



# Выбор зерноуборочных комбайнов по критерию граничной урожайности



**В статье обоснован и предложен критерий «граничной урожайности» для подбора зерноуборочных комбайнов под конкретные условия хозяйства, позволяющий обеспечить их максимально эффективное использование при минимальных затратах.**

Механизированная уборка урожая является одной из самых затратных технологических операций. По статистике на ее долю приходится 25-45% прямых технических затрат, расходуемых в целом на реализацию технологии производства зерновых культур. Обусловлено это в основном высокой стоимостью зерноуборочных комбайнов, большими затратами на их содержание и эксплуатацию.

Если к этому добавить факт многообразия поставляемых на рынок моделей уборочной техники, то станет очевидной вся сложность задачи выбора эффективного для предприятия комбайна. В данной работе описан алгоритм решения этой задачи с использованием показателя «граничная урожайность», который наиболее полно характеризует работу комбайна в условиях действия реальных производственных ограничений.

**Комбайны разных классов с одинаковой шириной жатки, работая на уборке полей с урожайностью меньше их граничного значения, будут иметь одинаковые производительности, как по убранной площади, так и по намолоту зерна.**

Процесс механизированной уборки урожая протекает в рамках трех ограничивающих факторов: допустимый уровень потерь зерна ( $G_m$ ), предельная рабочая скорость комбайна ( $V_p$ ) и ограниченный период уборки урожая ( $T_p$ ).

**1. Уровень допустимых потерь зерна.** По агротехническим требованиям потери зерна за молотилкой комбайна не должны превышать 1,5% ( $G_m=1,5\%$ ) при его работе на полях с любым уровнем урожайности. При этом рабочая скорость движения комбайна является главным оперативно управляемым фактором, обеспечивающим как его производительность, так и режимы работы на допустимом уровне потерь.

**2. Предельная рабочая скорость движения комбайна.** Ограничена она конструкцией машины,

определяющей уровень комфортных условий труда механизатора, и его индивидуальными физиологическими возможностями. Исследования, а также многочисленные данные натурных испытаний и хозяйственных наблюдений указывают на то, что скорость движения современных зерноуборочных комбайнов, при которой механизатор способен длительно работать, находится в диапазоне от 1,8 до 2,2 м/с (6,5-7,9 км/ч).

В США уровень рабочих скоростей комбайнов регламентирован стандартом ASAE в диапазоне от 3,0 до 6,5 км/ч. При определении же сравнительной эффективности различных типов и марок самоходных зерноуборочных комбайнов этот стандарт рекомендует оценку их технико-экономических показателей определять на скорости 5,0 км/ч. В отечественной практике такая норма регламентации рабочей скорости отсутствует. Поэтому в рамках данной работы примем ее равной 2,0 м/с (7,2 км/ч).

**3. Период уборки.** Потребность в нормировании этого показателя обусловлена наличием у зерновых культур процесса естественного самопроизвольного осыпания спелого зерна. По данным Самарского НИИСХ, в зоне Поволжья зерновые ежедневно теряют от 0,8 до 1,1% от своей урожайности (средняя величина 0,94%). При этих данных и допустимом уровне потерь урожая от осыпания в 2% требуемый период уборки зерновых равен 7 дням, что при 12-часовой длине рабочего дня составляет 84 часа ( $T_p=7 \times 12=84$ ). Аналогичную статистику имеют и другие НИИСХ субъектов Российской Федерации.

Работа комбайна в условиях постоянного действия указанных выше ограничений позволяет под термином «граничная урожайность» понимать такую урожайность поля с хлебостоем при нормированном отношении зерна к соломе 1:1,5 (далее нормированный хлебостой), при уборке которого с предельной рабочей скоростью обеспечивается режим 100% загрузки молотильного устройства комбайна при уровне потерь зерна 1,5%.

Показатель граничной урожайности комбайна определяют по формуле:

$$U_{гр} = 360 \times Q / V_{ж} \times V_p (1 + \phi),$$

где  $U_{гр}$  – граничная урожайность, ц/га;  $Q$  – порция хлебной массы в молотилку комбайна, соответствующая регламентированному уровню потерь 1,5%, кг/с;  $V_{ж}$  – ширина захвата жатки, м;  $V_p$  – предельная рабочая скорость комбайна, км/ч;  $\phi = mс/мз$



– коэффициент, характеризующий отношение массы соломы (мс) к массе зерна (мз) в хлебном ворохе, подаваемом в молотилку. Для злаковых культур  $\phi=0,5...2,5$ . Нормированному состоянию хлебостоя соответствует величина  $\phi=1,5$ .

Численные значения граничной урожайности комбайнов разных классов, работающие на полях с нормированным хлебостоем и шириной жаток от 4 до 9 м, приведены в **таблице 1**.

Показатель граничной урожайности обладает целым рядом полезных свойств, которые играют решающую роль в решении хозяйственных проблем выбора зерноуборочного комбайна и оптимизации режимов его эксплуатации. Во-первых, он указывает для каждого комбайна свою границу деления полей на низкоурожайные и высокоурожайные.

