

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ В МОЛОТИЛЬНЫХ АППАРАТАХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

**Валерий Юрьевич Ревенко
Сергей Сергеевич Фролов**

Армавирская опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный научный
центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных
культур имени В.С. Пустовойта»

От работы молотильно-сепарирующего устройства (МСУ) зерноуборочного комбайна зависят стабильность и скорость протекания уборочного процесса, его энергоёмкость, показатели качества получаемого зерна. Существуют различные направления совершенствования конструкции молотильных аппаратов, основанные на глубоком изучении процессов, происходящих в молотильном зазоре. Одно из таких направлений – создание в МСУ ориентированных воздушных потоков, повышающих интенсивность прохождения вымолачиваемого материала через подбарабанье. Исследования, проведённые на Армавирской опытной станции, включали в себя следующие этапы: разработку конструкции и изготовление макетных образцов модернизированных МСУ; оценку их эффективности в лабораторных условиях на специальном стенде; анализ показателей качества и энергоёмкости уборочного процесса в схеме молотилки зерноуборочного комбайна. Выявлено, что при практически равных уровнях повреждаемости у серийного варианта в зоне надставки деки вымолачивается 50,3% от массы всего обмолаченного зерна, в то время как в модернизированном – 60,1%. Данный эффект обусловлен наличием направленных воздушных потоков, проходящих сквозь подбарабанье со скоростью до 23 м/с. Полевые испытания показали, что при допустимом уровне потерь максимальная пропускная способность хлебной массы у серийного комбайна СК-5М1 составила 5,8 кг/с, а у модернизированного – 6,5 кг/с. При одинаковых регулировках и пропускной способности (7,2 кг/с) потери зерна у серийной машины составили 4,1%, у экспериментальной – 2,0%. Таким образом, внесённые изменения в конструкцию МСУ способствовали повышению эффективности процесса сепарации и росту производительности уборочного агрегата. Предлагаемый способ аэродинамического воздействия на обмолачиваемый материал может быть адаптирован к подавляющему большинству применяемых в настоящее время МСУ и создаёт определённые предпосылки для нового направления совершенствования компоновочных схем молотильных аппаратов зерноуборочных комбайнов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: молотильный барабан, воздушный поток, сепарация, дробление, расход топлива, зерноуборочный комбайн.

INTENSIFICATION OF THE SEPARATION PROCESS IN THE THRESHING MECHANISM OF GRAIN HARVESTERS

**Valery Yu. Revenko
Sergey S. Frolov**

Armavir Experimental Station – Branch of V.S. Pustovoi All-Russian
Research Institute of Oil Crops

The stability and speed of the harvesting process, its energy consumption, as well as quality indicators of the separated grain depend on the operation of the threshing and separating device (TSD) of the combine harvester. There are various directions for improving the design of threshing machines based on a deep study of the processes occurring in the threshing gap. One of these directions is the creation of oriented air flows in the TSD, which increase the intensity of the passing of the threshed grain material through the concave clearance. The studies were carried out at the Armavir Experimental Station and included the following stages: development of the design, manufacturing of brassboard models of modernized TSD, assessment of their effectiveness in laboratory conditions on a special stand, analysis of the quality and energy consumption indicators of the harvesting process in the framescheme of the thresher of a

combine harvester. It was found that on an equal footing of damage, 50.3% of the mass of the whole threshed grain is separated in the serial version in the concave clearance area, whereas 60.1% is separated in the modernized version. This effect is due to the presence of the directional air flows passing through the concave clearance at a speed of 23 m/s. Field tests have shown that at the permissible level of losses, the maximum throughput of grain mass in the CK-5M1 serial combine was 5.8 kg/s, and in the modernized version was 6.5 kg/s. With the same adjustments and a throughput of 7.2 kg/s, the grain loss in a serial combine harvester was 4.1%, in an experimental version was 2.0%. Thus, due to modified alterations of the TSD it became possible to improve the efficiency of the separation process and to increase performance indicators of the harvesting unit. The proposed method of aerodynamic impact on the threshing material can be adapted to the vast majority of currently used TSD and creates certain prerequisites for a new direction in improving the design layout of threshing devices of grain harvesters.

KEYWORDS: threshing rotor, air flow, separation, damages, fuel consumption, combine harvester.

Введение
Создание новых высокопроизводительных машин, способных адаптироваться к уборке широкого спектра сельскохозяйственных культур, является одним из основных направлений совершенствования уборочных агрегатов. При этом должны учитываться разнообразные агробиологические и ботанические особенности растений, как и при выведении новых сортов, в том числе их пригодность к машинной уборке.

Перспективы дальнейшего использования уборочных машин в современном высокотехнологичном сельскохозяйственном производстве неразрывно связаны с повышением показателей производительности, минимизацией потерь за комбайном, снижением удельной энергоёмкости уборочного процесса и травмируемости зернового материала. Многие из указанных параметров напрямую зависят от конструктивных особенностей молотильного аппарата или молотильно-сепарирующего устройства (МСУ). В зерноуборочных комбайнах МСУ обеспечивают сепарацию зерна на 85–90%. Остальная его часть вместе с соломой подаётся на обработку в сепаратор грубого вороха [9]. Но именно от работы МСУ зависят стабильность протекания уборочного процесса, его энергоёмкость, показатели качества получаемого зернового материала, а также производительность зерноуборочной машины.

