



Совершенствование конструкции зерноуборочных комбайнов путем гармонизации их базовых технических параметров

Э. В. Жалнин, М. Е. Чаплыгин[✉]

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(г. Москва, Российская Федерация)

[✉] misha2728@yandex.ru

Аннотация

Введение. В статье приведены результаты статистического анализа базовых технических параметров современных зерноуборочных комбайнов, образующих выборку из 150 моделей. Предложен новый комплексный критерий оценки технического уровня комбайнов под названием коэффициент гармоничности, по которому можно оценивать степень совершенства конструкции комбайнов и на его основе определять пути их совершенствования.

Цель статьи. Предложить методику расчета коэффициента гармоничности каждого комбайна и выявить направление его совершенствования, исходя из степени соответствия общемировым тенденциям. В статье продолжает развиваться идея гармонизации параметров комбайнов, изложенная в предыдущих публикациях по этой теме.

Материалы и методы. Применен статистический анализ с выявлением однородных статистических выборок по классам комбайнов от 4 до 12 кг/с.

Результаты исследования. На примере выборки из 16 моделей различных комбайнов рассчитаны коэффициенты гармоничности конструкции комбайнов. Применяемые статистические уравнения для расчетов параметров комбайнов отражают общемировые тенденции в развитии конструкций комбайнов и были названы теоретическими, которые затем сравнивались с фактическими параметрами комбайнов. Разница этих параметров определяла направления совершенствования. Выявлены марки комбайнов, у которых высокий коэффициент гармонизации и вместе с тем ряд машин, требующих модернизации.

Обсуждение и заключение. Предложена методика цифровой оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов, основанная на трех расчетных критериях: параметрическом индексе, регрессионных зависимостях между параметрами комбайна, отражающих общемировые тенденции их развития, и коэффициенте гармоничности конструкции по параметрам молотильно-сепарирующего устройства. Выявлена группа комбайнов с очень высоким коэффициентом гармоничности – 0,93–0,94. Это прежде всего немецкие машины фирмы Claas (Medion 340, Доминатор 150, Lexion 580), российские – компании «Ростсельмаш» (TORUM 740) и американские – фирмы Massey Ferguson (MF 7278). Выделяется большая группа комбайнов, которые имеют коэффициент гармоничности их конструкции по параметрам ниже 0,9, следовательно, у них есть резервы для совершенствования в соответствии с общемировыми тенденциями. К примеру, машина 5270 C-AL немецкой фирмы Fendt нуждается в увеличении мощности двигателя со 180 л. с. до 252 л. с., снижении площади подбарабана с 1,3 до 0,81 м², увеличении площади соломосепаратора с 5,7 до 7,2 м² и уменьшении площади решет очистки с 6,0 до 5,4 м². При этом пропускная

© Жалнин Э. В., Чаплыгин М. Е., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

способность останется на уровне 9,1 кг/с. На основе предложенной методики даны рекомендации по совершенствованию ряда наиболее известных комбайнов отечественного и зарубежного производства с учетом общемировых тенденций их развития.

Ключевые слова: класс комбайна, технические параметры комбайнов, технический уровень, коэффициент гармоничности комбайнов

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Жалнин Э. В., Чаплыгин М. Е. Совершенствование конструкции зерноуборочных комбайнов путем гармонизации их базовых технических параметров // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 3. С. 403–416. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416>

Original article

Improving the Design of Combine Harvesters by Harmonizing Their Basic Technical Parameters

E. V. Zhalnin, M. E. Chaplygin✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM
(Moscow, Russian Federation)

✉ misha2728@yandex.ru

Abstract

Introduction. The article presents the results of statistical analysis of basic technical parameters of modern combine harvesters, comprising a sample of 150 models. A new complex criterion for assessing the technical level of combine harvesters called the harmonization coefficient is proposed, which makes it possible to evaluate the perfection degree of combine harvester design and identify the ways to improve them.

Aim of the Article. The aim of the study is to propose a methodology for calculating the harmonization coefficient of each combine harvester and to identify the way for its improvement, based on the degree of compliance with global trends. The article continues to develop the idea of harmonization of combine harvester parameters outlined in the previous publications on this topic.

Materials and Methods. There was applied statistical analysis identifying homogeneous statistical samples by harvester classes from 4 to 12 kg/sec.

Results. On the example of a sample of 16 different combine harvester models, the harmonization coefficients of combine harvester design were calculated. The applied statistical equations for calculating combine harvester parameters reflect global trends in the development of combine harvester design and were called theoretical parameters, then they were compared with the actual parameters of combine harvesters. The difference between the theoretical and actual parameters affected the identifying of the ways of improvement. There were identified the combine harvester brands with high harmonization coefficient and a number of combine harvesters requiring modernization.

