

---

---

# ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

УДК 631.354.2

**БЕРДЫШЕВ ВИКТОР ЕГОРОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

E-mail: v.berdishev@timacad.ru

**ЛОМАКИН СЕРГЕЙ ГЕРАСИМОВИЧ**, канд. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

E-mail: irina17-12-69@mail.ru

**СОЛДАТЕНКОВ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ**, канд. техн. наук<sup>2</sup>

E-mail: zakupki-rks@mail.ru

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

<sup>2</sup> ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат», ш. Энтузиастов, 29, Москва, 105275, Российская Федерация

## ДВИЖЕНИЕ ХЛЕБНОЙ МАССЫ В МОЛОТИЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ АКСИАЛЬНО-РОТОРНОГО МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Рассмотрели технические характеристики аксиально-роторных молотильно-сепарирующих систем (МСС) в сравнении с молотилками, включающими в себя барабанно-дековое молотильное устройство и соломотряс. Установили, что среди зерноуборочных комбайнов пропускную способность более 10 кг/с имеют комбайны с аксиально-роторными или совмещенными молотильно-сепарирующими системами. Однако закономерности обмолота и сепарации зерна в таких системах изучены недостаточно. Обосновали физическую модель движения хлебной массы в молотильном пространстве аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства (МСУ). В качестве объекта исследования выбрана молотильно-сепарирующая система, включающая в себя ротор и охватывающий его перфорированный кожух. В молотильной части кожух состоит из установленных поочередно двух дек и двух сепарирующих решеток с винтовыми направляющими осевого смещения хлебной массы. В сепарирующей части МСУ чередуются прутковые решетки и решетки с пробивными отверстиями и направляющими. Установили, что поток вороха в рабочем пространстве МСУ движется с переменным углом наклона к образующей кожуха, который постоянно увеличивается и стремится к 90 градусам на выходе из устройства. При перемещении в рабочем пространстве МСС поток хлебной массы совершает около 5 витков и проходит путь около 14 м (для сравнения: в «классическом» МСУ этот путь составляет 0,8...1,2 м). Выявили, что изменение угла наклона винтовых направляющих хлебной массы к образующей кожуха, а также элементов ротора к его образующей приведет к увеличению или уменьшению абсолютной скорости элементов вороха в осевом направлении. При этом изменится величина пути, проходимого хлебной массой в молотильном пространстве, соответственно изменятся вымолот, сепарация зерна и незерновой фракции, энергоемкость технологического процесса. Предложили определить оптимальное сочетание конструктивных параметров элементов ротора и кожуха, обеспечивающих наименьшие потери зерна, как в соломе, так и в полове, при приемлемых затратах энергии, экспериментальными исследованиями.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, аксиально-роторная молотильно-сепарирующая система, ротор, кожух ротора, потери зерна.

Одной из проблем сельскохозяйственного производства России является низкая обеспеченность сельскохозяйственных организаций современными

машинами и оборудованием. Из-за этого ежегодные потери зерна составляют свыше 20 млн т [1]. Анализ основных технических и технологических

параметров зерноуборочных комбайнов, предлагаемых на первичном (новые) и вторичном (подержанные) рынках, а также потребностей сельхозтоваропроизводителей показал, что «от всей численности парка комбайны с пропускной способностью до 3 (3,5) кг/с должны составлять около 10%, 5–6 (6,5) кг/с – около 45%, 7–8 и 8–9 кг/с – примерно по 20% и 11–12 (13) кг/с – около 5 %» [2].

Из приведенных в статье параметров зерноуборочных комбайнов следует, что пропускную способность более 10 кг/с имеют комбайны с аксиально-роторными или совмещенными молотильно-сепарирующими системами. Аналогичные цифры приведены и в материалах форума в рамках Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» [3]. В частности, это комбайны фирм NewHolland серии CR (с двумя роторами), CaseIH серии AFX (один ротор с осевой запиткой), JohnDeere серии STS и STSI (ротор с торцевой запиткой и ступенчатым по длине диаметром), Claas серии Lexion (совмещенная МСУ с APS и двухроторным соломосепаратором). К этому же классу комбайнов следует отнести и РСМ181 «Тогум-740», выпускаемый заводом Ростсельмаш.

Процессы, протекающие в молотильно-сепарирующих устройствах (далее МСУ) аксиально-роторного типа, отличаются от процессов, протекающих в «классических», состоящих из бильного барабана и деки, молотильно-сепарирующих устройствах. И если «классические» МСУ исследуются более 100 лет, то аксиально-роторные еще слабо изучены.