Принцип обмолота зерна как в первых прицепных уборочных машинах, так и в современных зерноуборочных комбайнах основан на ударном воздействии бичом барабана молотильного аппарата по колосу и на «перетирании» слоя хлебной массы в молотильных зазорах [4]. Многолетнее совершенствование МСУ с целью увеличения пропускной способности комбайна сводилось к наращиванию площади обмолота и сепарации за счёт увеличения угла обхвата и диаметра барабана, ширины молотилки, количества молотильных и сепарирующих барабанов [15]. Дальнейший рост пропускной способности молотильных аппаратов в данном направлении ограничен допустимыми габаритными размерами и массой комбайна в целом [8].

В настоящее время производители зерноуборочных машин и профильные научные организации ведут исследования в области интенсификации процесса сепарации путём совершенствования конструкции молотильных аппаратов [16]. Испытываются различные варианты барабанов, подбичников, бичей, меняются их форма, шаг расстановки и угол наклона [17, 20]. В конструкцию МСУ внедряются гладкие и сетчатые деки, в классических подбарабанах изменяется расположение поперечных планок и т. д. [1, 5].

Много работ посвящено исследованию процессов, протекающих в молотильном зазоре [11, 7, 13, 19]. Углубление знаний в данной области с использованием компьютерного моделирования и современного приборного оснащения позволит наметить пути дальнейшего совершенствования молотильных устройств [2, 3, 18]. Так, в работе [9] предлагалась конструкция молотильного аппарата интенсивного действия, включающая

барабан с гладкими бичами и подбарабанье с выпуклым входом и наклонными планками с полками без прутков на остальном протяжении. Авторами исследовалась возможность увеличения угла отклонения отражающей поверхности била от радиального направления, что, по их мнению, должно было увеличить сепарацию и сократить дробление за счёт уменьшения нормальной составляющей ударного импульса.

В ходе многолетних исследований в области техники и технологии уборочных процессов сотрудники Армавирской опытной станции стали разрабатывать несколько иное направление совершенствования молотильных аппаратов зерноуборочных комбайнов, основанное на использовании ориентированных воздушных потоков, оказывающих динамическое воздействие на слой обмолачиваемого продукта в зоне сепарации. Данный способ повышения эффективности процесса сепарации был защищён патентом на изобретение [12]. Вопросам дальнейшего совершенствования МСУ с использованием указанной технологии посвящена данная статья.

Материалы и методы

Программа многолетних исследований включала в себя следующие этапы:

- разработку конструкции;
- изготовление макетных образцов МСУ;
- оценку эффективности их работы в лабораторных условиях;
- анализ показателей качества уборочного процесса в схеме молотилки зерноуборочного комбайна;
- сравнение энергозатрат на протекание технологического процесса у серийной и модернизированной зерноуборочной машины.

Конечная **цель** исследований – повышение показателей производительности, минимизации потерь за комбайном, снижение удельной энергоёмкости уборочного процесса и травмируемости зернового материала.

Сравнительную оценку различных вариантов МСУ в лабораторных условиях проводили в первый год исследований. Для этого использовали специальный стенд, полностью имитирующий молотилку зерноуборочного комбайна СК-5М-1 (рис. 1).

Для равномерной подачи хлебной массы на обмолот использовали ленточный транспортёр длиной 15 м и шириной ленты 1,5 м. Необходимую загрузку молотилки достигали изменением скорости подачи или толщины слоя сноповой массы, находящейся на транспортёре. Молотильная часть стенда состояла из наклонной камеры 2, приёмного битера 3, барабана 4, надставки деки 5, деки 7 и отбойного битера 6. Под молотильным аппаратом на рамке стенда устанавливали пробоотборники. В первый осуществляли сбор продуктов обмолота (зерно + солома), прошедших через сепарирующую решётку деки. Его конструкция представляла собой трёхсекционный сетчатый ящик с шириной, равной ширине молотилки (1200 мм), и длиной, равной длине горизонтальной проекции подбарабанья молотильного аппарата.

В первую секцию указанного пробоотборника попадали продукты обмолота, прошедшие через надставку деки, во вторую – из I секции деки, в третью – из II секции деки. Продукты обмолота, прошедшие через сепарирующие решётки клавиш соломотряса, собирали в более массивный пробоотборник, длина которого равнялась длине горизонтальной проекции открытой сепарационной решётки клавишных соломотрясов, с учётом крайних положений движущихся клавиш. Для определения величины потерь свободным зерном за соломотрясом и уровня недомолота весь обмолоченный ворох, прошедший через стенд, собирали в III пробоотборник.