Discussion and Conclusion. A technique for digital assessment of the technical level of combine harvesters is proposed. It is based on three design criteria: parametric index, regression dependencies between combine parameters reflecting global trends in the combine harvester design, and the harmonization coefficient of the combine harvester design in terms of threshing and separating device parameters. There was identified a group of combine harvesters with a very high harmonization coefficient 0.93–0.94. We mean first of all German harvesters of Claas company (Medion 340, Dominator 150, Lexion 580), Russian harvester of Rostselmash company (TORUM 740) and American Massey Ferguson (MF 7278). There is a large group of combine harvesters, which have a harmonization

coefficient of their design in terms of parameters below 0.9, therefore, they may be improved in accordance with global trends, for example, the 5270 C-AL combine harvester of the German company Fendt needs the increase in engine power from 180 HP to 252 HP, reducing the concave area from 1.3 to 0.81 m², increasing the area of the straw separator from 5.7 to 7.2 m² and reducing the area of the cleaning sieves from 6.0 to 5.4 m². At the same time, the combine harvester throughput efficiency will remain at the level of 9.1 kg/s. Based on the proposed methodology, there are given recommendations for improving a number of the most famous combine harvesters of domestic and foreign production, taking into account global trends in their development.

Keywords: combine harvester class, technical parameters of combine harvesters, technical level, harmonization coefficient of combine harvesters

Acknowledgements: The authors would like to express their gratitude to the reviewers, whose critical evaluation of the presented materials and suggestions for their improvement contributed significantly to the quality of this article.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Zhalnin E.V., Chaplygin M.E. Improving the Design of Combine Harvesters by Harmonizing Their Basic Technical Parameters. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(3):403–416. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416>

Введение

При массовом внедрении в сельскохозяйственное производство зерноуборочных комбайнов возникла необходимость в их классификации на определенные группы, классы, типы и т. п. Известны комбайны по назначению: зерноуборочные, кукурузоуборочные, кормоуборочные и т. п. По агрегатированию с энергоисточником они делятся на прицепные, самоходные, навесные и т. д. Применяемая классификация больше отражает назначение или принцип технологического процесса, чем технический уровень. Количественной оценки технического уровня долго не было. Предпринималась попытка использовать ширину захвата жатки в метрах, например комбайны С-4, С-4М, или длину молотильного барабана в мм: Дон-1200, Дон-1500, Енисей-900.

Современная классификация зерноуборочных комбайнов на классы основана на ряде научных исследований [1–4], которые за признак классификации комбайнов предложили принять пропускную

способность комбайна – т. е. чистую производительность комбайна в кг зерна, обмолоченного в молотилке комбайна за 1 сек. при отношении массы зерна к массе соломы 1 : 1,5, потерях зерна не более 1,5 % и дроблении зерна не более 2 %. Это была первая научно обоснованная цифровая классификация зерноуборочных комбайнов.

Обзор литературы

Аналитический обзор проблематики показал, что проблемам выбора параметров комбайнов и их конструирования посвящено большое количество публикаций. Наиболее значимы для теории и практики комбайностроения были работы В. П. Горячкина¹, М. А. Пустыгина², В. Г. Антипина³, С. А. Алферова [1], Б. Г. Турбина [5], Э. И. Липковича [6], Н. И. Кленина [7], А. И. Русанова [8; 9], В. В. Лемешко [10], А. Д. Логина [11], К. С. Орманджи [12], В. Червинки [13] и ряда других исследователей. Однако принцип гармонизации параметров комбайнов был предложен только в одной работе [14].

¹ Горячкин В. П. Земледельческая механика. Полн. собр. соч. в 7 т. М. : Сельхозгиз, 1937–1949 гг.

² Пустыгин М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств. Сельхозгиз, 1948.

³ Антипин В. Г. Определение пропускной способности зерноуборочных комбайнов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1963. № 1.

Предлагаемая статья является творческим развитием ранее выполненных работ в этом направлении. В иностранной литературе не было найдено ни одной научной публикации в открытых источниках, связанной с изучением данной проблематики или научного направления, которому посвящена статья.

Большая группа исследователей занималась поисками закономерности связи пропускной способности комбайнов и их конкретными параметрами [6–8; 15–18] и, наоборот, определением пропускной способности комбайна по исходным параметрам молотилки [9–11]. Причем в основном ограничивались линейными размерами параметров. В связи с этим надо отдать должное заслуге американского ученого В. Червинки, который доказал, что самый высокий коэффициент корреляции с пропускной способностью комбайна (производительностью) имеют не линейные размеры рабочих органов молотилки, а проективные площади обмолота и сепарации [13]. В итоге удалось обосновать новый критерий технического уровня комбайнов (i_k – параметрический индекс) и показать его влияние на пропускную способность комбайна [19–21].