**Цель исследования** – теоретически изучить процесс перемещения хлебной массы в молотильном пространстве аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства, определить факторы, влияющие на эффективность вымолота и сепарации зерна. Это позволит построить алгоритм и разработать методику проведения экспериментальных исследований.

**Условия построения модели.** Для построения модели движения хлебной массы в молотильном пространстве аксиально-роторного МСУ принято устройство, включающее в себя ротор, состоящий из остова, на котором закреплены лопасти в заходной части, бичи в молотильной части и планки в сепарирующей и выгрузной частях, а также кожуха. Конструктивные особенности этого устройства изложены в ранее опубликованных материалах [4, 5]. Модели движения хлебной массы в молотильной части МСУ, а также в сепарирующей части приведены в известных работах [6, 7].

Хлебная масса подается транспортером наклонной камеры в нижнюю часть заходной части кожуха, выполненного в виде усеченного конуса. К большему основанию этого конуса присоединяется наклонная камера, а меньшее основание сопрягается с цилиндрической поверхностью молотильно-сепарирующей части кожуха. Характер воздействия лопастей на слой хлебной массы определяется положением слоя относительно оси ротора,

направлением вращения ротора и конфигурацией лобовой поверхности лопасти (в первые моменты взаимодействия со слоем – конфигурацией его торцевого обреза).

При таком воздействии лопастей на слой массы можно предположить, что основное количество зернового материала (свободное и невымоленное зерно) и большая часть соломы достигнут поверхности усеченного конуса не по всей окружности, а на участке, ограниченном некоторой дугой.

По поверхности заходной части масса перемещается под действием лопастей и частично воздушного потока. Направление этого перемещения задается спиральными направляющими, конфигурацией лопастей и их расположением относительно кожуха. Из этого следует, что основная часть массы внутри усеченного конуса будет перемещаться по спиральной траектории полосой ограниченной ширины (равной примерно удвоенному расстоянию между направляющими) и в молотильно-сепарирующее устройство будет выходить не по всей длине окружности, а по некоторой дуге АВ.

Процессы вымолота и сепарации зерна из грубого вороха в аксиально-роторном молотильно-сепарирующем устройстве происходят за счет импульсных воздействий элементов ротора на хлебную массу. Движение хлебной массы в молотильном пространстве определяется воздействием элементов ротора, так и элементов кожуха.

Физическая модель перемещения хлебной массы построена для молотильно-сепарирующего устройства, кожух которого в молотильной части состоит из двух дек 1, расположенных диаметрально, и двух решеток 2 с пробивными отверстиями с закрепленными на них уголковыми направляющими хлебной массы. В сепарирующей части кожух выполнен из двух прутковых решеток 3, расположенных диаметрально, и двух решеток 4 с пробивными отверстиями и закрепленными на них направляющими.

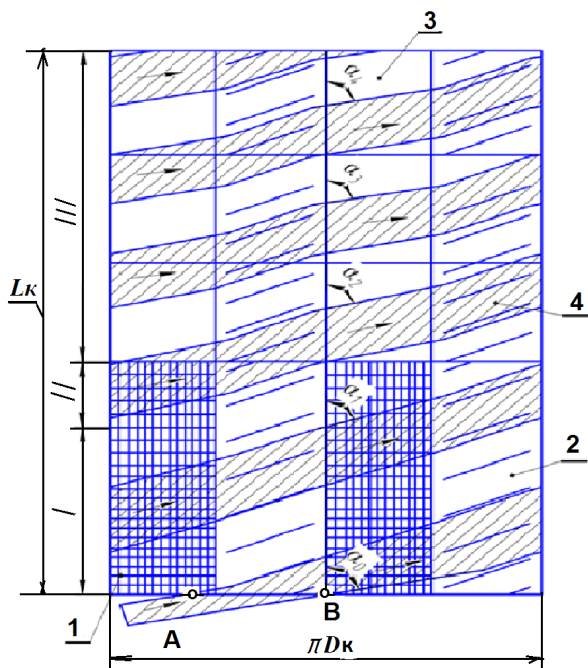
На рисунке показана развертка кожуха аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства:  $L_k$  – длина кожуха ротора;  $\pi D_k$  – ширина развертки кожуха ротора. Для рассмотрения принято, что деки 1 и прутковые решетки 3 находятся вверху и внизу.