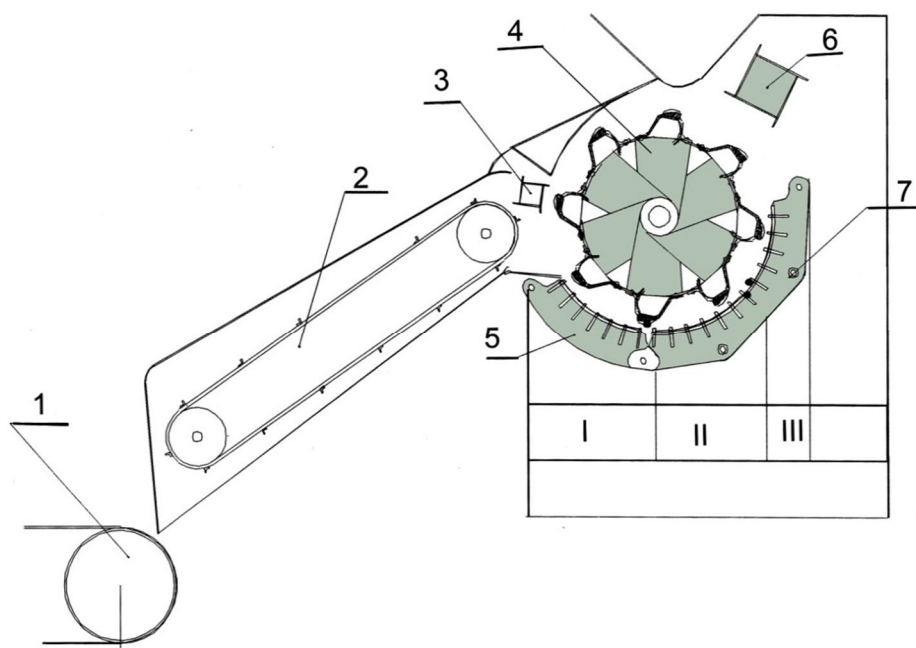


Рис. 1. Схема лабораторного молотильного стенда:
1 – ленточный транспортёр; 2 – наклонная камера; 3 – приёмный битер;
4 – барабан; 5 – надставка деки; 6 – отбойный битер; 7 – дека

В лабораторных опытах обмолачивали снопы озимой пшеницы сорта Таня с урожайностью 57,3 ц/га. Показатели состояния сноповой массы в период проведения лабораторных исследований были следующими:

- влажность зерна – 13,4%;
- влажность соломы – 11,3%;
- абсолютная масса зерна – 42,8 г;
- отношение зерна к соломе – 1 : 1,59.

Опыты проводили по каждому варианту молотильных аппаратов в 5-кратной повторности. Частоту вращения барабана устанавливали в пределах 900 об/мин, установочные зазоры в подбарабанье – 22×18×6 мм.

Изучение параметров воздушного потока, создаваемого молотильными аппаратами, заключалось в определении его скорости, направления и равномерности по площади подбарабанья. Оценку проводили косвенным методом, путём замера динамического напора микроманометрами ММН-2400 и МЛЖ-1 с пневмометрической трубкой Пито-Прандтля в соответствии с известной методикой [14]. Дека была условно разбита на 18 секторов, в каждом из которых было произведено по 16 замеров перед планкой и по 16 – за ней. Для точной установки трубки Пито-Прандтля в любой точке деки молотильного аппарата был изготовлен специальный кронштейн. По результатам замеров и их пересчёта были построены эпюры распределения скоростей воздушного потока в плоскости развертки сепарирующей решётки молотильного аппарата.

В полевых условиях агротехническую оценку проводили на уборке озимой пшеницы комбайном СК-5М-1. При этом различные варианты МСУ испытывали на одном и том же агрофоне. Убирали озимую пшеницу сорта Гром с урожайностью 62,7 ц/га, влажностью соломы и зерна – соответственно 12,5 и 11%. Длина прогона составляла 50 м. Показатели качества работы очистки и соломосепаратора определяли с помощью эластичных пробоотборников. Отбор и обработку проб производили при подачах от 2 до 8 кг/с. По данным сбора соломы и половы определяли потери зерна, а из бункера брали пробы на качество.

Задача данного цикла исследований заключалась в выявлении зависимости технологических показателей работы молотилки от её компоновки. В качестве контрольного варианта использовался тот же комбайн, но с серийным МСУ.

Величину энергозатрат на проведение технологической операции по уборке озимой пшеницы комбайном определяли по количеству удельного расхода топлива на гектар или на тонну вымолоченного материала (кг/га, кг/т). При этом к топливной системе двигателя был подключён расходомер топлива ИП 197, а топливная аппаратура прошла проверку и регулировку с доведением её показателей по расходу топлива в соответствии с паспортными данными двигателя СМД-18, установленного на комбайне.

Проведение лабораторных исследований, отбор и обработку результатов выполняли в соответствии с ГОСТ 28301 [6].

Результаты и их обсуждение

Обоснование изменений, вносимых в конструкцию молотильно-сепарирующего устройства, строилось на следующих логических выкладках. При вращении барабана во внутреннем его объёме из-за отсутствия притока воздуха извне создаётся воздушная полость с пониженным давлением, которая неизбежно компенсируется из зоны обмолота, что приводит к зависанию некоторой части обмолачиваемой массы у барабана и задержке процесса сепарации. За поверхностью подбичника также создаются зоны со значительным разрежением. В классической схеме молотилки это приводит к тому, что вслед за подбичником действуют направленные к центру барабана векторы аэродинамических сил, которые приподнимают вымолоченный материал. Последний при встрече с конструктивными элементами барабана, вращающимися со скоростью до 35 м/с, начинает дробиться.

Предлагаемое решение этой проблемы заключается во введении в конструкцию молотильного барабана элементов, обеспечивающих воздействие дополнительных воздушных потоков на хлебную массу, направленных из центра вращения к периметру барабана. На начальном этапе был разработан первый вариант конструкции молотильного аппарата с барабаном, в крайних дисках которого были выполнены вырезы и приварены наклонные лопасти для нагнетания во внутреннюю полость воздуха. Подвод воздуха осуществлялся через два отверстия во фланцах боковых панелей молотилки. Отверстия снабжались регулируемыми заслонками для дозирования попадающего в барабан объёма воздуха.

