

УДК 631.354.2

## К ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**МАСЛОВ Г.Г.,**  
докт. техн. наук,

**ТРУБИЛИН Е.И.,**  
докт. техн. наук

Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация, trubilinei@mail.ru

*Исследовали влияние урожайности зерновых колосовых культур на фактическую соломистость хлебной массы. Установлен интервал ее распределения 0,6-1,2 в диапазоне урожайности 3-12 т/га. Отметили, что закономерность снижения соломистости с повышением урожайности подтверждается критерием Кохрена (его расчетное значение 0,56 меньше табличного 0,62). Снижение соломистости облегчает рабочий процесс комбайнов. Установлена зависимость потребной на процесс работы комбайна мощности двигателя для различных технологических схем молотильно-сепарирующих устройств с бильным и роторным молотильными барабанами. Доказали адекватность полученных математических моделей зависимости мощности двигателя комбайна от его пропускной способности. Для комбайнов классической технологической схемы расчетное значение критерия Фишера 0,75 меньше табличного 0,77. Для комбайнов с аксиально-роторным молотильно-сепарирующим устройством табличное значение критерия 0,8 также превышает расчетное 0,66. Результаты расчетов потребной мощности двигателя по различным методическим подходам авторов показали близкую сходимость результатов, не превышающую 10 процентов, что подтверждает их объективность. Подтвердили, что технологическая и экономическая эффективность роторных зерноуборочных комбайнов лучше, по сравнению с комбайнами классической схемы, вследствие более высокой удельной пропускной способности комбайна, меньшей доле дробления и микроповреждения зерна. Установили, что у зерноуборочных комбайнов с аксиально-роторной схемой молотильно-сепарирующих устройств дробление зерна составляет не более 0,5-0,6 процента, что улучшает их экономические показатели. В то же время у комбайнов с классической схемой доля дробленого зерна составляет 4-6 процентов, что резко повышает долю косвенных потерь урожая. Показали, что при обновлении комбайнового парка сельхозпредприятий целесообразно внедрять высокопроизводительные комбайны с аксиально-роторной схемой.*

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, потери зерна, пропускная способность, молотильно-сепарирующее устройство, дробление зерна, эффективность.

**С**овершенствование комбайновой уборки зерна в современных условиях направлено на повышение их производительности и качества работы, снижение затрат, прямых и косвенных потерь урожая, экономию топлива. Оно способствует своевременному выполнению уборочных работ, оснащению сельхозпредприятий комбайнами нового поколения, обеспечивающими полноту сбора выращенного урожая с минимальным его повреждением.

В структуре комбайнового парка подавляющее большинство машин имеет классическую схему мо-

лотильно-сепарирующего устройства (МСУ). При этом комбайны с аксиально-роторными МСУ более производительны и меньше травмируют зерно, обеспечивая дополнительный сбор урожая.

**Цель исследований** – установить зависимости потребной мощности двигателя современных зерноуборочных комбайнов с классической схемой и роторным МСУ и преимущества роторных схем.

**Материалы и методы.** Важнейшей паспортной характеристикой комбайна служит пропускная способность  $q_k$  его молотилки (кг/с). Это «количество зерносоломистой массы в килограммах, которое

обмолочено в комбайне за 1 с при суммарных потерях недомолотом, невытрясом и распылом в количестве 1,5% от всего обмолоченного зерна и отношении массы соломы к массе зерна 1,5» [1]. Пропускная способность  $q_k$  определяет производительность комбайна, класс, размерно-массовые и стоимостные параметры.

Производительность комбайна  $W_0$  в тоннах зерна за час основного времени, без учета потерь и времени на остановки по различным причинам, можно определить по формуле профессора Э.В. Жалнина [2]:

$$W_0 = \frac{3,6}{1 + \alpha_\phi} \cdot q_\phi, \quad (1)$$

где  $q_\phi$  – фактическая подача хлебной массы в комбайн при фактической солоmistости  $\alpha_\phi$ .

Фактическую солоmistость определяли по методике Б.А. Доспехова [3]. Она существенно зависит от урожайности зерна на поле.

Для условий Кубани нами на основе аппроксимации опытных данных установлена следующая зависимость фактической солоmistости  $\alpha_\phi$  хлебной массы от урожайности зерна  $U$ :

$$\alpha_\phi = -5,1 \cdot 10^{-5} \cdot U^4 + 9,18 \cdot 10^{-4} \cdot U^3 + 1,58 \cdot 10^{-3} \cdot U^2 - 0,148 \cdot U + 1,61, \quad (2)$$

где  $\alpha_\phi$  – фактическая солоmistость хлебной массы;  $U$  – урожайность зерна озимой пшеницы, т/га.

