 20, 16, 12 and 10 m at the operating speeds of 6.2; 7.8; 10.4 and 12.5 km/h. At these speeds, a harvester takes 12.5 ha for 1 hour; daily output for 10 hours of work makes up 84.3 ha at the normative ratio of non-grain component weight of 1 : 1.5. At the ratio of 1 : 2.3, daily performance decreases to 71.4 ha; at 1 : 0.8 increases to 110.8 ha. In a similar way is determined daily performance of a harvester at the normative part of non-grain component weight of 1.5 as well as 2.3 and 0.8, at operating swaths of the header from 5 to 12 m when threshed grain crops with yields from 10 to 50 centners/ha. When we know daily performance of the harvester and yield, we can determine costs and price for the products obtained. The data of technological passport allow us to set a permissible speed of a harvester, when it takes grain crops, on each field depending on relief, length of run, and other factors; to choose the most rational technology and harvesting machinery as well as a degree of using passport's capabilities of a harvester. The rational combination of direct and two-phase methods of harvesting of grain crops, and availability of necessary headers and swathers in farms make it possible to increase the effectiveness of their use, decrease costs and improve quality of the products obtained.

Keywords: grain harvester, technological passport, throughput, class of harvester, direct and two-phase harvesting methods.