Современная мировая комбайностроительная отрасль характеризуется производством большого количества различных моделей комбайнов и их модификаций. Это вызвано естественным большим спросом сельхозпроизводителей на разнообразную технику применительно к своим природно-агроклиматическим и агроландшафтным условиям производства сельхозпродукции. По проспектным данным разных фирм производителей комбайнов известно почти 150 наиболее распространенных моделей комбайнов. Все они отличаются габаритами, массой, мощностью двигателя, параметрами молотильно-сепарирующего устройства и т. д. На первый взгляд может показаться, что если комбайны все разные, то и нет никакой логической

и математической связи между их параметрами.

Каждый конструктор на свое усмотрение и понимание выбирает параметры проектируемых комбайнов. Часто этот выбор является простым следованием традиционным особенностям той или иной фирмы. Единой методики выбора нужных параметров нет, несмотря на обилие частных уравнений. Первая попытка разработать такую методику была предпринята в работе В. Червинки [13].

Оказалось, что применив статистический анализ большой совокупности разных комбайнов, можно выявить достаточно однородную выборку машин с устойчивой регрессионной связью между параметрами, это характеризуется приемлемым значением коэффициента вариации этой выборки (менее 10–15 %). На этом основании мы предложили статистические зависимости между параметрами считать теоретическими, а отклонения фактических значений параметров от этих теоретических значений определяют степень гармонизации конкретной модели комбайна с общемировыми тенденциями. В итоге это даст возможности определить пути совершенствования создания комбайнов.

Материалы и методы

Методика исследований состоит в том, что за основу принята выборочная совокупность комбайнов из более 150 известных моделей и выполнена статистическая обработка фактических и расчетных параметров комбайнов с определением путей их совершенствования. Расчетные параметры названы теоретическими, так как они соответствуют общемировым тенденциям развития параметров комбайнов.

Фактические параметры серийных комбайнов нами представлены в виде генеральной статистической совокупности, но единую однородную выборку значений этих параметров привести невозможно. По каждому параметру

выявлена отдельная последовательность, несопоставимая с последовательностью по другому параметру. Нет смысла также определять среднее значение по всей совокупности значений параметров более 150 моделей комбайнов. Совокупность их параметров не представляет собой единую однородную статистическую выборку. Выход был найден в том, что комбайны сравнивались не по отдельным параметрам, а по производительности в час чистого времени, т. е. по пропускной способности в кг/с, являющейся функцией базовых параметров любого комбайна: мощность двигателя и площади сепарации подбарабанья, соломотряса и очистки.

Исследуемые комбайны по пропускной способности были выделены в три группы: до 4 кг/с, 4–9 кг/с и более 9 кг/с, включая классические и аксиально-роторные комбайны. На примере выборочных 16 из 150 моделей показана методика расчета теоретических параметров и предложены пути корректировки фактических (проспектных) параметров. В целом отмечено, что многие фирмы производят комбайны с достаточно высоким коэффициентом гармоничности параметров в пределах 0,9–0,94. По некоторым комбайнам других фирм проблема гармонизации параметров является актуальной, особенно при коэффициенте гармонизации менее 0,85. По каждой из 16 моделей комбайнов даны рекомендации по желательной корректировке фактических параметров. К примеру, в комбайне 5270C-AL фирмы Fendt (Германия) предлагается повысить мощность двигателя со 180 до 252 л. с., площадь соломотряса – с 5,7 до 7,2 м², а площадь развертки подбарабанья в размере 1,3 м² является излишней, достаточно 0,81 м². Площадь решет очистки уменьшить с 6,0 до 5,4 м². При этих изменениях пропускная способность остается на уровне 9 кг/с. В отечественном комбайне Вектор 410 площадь развертки подбарабанья

является завышенной, а площадь соломотряса и решет очистки – заниженной в сравнении с общемировыми тенденциями для такого класса комбайнов. Подобный анализ сделан и по другим комбайнам.

Результаты исследования

Предлагаемая методика поиска направлений совершенствования конструкции зерноуборочных комбайнов состоит из последовательности следующих информационно-расчетных операций.

1. Составление общей картотеки по комбайнам с указанием страны-производителя, фирмы, марки базовых моделей и их модификаций. Модификации нужны для общей оценки производственной мощности фирмы-изготовителя и ее конкурентоспособности на мировом рынке комбайнов.

2. Составление параметрической картотеки по комбайнам с указанием по каждой базовой модели фактической мощности двигателя N_e , площади подбарабанья F_n , соломотряса F_c , и площади решет F_p . Указанные в проспектах значения некоторых параметров желательно уточнить у фирмы-производителя, так как отмечены случаи неточных данных в проспектах.

3. Расчет параметрического индекса для каждого комбайна по формулам:

– для комбайна с классической (барабанной) схемой молотилки:

$$i_k = \frac{1}{4} \left[\frac{N_e}{32} + \frac{F_n}{0,26} + \frac{F_c}{1,5} + \frac{F_p}{0,8} \right]; \quad (1)$$

– для комбайна с аксиально-роторной схемой молотилки:

$$i_k = \frac{N_e}{126} + 0,5(F_{nc} + F_p), \quad (2)$$

где i_k – параметрический индекс для каждого комбайна; F_{nc} – площадь развертки подбарабанья ротора, включая молотильную и сепарирующую секции.