**Обсуждение результатов моделирования.** Из заходной части поток хлебной массы выходит под углом  $\alpha_0$  и пересекает цилиндрический кожух между точками А и В. Можно предположить, что в начале движения масса перемещается по внутренней поверхности кожуха под тем же углом  $\alpha_0$  к торцевой плоскости.

При дальнейшем перемещении на решетках с направляющими под действием последних поток хлебной массы движется под углом установки направляющих к образующей кожуха. В зоне дек и решеток без направляющих движение потока хлебной массы определяется углом установки рабочих элементов ротора (бичей, планок сепаратора) к образующей остова. Если элементы ротора установлены

вдоль образующей, то они стремятся перемещать хлебную массу под углом  $90^\circ$  к образующей. При установке элементов ротора под некоторым углом к образующей элементы хлебной массы получают импульс воздействия в направлении, перпендикулярном к поверхности этих элементов, т.е. получают как тангенциальное, так и осевое ускорение.

В рассматриваемом варианте (рис.) на участке I хлебная масса подвергается воздействию винтовых бичей, установленных под углом к образующей остова, а также бичей, установленных между винтовыми бичами параллельно образующей. В связи с этим по поверхности деки хлебная масса движется под углом  $\alpha_1$ , несколько меньшим угла вхождения хлебной массы в молотильно-сепарирующую часть устройства из заходной части  $\alpha_0$ . На участке II в зоне воздействия на хлебную массу бичей, установленных параллельно образующей остова ротора, и участке III в зоне воздействия на хлебную массу гладких планок сепаратора, установленных параллельно образующей остова ротора, угол наклона  $\alpha$  траектории движения хлебной массы в процессе её движения от входа к выходу из МСУ постоянно растет, приближаясь к значению  $90^\circ$  ( $\alpha_4 > \alpha_3 > \alpha_2 > \alpha_1$ ). Это согласуется с исследованиями многих авторов



**Рис. Схема перемещения хлебной массы по кожуху МСУ (кожух неподвижен; деки расположены снизу и сверху):**  
**Lк** – длина кожуха ротора; **Dк** – диаметр кожуха ротора; **I** – зона воздействия винтовых бичей и отрезков прямых бичей; **II** – зона воздействия прямых бичей; **III** – зона воздействия гладких планок; **1** – дека; **2, 4** – решетки с пробивными отверстиями и направляющими; **3** – прутковые решетки

[8–10], которыми установлено, что с уменьшением подачи хлебной массы абсолютная скорость ее движения между бичами барабана и планками деки падает.

Проводя аналогию между конструкцией барабанно-декового молотильного устройства и МСУ роторного типа можно утверждать, что и в последнем случае скорость движения вороха снижается при перемещении его к выходу из устройства, в том числе и в связи с уменьшением количества хлебной массы в молотильном пространстве.

Таким образом, поток вороха в рабочем пространстве МСУ движется с переменным углом наклона к образующей кожуха: на решетках с винтовыми направляющими – под углом  $58...72^\circ$ , а на деках и прутковых решетках – под углом  $80...88^\circ$ , который постоянно увеличивается и стремится к  $90^\circ$  на выходе из устройства. При перемещении в рабочем пространстве МСУ поток хлебной массы совершает около 5 витков и проходит путь около 14 м (для сравнения: в «классическом» МСУ этот путь составляет  $0,8...1,2$  м).

Увеличение угла наклона винтовых направляющих хлебной массы к образующей кожуха приведет к уменьшению составляющей абсолютной скорости элементов вороха в осевом направлении, росту длительности пребывания хлебной массы в молотильном пространстве и, соответственно, к увеличению вымолота и сепарации зерна и незерновой фракции. Одновременно будет расти и энергоемкость процесса обмолота, технологический процесс будет протекать менее стабильно.

Уменьшение же угла наклона винтовых направляющих хлебной массы к образующей кожуха, а также увеличение угла наклона элементов ротора к его образующей приведут к увеличению составляющей абсолютной скорости элементов вороха в осевом направлении. Путь, проходимый хлебной массой в молотильном пространстве, уменьшится, снизится вымолот, сепарация зерна и незерновой фракции, энергоемкость технологического процесса. Но при этом будут расти потери невымолоченного и свободного зерна в соломе.

Конкретные значения для различных условий работы МСУ, оптимальное сочетание конструктивных параметров элементов ротора и кожуха, обеспечивающих наименьшие потери зерна, как в соломе, так и в полове, при приемлемых затратах энергии могут быть получены экспериментальными исследованиями.