Исследования проводили в 2013 г. на полях ООО «Прогресс» (Лабинский район Краснодарского края) на озимой пшенице сорта Васса селекции Краснодарского НИИСХ.

Адекватность полученной зависимости (2) проверена по критерию Кохрена.

При этом его расчетное значение 0,56 меньше табличного 0,62. Как следует из рисунка 1, солоmistость  $\alpha_\phi$  заметно снижается с ростом урожайности  $U$ . Это характерно и для зарубежных высокоурожайных сортов [3].



Рис. 1. Влияние урожайности зерна озимой пшеницы на солоmistость хлебной массы

**Результаты и обсуждение.** Задачей наших исследований стало определение влияния мощности двигателя на работу комбайна и его пропускной способностью. Ее следует решать во взаимосвязи трех элементов: двигатель – машина – обрабатываемый материал [4, 5].

Очень важно знать комплексную оценку влияния мощности двигателя комбайна  $N_e$  на пропускную способность молотилки  $q_m$ . Такая зависимость была установлена К.С. Орманджи для отечественных и зарубежных комбайнов производства 1960-1980 гг.:

$$N_e = 24,8 \cdot q_m^{0,97}, \quad (3)$$

где  $N_e$  – мощность двигателя комбайна, л.с.;

$q_m$  – пропускная способность молотилки, кг/с.

Профессором Э.В. Жалниным в 2001 г. была получена зависимость [1]:

$$N_e = 18,1 \cdot q_m^{1,15}. \quad (4)$$

Нами получены эти зависимости для различных типов МСУ – для классической схемы и аксиально-роторной (рис. 2 и 3).

Зависимость  $N_e$  от  $q$  для зерноуборочных ком-

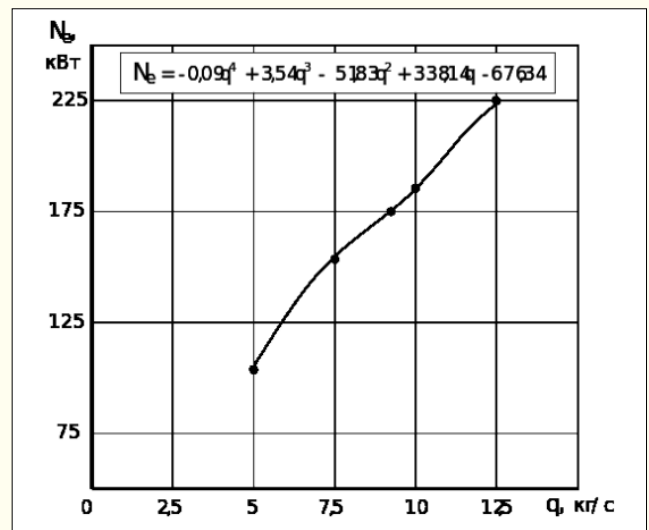


Рис. 2. Зависимость мощности двигателя комбайна от пропускной способности его молотилки с аксиально-роторным МСУ

байнов с аксиально-роторным МСУ выражается полиномом четвертой степени: с увеличением  $q$  потребная мощность двигателя комбайна возрастает (рис. 2). Адекватность модели подтверждена критерием Фишера: расчетное значение 0,75 меньше табличного 0,80.

Зависимость мощности двигателя  $N_e$  от  $q$  для зерноуборочных комбайнов с классической схемой

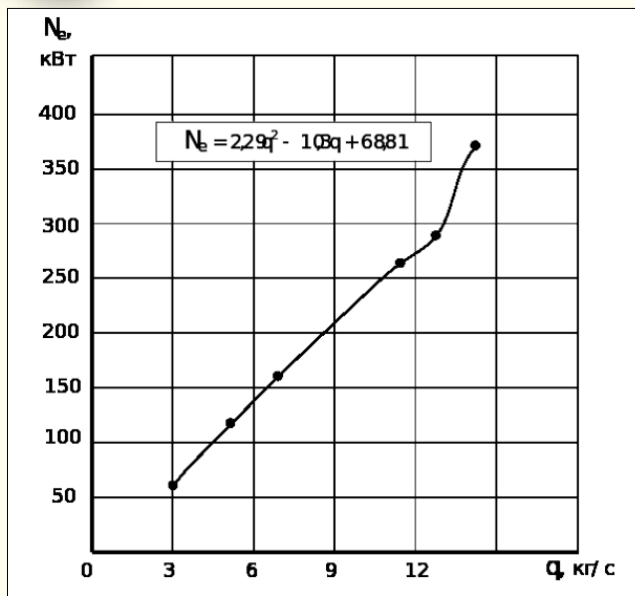


Рис. 3. Зависимость мощности двигателя зерноуборочного комбайна с классической схемой МСУ

МСУ выражается полиномом второй степени (рис. 3).