Технологический процесс в молотильном аппарате протекает следующим образом: при вращении барабана с лопастями создаётся дополнительный поток воздуха, направленный от барабана к деке и прижимающий к ней обмолачиваемый материал. В этом случае снижается возможность прохода продуктов обмолота внутрь барабана через его межбичевые промежутки, а следовательно, и вероятность повреждения зёрен от встречи с вращающимися деталями. Также возрастает интенсивность прохода через деку хлебной массы, постоянно находящейся в зоне максимального обмолота и сепарации.

Проведённые лабораторные опыты с первым вариантом МСУ выявили незначительное улучшение показателей качества процесса обмолота при практически одинаковой с серийным образцом производительности. С целью дальнейшего повышения эффективности работы молотильного аппарата и повышения интенсивности процесса сепарации во второй год проведения исследований используемое МСУ было модернизировано. Суть изменений состояла в том, что крайние диски остова барабана были полностью демонтированы и заменены массивными крыльчатками, служащими одновременно и осевыми вентиляторами, и опорами крепления подбичников (рис. 2).

Фланцы боковин молотилки также претерпели радикальную трансформацию: они были изготовлены в виде крыльчаток, лопасти которых служили опорой корпусов подшипников барабана. По своей конструкции фланцы боковин аналогичны крыльчат-

кам барабана. Для усиления скорости воздушного потока угол установки направляющей части лопастей прямо противоположен углу установки лопастей рабочего колеса.

В результате получена конструкция молотильно-сепарирующего устройства с практически открытыми боковинами, позволяющая компенсировать разрежения, создаваемые барабаном, совмещающего в данном случае функции молотильного устройства и центробежного вентилятора.

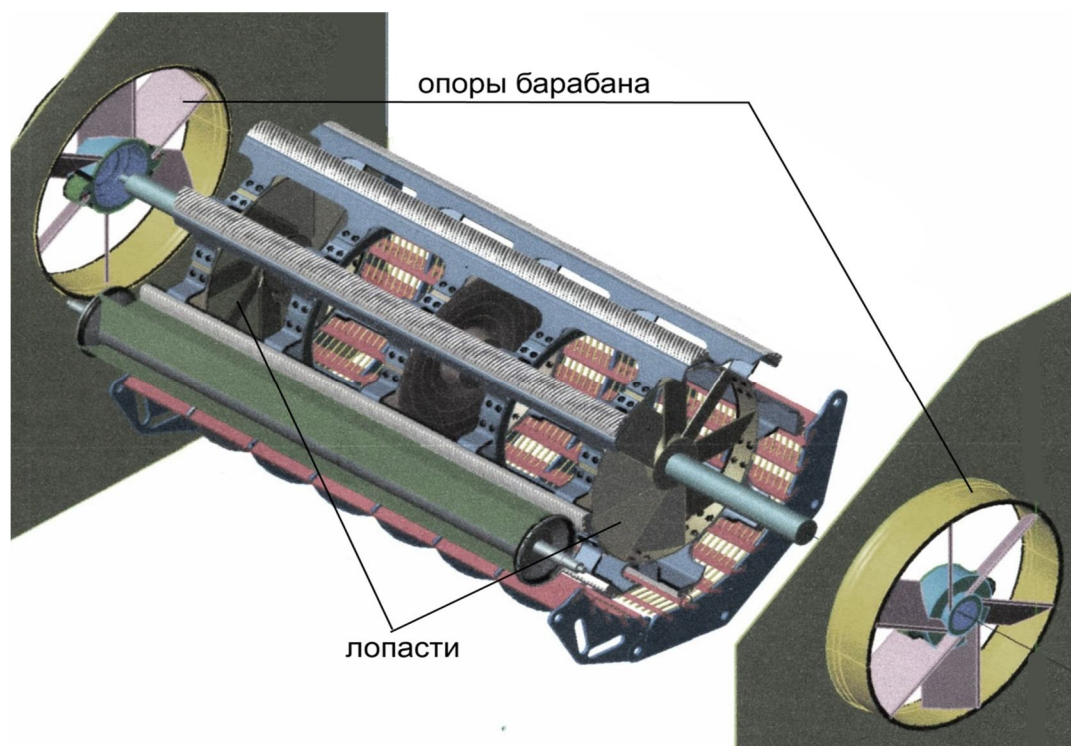


Рис. 2. Второй вариант конструкции модернизированного МСУ

Для оценки эффективности предлагаемой модернизации МСУ была проведена проверка его работоспособности на специализированном лабораторном стенде. При проведении стендовых испытаний отбор проб сепарируемого материала осуществлялся из 4 зон. Первые три определяли сепарирующие возможности подбарабья: надставки, I и II секций деки. Проба из четвертой зоны отражала качество работы клавишного соломосепаратора. Для каждой серии опытов выставляли требуемые обороты барабана и установочные зазоры в подбарабье.

В результате стендовых испытаний выявлено, что приведённая подача хлебной массы в серийное (эталонное) МСУ фиксировалась на уровне $3,84 \pm 0,08$ кг/с. Сепарация в зоне I (надставки деки) составляла в среднем 50,3% от всей массы обмолоченного зерна. Во II зоне сепарация снижалась до 31,1%, в III – до 11,9%. Суммарная сепарация через деку – 93,3%.