## Выводы

1. На скорость перемещения хлебной массы в молотильном пространстве аксиально-роторной молотильно-сепарирующей системы зерноуборочного комбайна влияют угол наклона винтовых направляющих, установленных на кожухе ротора, а также угол наклона элементов ротора к его оси.
2. Изменением угла наклона элементов кожуха и ротора по длине молотильно-сепарирующего

устройства можно влиять на скорость осевого перемещения хлебной массы как в целом по системе, так и на отдельных ее участках.

3. Увеличение скорости осевого перемещения хлебной приведет к росту потерь зерна и снижению энергоемкости процесса обмолота.

#### Библиографический список

1. Ежевский А.А. Технологическая и техническая обеспеченность сельскохозяйственного производства России на 2013–2020 годы / А.А. Ежевский // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 1. С. 3–6.
2. Ломакин С.Г. Зерноуборочные комбайны: потребности покупателей, предложения производителей / С.Г. Ломакин // Аграрное обозрение. 2010. № 3. URL: <http://agroobzor.ru/sht/a-143.html>.
3. Измайлов А.Ю. Системы машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года / А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 6. С. 6–10.
4. Бердышев В.Е. Влияние типа дек на качество работы аксиально-роторной молотильно-сепарирующей системы / В.Е. Бердышев, С.Г. Ломакин, А.В. Шевцов // Вестник ФГБОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2015. Выпуск 1(65). С. 20–24.

5. Ломакин С.Г. Сравнительная оценка аксиально-роторных МСС с различными типами дек молотильной части / С.Г. Ломакин, В.Е. Бердышев, А.В. Шевцов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1 (37). С. 199–202.

6. Мысливцев В.Н. Обоснование параметров и показателей работы аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства: Автореферат дис. ...канд. техн. наук / В.Н. Мысливцев. М.: МИИСП, 1985. С. 6.

7. Солдатенков В.В. Обоснование, параметров и режимов работы аксиально-роторного соломотделителя: Автореферат дис. ...канд. техн. наук / В.В. Солдатенков. М.: МИИСП, 1986. С. 6.

8. Дзодцоев Г.И. Исследование процесса перемещения элементов хлебной массы в молотильном пространстве: Автореферат дис. ...канд. техн. наук / Г.И. Дзодцоев. М.: МИИСП, 1969. С. 12.

9. Кленин Н.И. Исследование вымолота и сепарации зерна: Автореферат дис. ...д-ра техн. наук / Н.И. Кленин. М.: МИИСП, 1976. С. 17.

10. Ломакин С.Г. Исследование влияния параметров молотильного устройства на качественные и энергетические показатели процесса обмолота: Автореферат дис. ...канд. техн. наук / С.Г. Ломакин. М.: МИИСП, 1972. С. 9.

Статья поступила 20.02.2016

## GRAIN MASS FLOW IN THRESHING SPACE OF AXIAL ROTARY THRESHING AND SEPARATING UNIT

**VIKTOR YE. BERDYSHEV**, DSc (Eng), Professor<sup>1</sup>

E-mail: [v.berdishev@timacad.ru](mailto:v.berdishev@timacad.ru)

**SERGEY G. LOMAKIN**, PhD (Eng), Professor<sup>1</sup>

E-mail: [irina17-12-69@mail.ru](mailto:irina17-12-69@mail.ru)

**VLADIMIR V. SOLDATENKOV**, PhD (Eng)<sup>2</sup>

E-mail: [zakupki-rks@mail.ru](mailto:zakupki-rks@mail.ru)

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A.Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

<sup>2</sup> JSC "Concern 'Morinformsystema-Agat'", Entuziastovave., 29, Moscow, 105275, Russian Federation

The paper examines technical characteristics of axial rotary threshing and separating systems in comparison with threshing machines consisting of a drum-deck threshing unit and straw-walkers. It has been established that among combine harvesters, only those with an axial rotary or threshing and separating systems feature capacity of more than 10 kg/s. However, patterns of grain threshing and separation in such systems remain rather unexamined. The authors have proved a physical model of grain mass flow in the threshing space of an axial rotary threshing and separating unit. They have chosen as an object of study a threshing-and-separating system comprising a rotor and its perforated casing. In the threshing unit, the casing consists of a set of two decks and alternately two separating sieves with screw guides for the grain mass axial displacement. The separating unit comprises alternating bar sieves and sieves with punched holes and guides. It has been established that the heap flow in the threshing-and-

separating workspace moves with a variable inclination angle to the casing forming elements, which is constantly growing and tends to reach 90 degrees at the device outlet. When flowing through the threshing-and-separating workspace, the grain mass makes about 5 turns and travels about 14 m (for comparison, this distance accounts for 0.8...1.2 m in "conventional" threshing-and-separating units). It has been revealed that the change in inclination of the grain mass screw guide to the casing and the rotor forming elements leads to its increase or decrease in the total flow rate of heap elements in the axial direction. At the same time there is a change the distance travelled by the grain mass in the threshing area, resulting in corresponding changes in threshing performance, separation of grain and non-grain fractions, and the process energy-output ratio. The authors suggest experimental identifying the optimal combination of design parameters of the rotor elements and the casing to ensure the smallest grain loss - both in straw, and in chaff, with acceptable energy costs.