4. Определение расчетной пропускной способности комбайна по формуле:

$$q_k = 1,83i_k - 0,83, \quad (3)$$

где q_k – расчетная пропускная способность комбайна кг/с.

5. По расчетной пропускной способности (3) с использованием фактических значений параметров (1) определяем теоретические (статистические) параметры комбайнов, отражающие мировые тенденции в развитии базовых комбайнов с ошибкой не более 10 %.

5.1. Мощность двигателя, л. с.

при $q_k < 1,5$ кг/с $N_{\text{ет}} = 36 \cdot q_k, \quad (4)$

q_k до 9,0 кг/с $N_{\text{ет}} = 28,4 \cdot q_k, \quad (5)$

$q_k > 9,0$ кг/с $N_{\text{ет}} = 42,2 \cdot q_k - 97. \quad (6)$

5.2. Площадь развертки подбарабанья, м²

$$F_{\text{пт}} = \frac{FR\alpha}{180} \cdot B = 0,07q_k + 0,19$$

(бильный барабан), (7)

$$F_{\text{пт}} = 0,24 \cdot q_k + 0,37$$

(аксиально-роторный барабан), (8)

где R – радиус барабана, м; α – угол обхвата подбарабанья, °; B – длина барабана, м.

5.3. Площадь соломотряса, м²

$$F_{\text{ст}} = 0,72 \cdot q_k + 0,78. \quad (9)$$

5.4. Площадь решет очистки, м²

$$F_{\text{пр}} = 0,58 \cdot q_k + 0,2. \quad (10)$$

6. Расчет соотношения фактических параметров и теоретических (статических)

$$\Pi_i = \frac{\Pi_{\text{фи}}}{\Pi_{\text{ти}}} \quad (11)$$

7. Расчет коэффициента гармоничности комбайнов по базовым параметрам $N_e, F_{\text{пт}}, F_c, F_p$.

$$K_{\text{гар}} = 1 - \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[1 - \frac{\Pi_{\text{фи}}}{\Pi_{\text{ти}}} \right]^2}, \quad (12)$$

где n – общее количество базовых параметров; $\Pi_{\text{фи}}$ и $\Pi_{\text{ти}}$ – соответственно фактическое значение параметров по проспектам фирм-изготовителей и теоретическое по формулам (1)–(10).

8. Выбор моделей комбайнов с минимальным значением коэффициента гармоничности $K_{\text{гар}}$ (менее 0,9).

9. Из группы комбайнов с $K_{\text{гар}} < 0,9$ составляется картотека соотношений параметров (11).

10. Производится анализ соотношений (11) и определяются направления совершенствования базовых параметров.

При $\Pi_i > 1$ фактические параметры завышены по сравнению с теоретическими в соответствии с общемировым трендом, а при $\Pi_i < 1$ – занижена, что в любом случае является основанием для совершенствования молотильно-сепарирующих органов комбайна.

Последовательность расчетных операций (1)–(10) в итоге ее реализации доказывает: принятая за основу научная гипотеза, что чем ближе фактические параметры комбайна к статистическим в однородной выборке, тем выше степень гармоничности параметров комбайна и тем совершенней его конструкция, получила подтверждение.

Нарушение этого требования приводит к непропорциональным параметрам комбайна между собой, а в итоге к нарушению ритма технологического процесса обмолота и сепарации, повышению нерализуемости мощности двигателя, увеличению массы комбайна и его стоимости. То есть площади подбарабанья, молотильного барабана, а отсюда и диаметр

барабана, длина и угол обхвата, должны соответствовать площади соломотряса и очистительных решет, а мощность двигателя должна быть достаточной для обмолота и сепарации на этой площади, а также для передвижения комбайна. Например, непропорциональность увеличения площади подбарабья приводит к повышению перебарыванию незерновой части урожая, что затрудняет нормальное выполнение процесса сепарации зерна на остальных рабочих органах комбайна.

Поиск подобных непропорциональностей составляет основную задачу гармонизации параметров комбайнов в направлении их совершенствования в соответствии с общемировыми тенденциями.

Следует заметить, что формулы (1)–(10) не могут быть абсолютно стабильными по времени. Сейчас они отражают тот большой статистический материал, который был накоплен на наших машиноиспытательных станциях, и более адекватны базовым моделям современных комбайнов. С течением времени по мере комплексного совершенствования комбайнов и технологических схем обмолота и сепарации они, конечно, могут измениться, но идея гармонизации по их параметрам все равно останется актуальной. В частности, приведенные здесь зависимости несколько уточнены в сравнении с теми, которые приведены в публикации [14]. Вполне возможно, что появятся адекватные уравнения по зависимостям массы комбайна, вместимости бункера, универсальности применения, надежности и т. п. в функции пропускной способности комбайна. Например, для аксиально-роторных комбайнов получены уравнения после статистической обработки, но с намного меньшей выборкой по сравнению с выборками по классическим комбайнам. Несомненно, этот недостаток в будущем будет устранен, так как аксиально-роторные комбайны находят все большее применение. К тому же в перспективе возможно увеличение

производства комбайнов с комбинированными молотилками: бильное молотильное устройство и аксиально-роторные соломосепараторы и т. п.