Подача зерносоломистого вороха в серии опытов с первым вариантом конструкции модернизированного МСУ (барабан оснащён небольшими лопастями, а боковины молотилки снабжены регулируемыми заслонками) составляла $4,27 \pm 0,08$ кг/с, что выше, чем у эталона, на 8,9%. Уровень сепарации в I зоне – 48,5%, во II – 32,0, в III – 12,4%. Суммарный показатель практически не отличался от контрольного – 92,9%. Однако с учётом более высокой подачи вороха и меньшего уровня дробления (1,88% у серийного устройства МСУ и 1,72% у экспериментального устройства) можно говорить о положительном влиянии конструктивных изменений барабана на показатели работы молотилки в целом.

В следующей серии опытов оценивали второй вариант конструкции МСУ (барабан оснащён увеличенными лопастями, а в боковинах молотилки вырезаны окна с направляющими воздушного потока). Приведённая подача хлебной массы в молотильный зазор составила $4,10 \pm 0,11$ кг/с. Доля сепарации зернового материала в I зоне составила 60,1%, что выше аналогичного контрольного показателя на 19,3%. Резкое смещение количества вымолоченного зерна к началу подбарабання позволило разгрузить зону сепарации самой деки. Соответствующие показатели во II зоне – 25,1%, в III – 9,8%, что ниже контрольных значений в 1,13 и 1,18 раза. Суммарный уровень сепарации подбарабанием – 94,9%. Таким образом, поступающее количество зерна вместе с соломистой массой на соломосепаратор составило 5,1%, что снижает его нагрузку в сравнении с серийным образцом практически на треть.

По результатам лабораторной проверки на стенде можно сделать предварительный вывод о более эффективной работе второго варианта конструкции МСУ. Но при этом его показатели по дроблению (1,93%) были несколько выше, чем у первого варианта (1,72%). Таким образом, в первом варианте при удовлетворительной общей сепарации основным преимуществом конструкции можно считать снижение повреждаемости зёрен, а во втором – высокий уровень сепарации при удовлетворительных показателях дробления.

Компоновка первого и второго вариантов молотильно-сепарирующего устройства способствует созданию различающихся по силе и направлению вихревых воздушных потоков в молотилке. Для их инструментальной оценки были проведены замеры скоростей воздушных потоков на поверхности деки без подачи хлебной массы в молотильный зазор.

Результаты оценки воздушных потоков, создаваемых молотильным барабаном в плоскости развёртки подбарабання серийного и второго варианта модернизированного молотильного аппарата, представлены на рисунках 3 и 4.

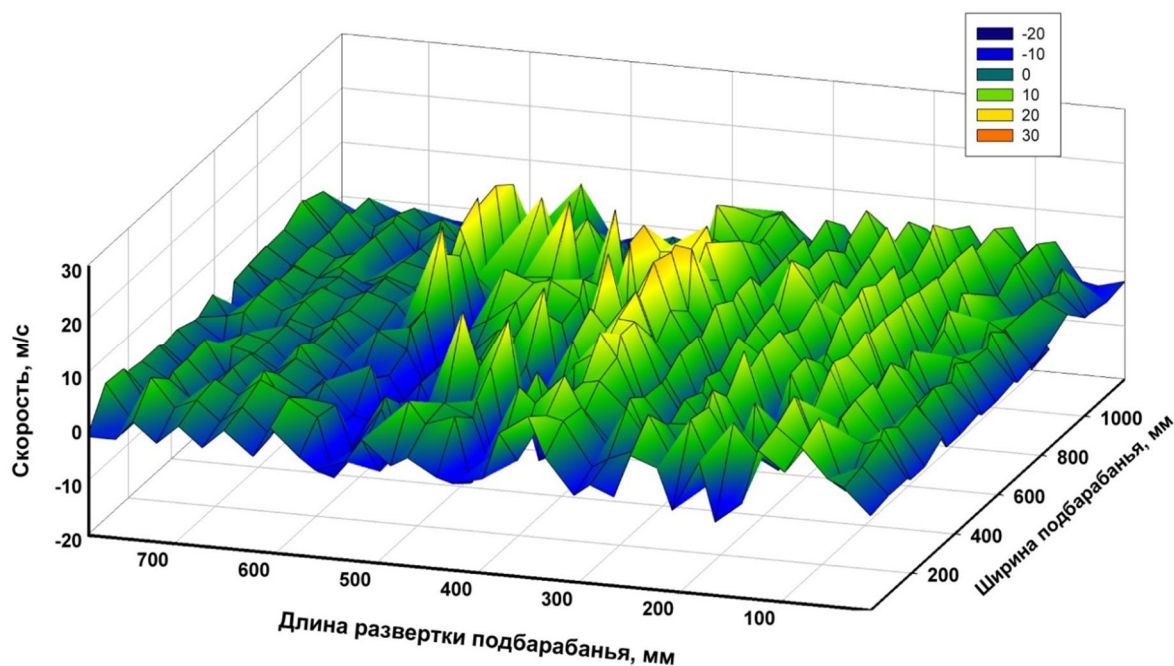


Рис. 3. Эпюра скоростей воздушных потоков сквозь деку серийного МСУ

Анализ эпюры скоростей воздушных потоков в серийном варианте МСУ показывает, что их распределение по плоскости сепарирующей решётки крайне неравномерное (рис. 3). Максимального своего значения скорости достигают в центральной части деки – до 15 м/с. В начале деки искомые показатели не превышают 10 м/с, а в конце – 5 м/с.