При работе комбайна на полях с низкой для него урожайностью он всегда движется с предельной рабочей скоростью  $V_p$ , то есть имеет постоянную погектарную производительность и изменяемую производительность по массе убираемого зерна, которая уменьшается по мере снижения урожайности убираемой культуры.

При уборке комбайном полей с высокой для него урожайностью имеет место диаметрально противоположная картина: производительность по массе убранного зерна является постоянной, а погектарная производительность переменная из-за снижения рабочей скорости комбайна. Заметим, в делении полей на низкоурожайные и высокоурожайные абсолютная величина урожайности сама по себе не играет роли. Для комбайна 5-го класса с  $Угр=22$  ц/га урожайность от 22 до 27,1 ц/га является высокой, а для комбайна 9-го класса  $Угр=27,1$  ц/га она классифицируется как низкая.

Во-вторых, показатель граничной урожайности на деле разрешает неопределенность по двум производным по своей природе производительностям: производительность за час сменного времени по намолоту зерна ( $WT_0$ , [т/ч]) и по площади уборки ( $WS_0$ , [га/ч]). Вычисляются они по разным формулам:

$$WT_0 = 3,6 \times Q\phi \times \alpha; \quad WS_0 = 0,1 \times B \times V_p,$$

где  $Q\phi = q_{сн}/\beta$  – фактическая подача хлебной массы, кг/с;  $q_{сн}$  – подача соломы в комбайн заданного класса при уборке им нормированного хлебостоя;  $\beta = \phi/(1+\phi)$  – коэффициент соломистости входного вороха хлебной массы;  $\alpha = 1 - \beta = 1/(1+\phi)$

Класс комбайна	Q*, кг/с	Угр при работе с жатками разной ширины, ц/га				
		4 м	5 м	6 м	7 м	9 м
5	5,5	27,5	22	18,3	15,7	12,2
7	7,5	37,5	30	25	21,4	16,7
9	9,5	47,5	38	31,7	27,1	21,1
11	11,5	57,5	46	38,3	32,9	25,6
13	13,5	67,5	54	45	38,6	30

\* подача на уровне середины классового интервала

**Таблица 1. Граничная урожайность комбайнов разных классов**

– коэффициент долевого содержания зерна во входном ворохе хлебной массы. Нормированный хлебостой с показателем  $\phi=1,5$  содержит 40% зерна и 60% соломы ( $\alpha=0,4$ ;  $\beta=0,6$ ).

При работе комбайна на поле с урожайностью зерна ( $УЗ$ ) выше его граничного значения  $УЗ > Угр$  его производительность  $WT_0$  является постоянной, а  $WS_0$  переменной. При работе того же комбайна на поле с  $УЗ < Угр$  имеет место обратная картина. Постоянная производительность по намолоту обусловлена неизменностью условия 100% загрузки молотильно-сепарирующего устройства конкретной конструкции комбайна, а по площади уборки в силу постоянства предельной рабочей скорости его движения.

**Для всех полей с урожайностью выше граничной затраты на обмолот одной тонны зерна для каждого комбайна будут минимальные. При этом, чем больше урожайность поля превышает граничную урожайность комбайна, тем меньше рабочая скорость его движения и ниже величина его погектарной производительности.**

Наличие у комбайна двух указанных производительностей естественно приводит и к двум видам эксплуатационных себестоимостей уборки: себестоимость намолота 1 т зерна и себестоимость уборки 1 га:

$$ZTЭ = ЧЭЗ/WTЭ; \quad ZSЭ = ЧЭЗ/WSЭ,$$

где  $ZTЭ$ ,  $ZSЭ$  – соответственно себестоимость намолота (руб./т) и уборки единицы площади (руб./га);  $WTЭ = WT_0 \times KЭ$ ,  $WSЭ = WS_0 \times KЭ$  – соответ-

«Дон Мар»
Ең дұрыс таңдау!  
Единственный правильный выбор! Тел.: 8(71433)3-09-99 www.donmar.kz