Приведем примеры конкретной реализации предложенной методики поиска путей совершенствования комбайнов.

В таблице представлена выборка из 150 моделей в составе 16 моделей комбайнов с разным значением коэффициентов гармоничности $K_{\text{гар}}$. Результаты расчетных данных по таблице дают возможность сделать ряд важных рекомендаций по совершенствованию комбайнов. Как видно, $K_{\text{гар}}$ у представленных комбайнов находится в интервале от 0,70 до 0,94.

Первое – выявлена группа комбайнов с очень высоким коэффициентом гармоничности – 0,93–0,94. Это прежде всего немецкие машины фирмы Claas (Medion 340, Dominator 150, Lexion 580). Российский комбайн компании «Ростсельмаш» (TORUM 740) и американские Massey Ferguson (MF 7278).

Второе – выделяется большая группа комбайнов, которые имеют коэффициент гармоничности их конструкции по параметрам ниже 0,9, следовательно, у них есть резервы для совершенствования в соответствии с общемировыми тенденциями.

Комбайн 5270 C-AL немецкой фирмы Fendt нуждается в увеличении мощности двигателя со 180 до 252 л. с., снижения площади подбарабья с 1,3 до 0,81 м², увеличении площади соломосепаратора с 5,7 до 7,2 м² и уменьшении площади решет очистки с 6,0 до 5,4 м². При этом пропускная способность комбайна останется на уровне 9,1 кг/с.

У отечественного комбайна СК-5 «Нива-Эффект» была завышена площадь подбарабья и занижена площадь решет очистки. Примерно такая же ситуация с комбайном Вектор 410, Дон-1500Б и ACROS 595. Отметим, что данные марки комбайнов еще эксплуатируются на сельхозпредприятиях страны.

Таблица
Table

**Фактические (проспектные) и расчетные параметры зерноуборочных комбайнов
(статистическая однородная выборка из 150 моделей комбайнов)
Actual (prospective) and estimated parameters
of combine harvesters (statistical homogeneous sample of 150 combine harvester models)**

№ п/п	Модель комбайна, фирма, страна / Combine model, company, country	Технологические параметры комбайнов / Technological parameters of combine harvesters							
		Варианты / Variants	Мощность двигателя / Engine power N_e , л.с.	Площадь подбарабана / Square of drumming F_{np} , M^2	Площадь солоотраса / Square the straw separator F_s , M^2	Площадь решета очистки / Square cleaning sieve F_{ps} , M^2	Параметрический индекс / Parametric index i_k	Пропускная способность / Bandwidth q_k , кг/с	Коэффициент гармоничности / Harmonization Coefficient $K_{гп}$
1	Medion 340 Claas (Германия / Germany)	Факт / Fact Расчетная / Estimated	333 312	0,70 0,87	7,00 7,76	5,10 5,80	5,76 6,10	9,70 10,30	0,93
2	Dominator 150 Claas (Германия / Germany)	Соотношение / Ratio Факт / Fact Расчетная / Estimated	1,07 141 133	0,80 0,40 0,52	0,90 4,20 4,20	0,88 3,00 2,93	0,90 3,00 3,00	0,90 4,70 4,70	0,94
3	Lexion 580 Claas (Германия / Germany)	Соотношение / Ratio Факт / Fact Расчетная / Estimated	1,06 430 388	0,77 0,90 1,00	1,00 7,40 9,00	1,02 5,80 6,90	1,00 6,70 7,30	1,00 11,50 12,60	0,93
4	5270 C / 5270 C-AL Fendt (Германия / Germany)	Соотношение / Ratio Факт / Fact Расчетная / Estimated	0,71 180 252	1,60 1,30 0,81	0,79 5,70 7,20	1,11 6,00 5,40	0,98 5,30 5,40	0,99 8,90 9,00	0,76