Отрицательные значения скоростей воздушного потока за поперечными планками каркаса подбарабання показывают, что в данной зоне вектор скорости меняет направление на противоположное, т. е. возникает эффект завихрения или обратного всасывания. Данный фактор, как было описано выше, негативно отражается на сепарации обмолачиваемого материала в молотильном зазоре.

При установке на стенд первого варианта модернизированного МСУ выявлено, что вид эпюры скоростей воздушных потоков, проходящих через сепарирующую решётку подбарабання, существенно изменился. Распределение скоростей в данном случае носило более равномерный характер. Их пиковые значения в первой половине деки, в зоне находящихся на расстоянии примерно 200 мм от боковых панелей молотилки, достигали 15–20 м/с. Во второй половине деки скорости снижались до 10–15 м/с.

В целом интегральное по площади деки значение скорости воздушного потока, проходящего через сепарирующую решётку экспериментального молотильного аппарата, в 3,5 раза выше по сравнению с серийным вариантом. При этом на выходе из сепарирующей решётки МСУ практически не зафиксировано нулевых и отрицательных значений исследуемых скоростей.

Дальнейшие изменения, воплощённые во втором варианте конструкции экспериментального МСУ, позволили ещё в большей степени улучшить равномерность воздушных потоков, проходящих сквозь подбарабання. Их скоростные параметры достигали величины 20–23 м/с (рис. 4). Доля зон, имеющих скорости ниже 5,0 м/с, составляла не более 20% от площади подбарабання, а скорости воздуха в аэродинамической тени поперечных планок каркаса подбарабання не имели отрицательных значений. Данный фактор, предположительно, способствовал улучшению процесса сепарации вымолоченного материала через деку.

Следует заметить, что характер распределения воздушных потоков в молотильном зазоре при наличии в нём зерносоматистого вороха будет абсолютно другим. Но провести корректно замеры во время прохождения через МСУ нестационарного потока хлебной массы (разной плотности и переменного объёма) не представляется возможным. Тем не менее данная методика проведения исследований позволяет наглядно сравнить процессы, протекающие в молотильном зазоре серийного и экспериментальных МСУ.

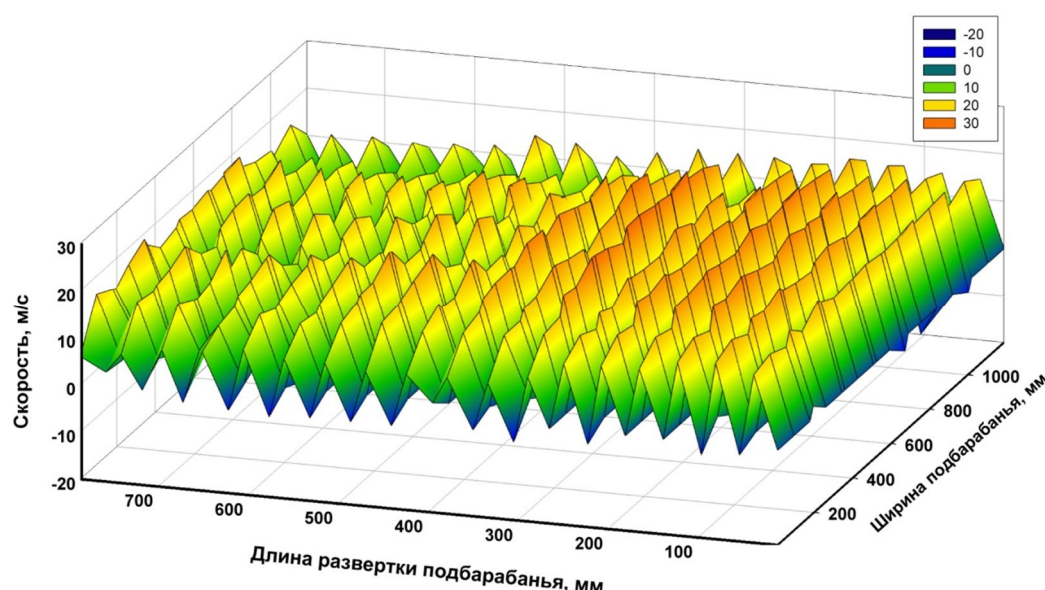


Рис. 4. Эпюра скоростей воздушных потоков через деку второго варианта модернизированного МСУ

Наиболее объективной оценкой эффективности процесса сепарации в молотильно-сепарирующих устройствах зерноуборочных комбайнов является испытание их в полевых условиях на различных подачах, включая рабочие.

Полевые исследования проводили для двух вариантов конструкции молотильных аппаратов: серийного и второй версии модернизированного. При проведении агрооценки указанные варианты молотильных аппаратов поочередно монтировались на один и тот же зерноуборочный комбайн СК-5М-1. Приведённая подача хлебной массы осуществлялась с нарастанием от 1,82 до 8,37 кг/с в серийной машине и от 2,89 до 8,69 кг/с – в экспериментальной. Полученные результаты представлены на рисунке 5, где изображены кривые зависимостей потерь зерна за молотилкой и степень его дробления в функции от приведённой подачи.