7,9,12 м







40 м



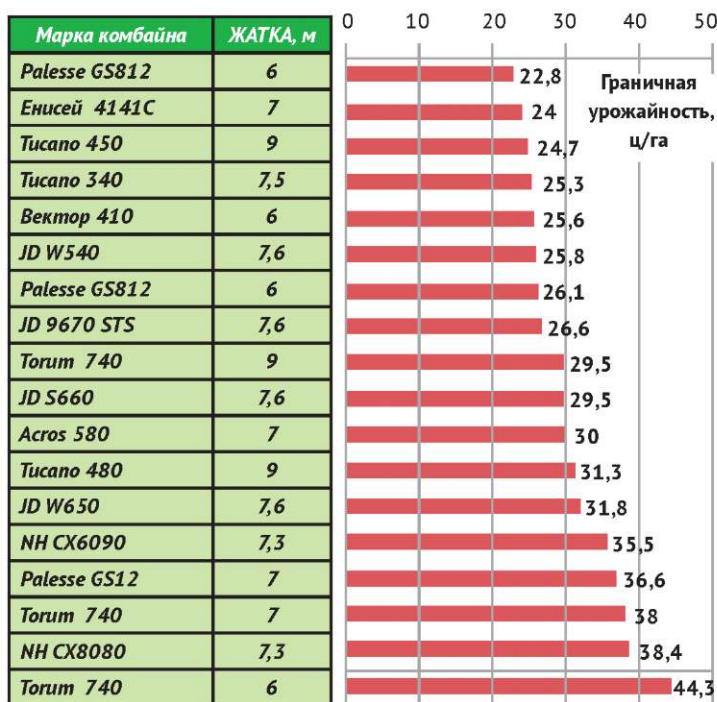


Рисунок 1. Рейтинг комбайнов по граничной урожайности

ственно эксплуатационная производительность по массе намолоченного зерна (т/ч) и уборки единицы площади (га/ч); КЭ – коэффициент использования эксплуатационного времени; ЧЭЗ – часовые эксплуатационные затраты зерноуборочного комбайна, которые определены по ЧЭЗ-методике, руб./ч.

**Работа на низкоурожайных полях.** Комбайны разных классов с одинаковой шириной жатки, работая на уборке полей с урожайностью меньше их граничного значения, будут иметь одинаковые производительности, как по убранной площади, так и по намолоту зерна. На деле это означает то, что комбайны высокого класса показывают те же результаты по намолоту, что и комбайны меньшего класса.

Однако себестоимость работы комбайна высокого класса будет всегда выше из-за его более высокой стоимости. Это очень важно для потребителей момент, так как он однозначно указывает, что для зон с заведомо низкой урожайностью нецелесообразно приобретать зерноуборочные комбайны высокого класса.

**Работа на высокоурожайных полях.** Для всех полей с урожайностью выше граничной затраты на обмолот одной тонны зерна для каждого комбайна будут минимальные. При этом, чем больше урожайность поля превышает граничную урожайность комбайна, тем меньше рабочая скорость его движения и ниже величина его погектарной производительности.

Как следствие этого, себестоимость погектарной уборки увеличивается при неизменной себестоимости уборки одной тонны зерна. Таким образом, при выборе комбайна для уборки высокоурожайных полей следует руководствоваться минимальным значением себестоимости уборки одной тонны зерна.

В третьих, показатель граничной урожайности конкретизирует расчет численного состава требуемого парка зерноуборочных комбайнов. Это следует из формулы

$$N = S / (WSЭ \times Tп) = S \times Nуд,$$

где N – потребное число зерноуборочных комбайнов, ед.; WSЭ – эксплуатационная производительность комбайна по площади уборки, га/ч; Tп – регламентированный период уборки урожая, час; Nуд – удельная потребность (оснащенность) в зерноуборочных комбайнах для уборки поля на площади в один гектар, шт./га; S – площадь убираемой культуры, га.

Исходя из всего вышеизложенного, оптимальным для хозяйства является выбор такого класса и марки комбайна, у которого величина показателя конструктивной граничной урожайности близка к урожайности в хозяйственных условиях, а величина себестоимости уборки зерна минимальная. Конструктивная граничная урожайность комбайнов, участвовавших в сравнительных испытаниях 2012 года, приведена на рисунке 1.

**Закключение.** Для эффективного использования любого зерноуборочного комбайна необходимым условием является 100% загрузка его молотильного устройства. Обеспечить эффективный режим работы с учетом конкретных условий уборки можно, пользуясь критерием граничной урожайности, который однозначно указывает границу 100% загрузки для комбайнов любой производительности и комплектации.

При уборке полей с урожайностью, обеспечивающей для выбираемых комбайнов оптимальную загрузку их молотильных устройств, экономически будет эффективным тот, у которого себестоимость обмолота одной тонны наименьшая. В тех случаях, когда на выполнение заданного объема работ комбайны разных классов затрачивают одно и то же время, всегда экономически выгоднее применять тот тип комбайна, у которого часовые эксплуатационные затраты наименьшие.

Показатель «граничная урожайность» указывает для комбайна точку перехода с режима уборки низкоурожайного поля к высокоурожайному. В практическом же плане это означает переход на использование более эффективной единицы измерения стоимости уборки, которая гарантирует безусловную окупаемость эксплуатационных затрат комбайна. С

В.М. ПРОНИН,  
к.т.н.,  
директор ФГБУ  
«Поволжская МИС»,  
В.А. ПРОКОПЕНКО,  
к.т.н., научный  
консультант ФГБУ  
«Поволжская МИС»,  
Ю.М. ДОБРЫНИН,  
к.т.н., заведующий  
лабораторией  
испытаний  
зерно-кормоуборочной,  
оросительной  
техники  
и внедрения новых  
технологий ФГБУ  
«Поволжская МИС»

**Партнеры рубрики «АПК: модернизация»:**



Федеральное государственное бюджетное учреждение «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция» (Поволжская МИС)



Некоммерческое объединение юридических лиц «Ассоциация испытателей сельскохозяйственной техники и технологий» (АИСТ). Председатель Совета В.М. Пронин.