Продолжение таблицы / End of table

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	TC-54 New-Holland (США / USA)	Факт / Fact	170	0,70	4,00	3,30	3,60	5,70	0,86
		Расчетная / Estimated	162	0,60	4,90	3,50	3,60	5,70	
6	СК-5 МЭ-1 «Нива- Эффект» Ростсельмаш (Россия / Russia)	Соотношение / Ratio	1,05	1,17	0,82	0,94	1,00	1,00	
		Факт / Fact	145	0,92	4,34	2,42	3,36	5,30	0,83
7	NOVA-340 Ростсельмаш (Россия / Russia)	Расчетная / Estimated	150	0,56	4,60	3,27	3,36	5,30	
		Соотношение / Ratio	0,97	1,64	0,94	0,74	1,00	1,00	
8	Вектор 410 Ростсельмаш (Россия / Russia)	Факт / Fact	180	0,93	4,34	3,59	4,00	6,50	0,87
		Расчетная / Estimated	184,6	0,64	5,46	3,97	4,05	6,60	
9	Дон-1500Б Ростсельмаш (Россия / Russia)	Соотношение / Ratio	0,97	1,45	0,79	0,90	0,99	0,98	
		Факт / Fact	210	1,10	5,00	3,60	4,47	7,40	0,85
10	ACROS 530 Ростсельмаш (Россия / Russia)	Расчетная / Estimated	210,2	0,71	6,10	4,50	4,56	7,50	
		Соотношение / Ratio	1,00	1,55	0,82	0,80	0,98	0,98	
9	Дон-1500Б Ростсельмаш (Россия / Russia)	Факт / Fact	235	1,36	6,15	4,74	5,44	9,10	0,82
		Расчетная / Estimated	258	0,83	7,30	5,50	5,52	9,30	
10	ACROS 530 Ростсельмаш (Россия / Russia)	Соотношение / Ratio	0,91	1,64	0,84	0,86	0,98	0,98	
		Факт / Fact	250	1,38	6,15	4,74	5,57	9,36	
10	ACROS 530 Ростсельмаш (Россия / Russia)	Расчетная / Estimated	266	0,84	7,52	5,63	5,67	9,55	
		Соотношение / Ratio	0,94	1,64	0,82	0,84	0,98	0,98	

Окончание таблицы / End of table

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	ACROS 595 Ростсельмаш (Россия / Russia)	Факт / Fact Расчетная / Estimated	325 350	1,38 0,93	6,30 8,40	5,20 6,30	6,25 6,70	10,60 11,40	0,86
		Соотношение / Ratio	0,93	1,48	0,75	0,83	0,93	0,93	
12	TORUM 740 Ростсельмаш (Россия / Russia)	Факт / Fact Расчетная / Estimated	400 416	3,10 3,40	– –	5,20 6,50	7,32 7,67	12,60 13,20	0,94
		Соотношение / Ratio	0,96	0,91	–	0,80	0,95	0,95	
13	Sampo Rosenlew SR2010 (Финляндия / Finland)	Факт / Fact Расчетная / Estimated	83,0 54,7	0,30 0,31	1,40 2,05	0,70 1,20	1,39 1,44	1,71 1,80	0,82
		Соотношение / Ratio	1,51	0,97	0,68	0,58	0,96	0,95	
14	CS 660 New-Holland (США / USA)	Факт / Fact Расчетная / Estimated	282 274	1,00 0,81	4,20 7,10	5,20 5,30	5,20 5,50	8,80 9,30	0,88
		Соотношение / Ratio	1,03	1,23	0,60	0,98	0,95	0,95	
15	MF 7278 «Cereas» (США / USA)	Факт / Fact Расчетная / Estimated	388 384	0,90 0,99	8,80 9,00	5,30 6,60	6,70 7,20	11,40 12,30	0,94
		Соотношение / Ratio	1,01	0,91	0,98	0,80	0,93	0,93	
16	296 LCS Laverda (Италия / Italy)	Факт / Fact Расчетная / Estimated	235 230	1,00 0,76	5,40 6,60	4,50 4,90	4,90 5,00	8,10 8,20	0,90
		Соотношение / Ratio	1,02	1,30	0,80	0,90	0,98	0,98	

В комбайне Sampo Rosenlew SR2010 (Финляндия) установленный двигатель мощностью 83 л. с. полностью не реализует свою мощность и также нуждается в увеличении площади соломосепарации и решет очистки. В комбайне CS 660 New-Holland (США) мощности двигателя достаточно для реализации фактической производительности, но для повышения устойчивости технологического процесса необходимо увеличение площади соломосепаратора при уменьшении площади подбарабаша с 1,0 до 0,81 м². Примерно такая же ситуация с комбайнами LCS 296 итальянской фирмы Laverda.

По приведенной методике расчета можно пересчитать параметры всех остальных комбайнов из имеющихся 150 моделей. Подобный анализ технического уровня зерноуборочных комбайнов по другим известным методикам сделать невозможно.

Обсуждение и заключение

1. Предложена методика цифровой оценки технического уровня зерноуборочных комбайнов, основанная на трех расчетных критериях: параметрическом индексе, регрессионных зависимостях между параметрами комбайна, отражающих общемировые тенденции их развития и коэффициенте гармоничности конструкции комбайна по

параметрам молотильно-сепарирующего устройства.