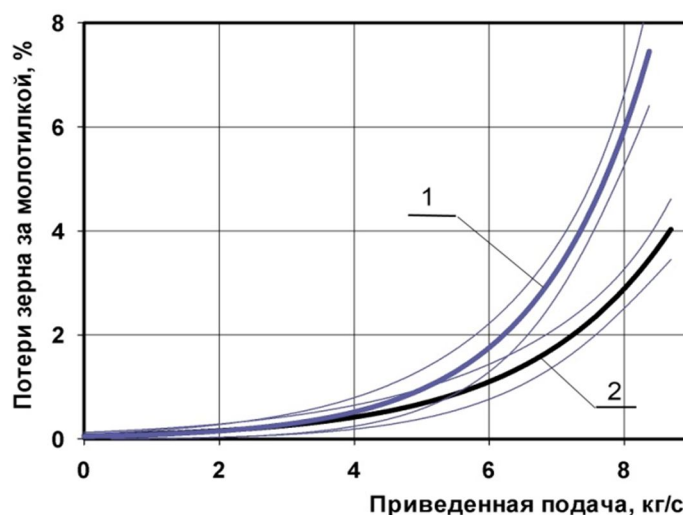


Рис. 5. Потери зерна за молотилкой в функции подачи хлебной массы:
1 – серийный вариант МСУ, 2 – второй вариант модернизированного МСУ
 (тонкими линиями показаны 95% доверительные интервалы)

Из рисунка 5 следует, что при допустимом по ГОСТу уровне потерь за молотилкой зерноуборочного комбайна (1,5%) максимальная пропускная способность хлебной массы у серийного комбайна составила 5,8 кг/с, а у модернизированного – 6,5 кг/с. При одинаковых регулировках и пропускной способности 7,2 кг/с потери зерна в модернизированном МСУ – 2%, а в серийном – 4%.

Показатели дробления зерна на эталонном образце зерноуборочного комбайна превысили допустимые значения при любых подачах хлебной массы и не фиксировались ниже 2,3%. Допустимый уровень дробления (2,0%) у экспериментального образца соответствовал подаче 6,8 кг/с. Потери зерна за очисткой на максимальных подачах у серийного и экспериментального образцов зерноуборочного комбайна составили соответственно 0,25 и 0,43%.

Таким образом, лабораторно-полевые исследования модернизированного молотильного аппарата позволили выявить его преимущества в схеме молотилки зерноуборочного комбайна. Следует также отметить полное отсутствие потерь свободным зерном через открытые отверстия в боковинах молотилки.

Величину энергозатрат на проведение технологической операции по уборке озимой пшеницы зерноуборочным комбайном СК-5М-1 Нива определяли по удельным показателям. Работы проводили на одном и том же участке поля с использованием одного комбайна, на котором поочередно менялись молотильные аппараты. Такой подход позволил исключить дополнительные погрешности и повысить объективность результатов опытов.

Расход горючего при использовании серийного молотильного аппарата составил 3,85 кг на тонну намолота зерна, или 11,1 кг на гектар убранной площади. Установка в схему молотилки зерноуборочного комбайна второго варианта модернизированного молотильного аппарата показала, что расход топлива практически не изменился и составил 3,87 кг/т, или 11,3 кг/га. Таким образом, в мощностном балансе зерноуборочного комбайна с экспериментальным МСУ затраты энергии на создание дополнительных воздушных потоков не являются существенными.

Заключение

Воздействие на хлебную массу высокоскоростными (до 23 м/с) воздушными потоками, направленными из центра вращения к периметру барабана, изменило распределение степени интенсивности сепарации по площади подбарабана: у серийного варианта в зоне надставки деки вымолачивалось 50,3% от массы всего обмолоченного зерна, у модернизированного – 60,1%.

Максимальная пропускная способность хлебной массы у серийного комбайна при допустимом уровне потерь составила 5,8 кг/с, а у модернизированного – 6,5 кг/с. При одинаковых регулировках и пропускной способности 7,2 кг/с потери зерна у серийной машины – 4,1%, у экспериментальной – 2,0%.

Показатели дробления зерна серийного зерноуборочного комбайна превысили допустимые значения при любой загрузке молотилки и не фиксировались ниже 2,3%. Допустимый уровень дробления 2,0% у экспериментального образца соответствовал подаче хлебной массы со скоростью 6,8 кг/с.

Введение в конструкцию комбайна молотильного аппарата с дополнительным воздействием на обмолачиваемый материал ориентированным воздушным потоком повышает интенсивность процесса сепарации, обеспечивая рост его пропускной способности на 10–12%. Удельный расход топлива при этом остаётся практически неизменным.

Данный способ аэродинамического воздействия на обмолачиваемый материал может быть адаптирован к подавляющему большинству применяемых в настоящее время молотильно-сепарирующих устройств и создаёт определённые предпосылки для нового направления совершенствования компоновочных схем молотильных аппаратов зерноуборочных комбайнов.