**Key words:** combine harvester, axial rotary threshing-and-separating system, rotor, rotor casing, grain losses.

### References

1. Yezhevsky A.A. Tekhnologicheskaya i tekhnicheskaya obespechennost' sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva Rossii na 2013–2020 gody [Technological and technical support of agricultural production in Russia for 2013–2020] / A.A. Yezhevsky // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii [Agricultural Machinery and Technologies]. 2014. № 1. Pp. 3–6.
2. Lomakin S.G. Zernoborochnyye kombayny: potrebnosti pokupateley, predlozheniya proizvozhiteley [Combine Harvesters: customers' needs and producers' offers] / S.G. Lomakin // Agrarnoe obozrenie [Agricultural Review]. 2010. № 3 // <http://agroobzor.ru/sht/a-143.html>.
3. Izmailov A.Yu. Sistemy mashin i tekhnologii dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [Systems of machinery and technologies for comprehensive mechanization and automation of farm production up to 2020] / A.Yu. Izmailov, Ya.P. Lobachevsky // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii [Agricultural Machinery and Technologies]. 2013. № 6. Pp. 6–10.
4. Berdyshev V.Ye. Vliyanie tipa dek na kachestvo raboty aksial'no-rotornoy molotil'no-separiruyushchey sistemy [Influence of the concave type on the performance of axial rotary threshing and separating system] / V.Ye. Berdyshev, S.G. Lomakin, A.V. Shevtsov // Herald of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education – Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin. 2015. № 1 (65). Pp. 20–24.
5. Lomakin S.G. Sravnitel'naya otsenka aksial'no-rotornykh MSS s razlichnymi tipami dek molotil'noy chasti [Comparative evaluation of axial rotor threshing unit with different concave types] / S.G. Lomakin, V.Ye. Berdyshev, A.V. Shevtsov // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyshee professional'noe obrazovanie [Bulletin of Nizhnevolzhsky Agricultural University Facilities: Science and Higher Professional Education]. 2015. № 1 (37). Pp. 199–202.
6. Myslivets V.N. Obosnovanie parametrov i pokazateley raboty aksial'no-rotornogo molotil'no-separiruyushchego ustroystva: Avtoreferat dis. ...kand. tekhn. nauk [Justification of parameters and indicators of axial rotary threshing and separating device: Self-review of PhD (Eng) thesis] / V.N. Myslivets. M.: MIISP, 1985. P. 6.
7. Soldatenkov V.V. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty aksial'no-rotornogo solomootdelitel'ya: Avtoreferat dis. ...kand. tekhn. nauk [Justification of parameters and operating modes of an axial rotary straw separator: Self-review of PhD (Eng) thesis] / V.V. Soldatenkov. M.: MIISP, 1986. P. 6.
8. Dzodtsoyev G.I. Issledovanie protsessy peme-shcheniya elementov khlebnoy massy v molotil'nom prostranstve: Avtoreferat dis. ...kand. tekhn. nauk [Studying the process of grain mass moving in a threshing space: Self-review of PhD (Eng) thesis] / G.I. Dzodtsoyev. M.: MIISP, 1969. P. 12.
9. Klenin N.I. Issledovaniye vymolota i separatsii zerna: Avtoreferat dis. ...d-ra tekhn. nauk [Analyzing the processes of grain threshing and separating: Self-review of DSc (Eng) thesis] / N.I. Klenin. M.: MIISP 1976. P. 17.
10. Lomakin S.G. Issledovanie vliyaniya parametrov molotil'nogo ustroystva na kachestvennyye i energeticheskie pokazateli protsessy obmolota: Avtoreferat dis. ...kand. tekhn. nauk [Analyzing the influence of the threshing device parameters on threshing quality and energy performance indicators: Self-review of DSc (Eng) thesis] / S.G. Lomakin. M.: MIISP 1972. P. 9.

*Received on February 20, 2016*