2. Выявлена группа комбайнов с очень высоким коэффициентом гармоничности – 0,93–0,94. Это прежде всего немецкие комбайны фирмы Claas (Medion 340, Доминатор 150, Lexion 580), российский комбайн компании «Ростсельмаш» (TORUM 740) и американский Massey Ferguson (MF 7278). Выделяется большая группа комбайнов, которые имеют коэффициент гармоничности их конструкции по параметрам ниже 0,9, следовательно, у них есть резервы для совершенствования в соответствии с общемировыми тенденциями, к примеру комбайн 5270 C-AL немецкой фирмы Fendt нуждается в увеличении мощности двигателя со 180 до 252 л. с., снижения площади подбарабаша с 1,3 до 0,81 м², увеличении площади соломосепаратора с 5,7 до 7,2 м² и уменьшении площади решет очистки с 6,0 до 5,4 м², при этом пропускная способность комбайна останется на уровне 9,1 кг/с.

3. На основе предложенной методики даны рекомендации по совершенствованию ряда наиболее известных комбайнов отечественного и зарубежного производства с учетом общемировых тенденций их развития. Разработанную методику можно также использовать при проектировании новых комбайнов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алферов С. А., Брагинец В. С. Обмолот и сепарация зерна в молотильных устройствах как единый вероятностный процесс // Тракторы и сельхозмашины. 1972. № 4. С. 23–26.
2. Антипин В. Г. Пропускная способность зерноуборочного комбайна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1973. № 1. С. 9–11.
3. Пустыгин М. А. Развитие зерноуборочных комбайнов и средств для уборки соломы // Тракторы и сельхозмашины. 1965. № 8. С. 17–20.
4. Жалнин Э. В. Методологические и технологические решения проблемы комплексной механизации уборки зерновых культур в условиях интенсивного зернопроизводства : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1987.
5. Сельскохозяйственные машины : теория, конструкция и расчет / под ред. проф. Б. Г. Турбина. М. ; Л. : Машгиз. (Ленингр. отд-ние), 1963. 575 с.

6. Липкович Э. И. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов : пособие для конструкторов зерноуборочных машин / ВНИПТИМЭСХ. Зерноград, 1973. 168 с.
7. Кленин Н. И. Исследование вымолота и сепарации зерна : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1977.
8. Русанов А. И. Расчет пропускной способности зерноуборочных комбайнов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1976. № 12.
9. Русанов А. И. Расчет пропускной способности и производительности зерноуборочных комбайнов // Тракторы и сельхозмашины. 1988. № 12. С. 20–23.
10. Лемешко В. В. Обобщенный показатель МСУ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1973. № 2. С. 49–50.
11. Логин А. Д. К определению пропускной способности МСУ новых зерноуборочных комбайнов с применением методов, теории подобия // Труды Новосибирского СХИ. 1972. Т. 60.
12. Орманджи К. С. Тенденция развития комбайностроения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1971. № 2.
13. Червинка В. Применение методов регрессионного анализа для прогнозирования тенденций комбайностроения // Trans. ASAE. 1974. Т. 17, № 2.
14. Жалнин Э. В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов с использованием принципа гармоничности их конструкции. М. : ВИМ, 2011. 104 с.
15. Пустьгин М. А. Закономерности сепарации зерна в молотильно-сепарирующих устройствах // Труды ВИСХОМ. 1977. Вып. 88.
16. Баев В. В. Обоснование параметров молотилки зерноуборочного комбайна методом имитационного моделирования : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 1986.
17. Плешаков В. Н. Обоснование технического уровня и направлений развития сельскохозяйственной техники : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Краснодар, 2001.
18. Стружкин Н. И., Жалнин Э. В., Гольяпин В. Е. Динамика математических моделей для расчета параметров зерноуборочных комбайнов // Техника в сельском хозяйстве. 2005. № 6.
19. Жалнин Э. В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов. М. : ВИМ, 2001.
20. Семенов В. А., Семенова Е. И. Совершенствование конструкции зерноуборочных комбайнов : сб. трудов по материалам международной научно-практической конференции. М., 2017. С. 280–284.
21. Липская В. К. Методические рекомендации по выбору прямых аналогов сельскохозяйственных машин на примере зерноуборочных комбайнов // Проблемы экономики : сб. научных трудов. Горки, 2021. № 1 (32). С. 95–109.

Поступила 27.04.2023; одобрена после рецензирования 07.06.2023; принята к публикации 02.08.2023.

Об авторах:

Жалнин Эдуард Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом технологий и оборудования для зерновых, зернобобовых и масличных культур Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5467-0654>, Researcher ID: AAG-1285-2021, zhalnin@yandex.ru

Чаплыгин Михаил Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией технологий и машин для посева и уборки зерна и семян Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>, Researcher ID: AAZ-6056-2020, misha2728@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Э. В. Жалнин – научное руководство, разработка теоретических предпосылок, формулирование основной концепции исследования ее целей и задач, доработка текста, формирование общих выводов.