Библиографический список

1. Алдошин Н.В. Пути улучшения работы очистки зерноуборочного комбайна / Н.В. Алдошин // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2017. – № 6 (82). – С. 43–47.
2. Белов М.И. Математическая модель движения частиц в роторной молотилке / М.И. Белов, Ю.М. Шрейдер // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2015. – № 4. – С. 31–35.
3. Бердышев В.Е. Движение хлебной массы в молотильном пространстве аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства / В.Е. Бердышев, С.Г. Ломакин, В.В. Солдатенков // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2018. – № 2. – С. 7–11.
4. Бородин Д.Н. Основы теории взаимодействия ударной поверхности с зерном сельскохозяйственных культур / Д.Н. Бородин, О.П. Чердиченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины и орудия. – 2004. – № 2. – С. 44–31.
5. Гусаров В.В. Параметры зон воздействия молотильно-сепарирующего устройства на обмолачиваемую массу / В.В. Гусаров, А.В. Ключков, С.В. Курзенков // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 182–188.
6. ГОСТ 28301-2007. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. – Введ. 2010-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 35 с.
7. Исследование параметров воздушного потока в камере очистки зерноуборочного комбайна / А.В. Майоров, Н.В. Януков, Д.В. Лукина, А.И. Волков // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономика. – 2018. – Т. 4, № 3. – С. 45–52.

8. Компьютерное моделирование процесса разделения зерна и половы на фракции в системе очистки зерноуборочного комбайна / А.И. Баран, В.Б. Попов, А.Н. Вырский, С.В. Труханович // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2016. – № 3 (66). – С. 4–9.
9. Кузин Г.А. Совершенствование молотильного аппарата интенсивного действия / Г.А. Кузин, Л.М. Грошев, И.А. Хозяев // Вестник Донского государственного технического университета. – 2012. – Т. 12, № 1–2 (62). – С. 67–76.
10. Липкович Э.И. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов : пособие для конструкторов зерноуборочных машин / Э.И. Липкович. – Зерноград : ВНИПТИМЭСХ, 1973. – 166 с.
11. Ляшенко А.А. Методика и результаты исследования некоторых параметров хлебной массы при движении её в молотильном зазоре зерноуборочного комбайна / А.А. Ляшенко, О.Н. Косилов // Вестник Донского государственного технического университета. – 2008. – Т. 8, № 3 (38). – С. 287–291.
12. Пат. 2271094 Российская Федерация, МПК A01F 12/18, A01F 12/24 (2006.01). Способ и устройство для осуществления сепарации зерна / А.В. Анисимов, В.А. Анисимов, М.П. Васин, Э.В. Жалнин ; заявитель и патентообладатель ГНУ Северо-Кавказская опытная станция Всесоюзного научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства. – № 2004105614/12 ; заявл. 24.02.2004 ; опубл. 10.03.2006, Бюл. № 7. – 7 с.
13. Сороченко С.Ф. Математическая модель движения зернового вороха по решетке адаптера очистки зерноуборочного комбайна / С.Ф. Сороченко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 12 (146). – С. 131–138.
14. Турбин Б.Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин: теория и технологический расчет / Б.Г. Турбин. – Ленинград : Машиностроение, 1968. – 159 с.
15. Böttinger S. Combine harvesters – state-of-the-art and further developments for the improvement of machine settings / S. Böttinger, P. Wacker // Landtechnik. – 2010. – Vol. 65 (2). – Pp. 102–105. DOI:10.1515/lt.2010.603.
16. Ivan Gh. Improving threshing system feeding of conventional combine harvesters / Gh. Ivan, V. Vladut, I. Ganea-Chrsitu // Actual Tasks on Agricultural Engineering : International Symposium on Agricultural Engineering (Croatia, Opatija, February 2015). – Croatia, Opatija, 2015. – Vol. 43. – Pp. 431–440.
17. Review of grain threshing theory and technology / J. Fu, Z. Chen, L. Han, L. Ren // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. – 2018. – Vol. 11 (3). – Pp. 12–20. DOI: 10.25165/ij.ijabe.20181103.3432.
18. Computer based Control of the Separation Process in a Combine Harvester / D. Hermann, F. Scholer, M.L. Bilde, N.A. Andersen, O. Ravn // Land.Technik AgEng. : 75th Conference of LAND, TECHNIK (Germany, Hannover, 10.11.2017 – 11.11.2017). – Düsseldorf : VDI Verlag GmbH, 2017. – Pp. 599–604.
19. Miu P. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units. Part I / P. Miu, H.-D. Kutzbach // Computers and Electronics in Agriculture. – 2008. – Vol. 60 (1). – Pp. 96–104. DOI: 10.1016/j.COMPAG.2007.07.003.
20. Tang Z. Modeling and design of a combined transverse and axial flow threshing unit for rice harvesters / Z. Tang, Y. Li, L. Xu, F. Kumi // Spanish Journal of Agricultural Research. – 2014. – Vol. 12 (4). – Pp. 973–983. DOI: 10.5424/sjar/2014124-6077.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Валерий Юрьевич Ревенко – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сои Армавирской опытной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта» (АОС – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК), Россия, Краснодарский край, г. Армавир, e-mail: skskniish@rambler.ru.

Сергей Сергеевич Фролов – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе Армавирской опытной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта» (АОС – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК), Россия, Краснодарский край, г. Армавир, e-mail: zam.aos@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 10.11.2020

Дата принятия к печати 25.12.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Valery Yu. Revenko, Candidate of Engineering Sciences, Leading Researcher, Soybean Breeding and Seed Production Laboratory, Armavir Experimental Station – Branch of V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Russia, Krasnodar Krai, Armavir, e-mail: skskniish@rambler.ru.

Sergey S. Frolov, Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research, Armavir Experimental Station – Branch of V.S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops, Russia, Krasnodar Krai, Armavir, e-mail: zam.aos@yandex.ru.

Received November 10, 2020

Accepted after revision December 25, 2020