Адекватность полученной модели подтверждена критерием Фишера: его расчетное значение 0,75 меньше табличного 0,77.

Процесс работы МСУ характеризуется тремя факторами: мощностью двигателя  $N_e$  как источника энергии, конструкцией молотильного барабана, сопротивлением обрабатываемой среды. Как известно, основное уравнение молотильного барабана, увязывающее между собой характеристики двигателя  $N_e$ , барабана и хлебной массы, можно записать в виде:

$$N_e = N_q + N_x + N_p, \quad (5)$$

где  $N_q$  – мощность, затраченная на передвижение комбайна, кВт;

$N_x$  – мощность, затраченная на холостой режим работы комбайна, кВт;

$N_p$  – мощность, затраченная на выполнение рабочего процесса, кВт.

Анализ расчетных данных мощности двигателя по различным формам (таблица) показал близкую сходимость результатов.

Высокая эффективность роторных комбайнов, по сравнению с комбайнами классической схемы,

## Литература

1. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. – М.: ВИМ, 2001. – С. 10.
2. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов с использованием принципа гармоничности их конструкции. – М.:

| Таблица   |          |              |
|---|----------|--------------|
| ПОТРЕБНАЯ МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МСУ<br>( $q = 10$ кг/с), кВт |          |              |
| Методики  | Роторные | Классические |
| Кубанского ГАУ  | 220      | 195          |
| проф. Жалнина Э.В.  | 174      | 164          |
| канд. техн. наук Орманджи К.С.  | -        | 170,2        |
| Общепринятая  | 192,6    | 170,7        |

вследствие возросшей (на 27%) удельной пропускной способности молотилки отмечена в работе М.И. Липовского [6]. Так, у роторных молотилок *TORUM 740* она составляет 8, а у классических – 6,3 кг/м·с (комбайн *Acros 530*). Улучшат экономические показатели роторных комбайнов и меньшее дробление зерна, не превышающее 0,6%, большая полнота сбора выращенного урожая (1,5-2,5 ц/га) [7], в связи с чем рекомендуется при обновлении комбайнового парка сельхозтоваропроизводителей использовать новое поколение комбайнов с аксиально-роторной схемой. Оснащение АПК отечественными комбайнами роторной модификации перекликается с задачами импортозамещения в машиностроении и указаниями в Стратегии машино-технологической модернизации сельского хозяйства России [8, 9].

**Выводы.** Установлены зависимости фактической соломистости хлебной массы от урожайности высокопродуктивных сортов зерновых колосовых культур, а также потребной мощности двигателя зерноуборочных комбайнов – от схем МСУ (классической и аксиально-роторной).

Все полученные зависимости адекватно описывают процессы, что подтверждается критериями Фишера и Кохрена.

Полученная по различным методическим подходам авторов расчетная мощность двигателя зерноуборочных комбайнов имеет близкую сходимость результатов. Подтверждена технологическая и экономическая эффективность роторных зерноуборочных комбайнов, по сравнению с комбайнами классической схемы, благодаря более высокой удельной пропускной способности молотилки, меньшему дроблению зерна, не превышающему 0,6%, и большей на 1,5-2,5 ц/га полноты сбора выращенного урожая.

ВИМ, 2011. – 104 с.

3. Кравченко В.С., Трубилин Е.И., Курочков В.С., Куцеев В.В., Труфляк Е.В. Основы научных исследований: Учебное пособие. – Краснодар: КГАУ, 2005. – 136 с.
4. Жалнин Э.В. Аксиоматизация земледель-

ческой механики. – М.: ВИМ, 2002. – 204 с.

5. Маслов Г.Г., Трубилин Е.И., Абаев Е.В. Совершенствование комбайновой уборки зерновых колосовых культур // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 8. – С. 4-5.

6. Липовский М.И. Улучшение качества работы роторных комбайнов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 2. – С. 43.

7. Труфляк Е.В., Трубилин Е.И. Современные

зерноуборочные комбайны: Учебное пособие. – Краснодар: КГАУ, 2013. – 322 с.

8. Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М. Система технологий, типажей и параметры машин для комплексной механизации растениеводства. – М.: ВИМ, 2010. – 264 с.

9. Жалнин Э.В. Стратегия перспективного развития механизации уборки зерновых культур // Тракторы и сельхозмашины. – 2004. – № 9. – С. 3-16.

## REVISITED GRAIN HARVESTERS PARAMETERS SUBSTANTIATION AND EFFECTIVENESS OF THEM

G.G. Maslov, E.I. Trubilin

Kuban State Agrarian University, Kalinin St., 13, Krasnodar, 350044, Russian Federation, trubilinei@mail.ru

*Impact of cereal crops yield on the actual strow content in heap mass was studied. Its distribution interval is from 0.6 to 1.2 in the range of yields from 3 to 12 t/ha. Regularity of strow content decline and productivity increase at the same time is confirmed by the Cochran criterion (its estimated value of 0.56 is less than the table one of 0.62). A strow content low facilitates the harvesters' operation. The required for the operation process harvesters engine power is different depending on schemes of threshing-separating machine with the rotary and beater threshing drums. The authors proved adequacy of the obtained mathematical models of dependence of the engine power from harvester delivery capacity. For the combines with classical technological scheme the calculated value of Fisher criterion is 0.75. For combines with an axial rotary threshing-separating device the table value of 0.8 criterion is also higher than the estimated one of 0.66. The obtained results of the required power calculations at various methodological approaches were close to results convergence exceeding 10 percent, which confirms objectivity of them. The technological and economic efficiency of the rotary harvesters compared with classical scheme is better. It is obtained due to the higher specific bandwidth, low grain crushing and micro damage. If a harvester has the threshing-separating device with axial rotor scheme, so grain crushing is much less (no more than 0.5-0.6 percent), which also improves economic parameters. But at operation of combines with the classical scheme the share of broken grain makes 4-6 percent that sharply raises indirect losses of a harvest. We recommend when the combine fleet renovation um agricultural enterprises to introduce 1.5-2 times high-performance harvesters with axial rotor scheme.*

**Keywords:** Combine harvester; Grain losses; Estimated capacity; Threshing-separating machine; Power; Crushing; Efficiency.

### References

1. Zhalnin E.V. Raschet osnovnykh parametrov zernoubochnykh kombaynov [Combine harvesters main parameters calculation]. Moscow: VIM, 2001. pp. 10 (Russian).

2. Zhalnin E.V. Raschet osnovnykh parametrov zernoubochnykh kombaynov s ispol'zovaniem printsipa garmonichnosti ikh konstruktssii [Combine harvesters main parameters calculation using principle of design harmony]. Moscow: VIM, 2011. 104 pp. (Russian).

3. Kravchenko V.S., Trubilin E.I., Kurosov V.S., Kutseev V.V., Truflyak E.V. Osnovy naychnykh issledovaniy [Bases of scientific researches]: Uchebnoe posobie. Krasnodar: KGAU, 2005. 136 pp. (Russian).

4. Aksiomatizatsiya zemledel'cheskoy mekhaniki [Axiomatization of agricultural mechanics]. Moscow: VIM, 2002. 204 pp. (Russian).

5. Maslov G.G., Trubilin E.I., Aباev E.V. Sovershenstvovanie kombaynovoy uborki zernovykh kolosovykh kul'tur [Improvement of combine harvesting of grain crops]. Mekhanizatsiya i elektri-

fikatsiya sel'skogo khozyaystva. – 2007. No. 8. pp. 4-5 (Russian).

6. Lipovskiy M.I. Uluchshenie kachestva raboty rotornykh kombaynov [Improvement of quality of rotor combines operation]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2014. No. 2. pp. 43 (Russian).

7. Truflyak E.V., Trubilin E.I. Sovremennye zernoubochnye kombayny [Modern combine harvesters]: Uchebnoe posobie. Krasnodar: KGAU, 2013. 322 pp. (Russian).

8. Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M. Sistema tekhnologiy, tipazhey i parametry mashin dlya kompleksnoy mekhanizatsii rastenievodstva [System of technologies, ranges and parameters of machines for complex mechanization of plant growing: working out and development in market conditions]. Moscow: VIM, 2010. 264 pp. (Russian).

9. Zhalnin E.V. Strategiya perspektivnogo razvitiya mekhanizatsii uborki zernovykh kul'tur [Strategy of perspective development of mechanization of grain crops harvesting]. Traktory i sel'khoz mashiny. 2004. No. 9. pp. 3-16 (Russian).