М. Е. Чаплыгин – подготовка первоначального варианта текста, анализ литературных источников, визуализация, доработка текста и оформление материалов, формирование частных и общих выводов, итоговая переработка статьи по замечаниям рецензентов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Alferov S.A., Braginets V.S. [Threshing and Separation of Grain in Threshing Devices as a Single Probabilistic Process]. *Traktory i selkhoz mashiny*. 1972;(4):23–26. (In Russ.)
2. Antipin V.G. [Grain Harvester Throughput Capacity]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1973;(1):9–11. (In Russ.)
3. Pustygin M.A. [Development of Combine Harvesters and Straw Harvesting Facilities]. *Traktory i selkhoz mashiny*. 1965;(8):17–20. (In Russ.)
4. Zhalnin E.V. [Methodological and Technological Solutions to the Problem of Complex Mechanization of Grain Crops Harvesting in Conditions of Intensive Grain Production]. Dr.Sci. Thesis. Moscow; 1987. (In Russ.)
5. [Agricultural Machinery: Theory, Design and Calculation]. Ed. by B.G. Turbin. Moscow; Leningrad: Mashgiz.; 1963. (In Russ.)
6. Lipkovich E.I. Threshing and Separation Processes in Threshing Devices of Combine Harvesters (Manual for Designers of Combine Harvesters). Zernograd: VNIPTIMESKh; 1973. (In Russ.)
7. Klenin N.I. [Research on Threshing and Grain Separation]. Abstract of Dr.Sci. Thesis. Moscow; 1977. (In Russ.)
8. Rusanov A.I. [Calculation of Throughput Capacity of Combine Harvesters]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1976;(12). (In Russ.)
9. Rusanov A.I. [Calculation of Throughput and Productivity of Combine Harvesters]. *Traktory i selkhoz mashiny*. 1988;(12):20–23. (In Russ.)
10. Lemeshko V.V. [Generalized MSU Indicator]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1973;(2):49–50. (In Russ.)
11. Login A.D. [Determination of MSU Throughput Capacity of New Combine Harvesters Using Similarity Theory Methods]. *Trudy Novosibirskogo SKhI*. 1972;60. (In Russ.)
12. Ormandzhi K.S. [Development Trend in the Combine Industry]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*. 1971;(2). (In Russ.)
13. Cervinka V. Application of Regression Analysis Methods for Forecasting Trends in the Combine Industry. *Trans. ASAE*. 1974;17(2). (In Russ.)
14. Zhalnin E.V. [Calculation of the Main Parameters of Combine Harvesters Using the Principle of Harmony of Their Design]. Moscow: VIM; 2011. (In Russ.)
15. Pustygin M.A. [Laws of Grain Separation in Threshing and Separating Devices]. *Trudy VISKhOM*. 1977;(88). (In Russ.)
16. Baev V.V. [Justification of Grain Harvester Thresher Parameters by Simulation Modeling Method]. Abstract of Cand. Sci. Thesis. Krasnodar; 1986. (In Russ.)
17. Pleshakov V.N. [Justification of Technical Level and Directions of Agricultural Machinery Development]. Abstract of Dr.Sci. Thesis. Krasnodar: KubGAU; 2001. (In Russ.)
18. Struzhkin N.I., Zhalnin E.V., Golyapin V.Ye. [Dynamics of Mathematical Models for Calculating Parameters of Combine Harvesters]. *Tekhnika v selskom khozyaystve*. 2005;(6). (In Russ.)
19. Zhalnin E.V. [Calculation of the Main Parameters of Combine Harvesters]. Moscow: VIM; 2001. (In Russ.)
20. Semenov V.A., Semenova Ye.I. [Improving the Design of Combine Harvesters]. In: *Sbornik trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow; 2017. p. 280–284. (In Russ.)

21. Lipskaya V.K. [Methodical Recommendations on the Selection of Direct Analogs of Agricultural Machines on the Example of Combine Harvesters] In: Problemy ekonomiki: sbornik nauchnykh trudov. Gorki; 2021;(1):95–109. (In Russ.)

Submitted 27.04.2023; revised 07.06.2023; accepted 02.08.2023.

About the authors:

Eduard V. Zhalnin, Dr.Sci. (Engr.), Professor, Head of the Technology and Equipment Department for Grain, Grain Legumes and Oilseeds, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5467-0654>, Researcher ID: [AAG-1285-2021](https://orcid.org/0000-0002-5467-0654), zhalnin@yandex.ru

Mikhail E. Chaplygin, Cand.Sci. (Engr.), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Technology and Machines for Sowing and Harvesting Grain and Seed, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>, Researcher ID: [AAZ-6056-2020](https://orcid.org/0000-0003-0031-6868), misha2728@yandex.ru

Authors contribution:

E. V. Zhalnin – scientific guidance, development of theoretical background, formulation of the main concept of the research its goals and objectives, finalization of the text, formation of general conclusions.

M. E. Chaplygin – preparation of the initial version of the text, analysis of literary sources, visualization, revision of the text and design of materials, formation of private and general conclusions, final revision of the article according to the reviewers' comments.

All authors have read and approved the final manuscript.