

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА ОТВЕРСТИЙ РЕШЕТЧАТОГО ДНИЩА НАКЛОННОЙ КАМЕРЫ

TO DETERMINE THE OPTIMAL TILT ANGLE OF THE LATTICE HOLES OF THE BOTTOM OF THE INCLINED CHAMBER

В.Н. ОЖЕРЕЛЬЕВ, д.с.-х.н.
В.В. НИКИТИН, к.т.н.

Брянский государственный аграрный университет,
Брянск, Россия, vicoz@bk.ru

V.N. OZHERELIEV, DSc in Agriculture
V.V. NIKITIN, PhD

Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia, vicoz@bk.ru

По результатам лабораторных экспериментов установлен оптимальный угол наклона отверстий решетчатого днища наклонной камеры зерноуборочного комбайна, обеспечивающий максимальную сепарацию свободного зерна из очесанного зернового вороха до его поступления в молотильную камеру. Это позволяет минимизировать поступление свободного зерна в молотильное устройство, надежно исключив вероятность его дробления рабочими органами молотилки. Исследования производились на пшенице сорта «Московская 56». Влажность зерна составляла порядка 12 %. Скорость движения транспортера – 3 м/с – и угол его наклона к горизонту – 45° соответствовали аналогичным параметрам работы для большинства современных зерноуборочных комбайнов. Угол наклона отверстия решетчатого днища имел семь уровней варьирования в пределах 0–90°. Подача очесанного зернового вороха составляла порядка 10 кг/с при содержании в нем 80 % свободного зерна. Длина съемного решетчатого днища равнялась 0,95 м, а ее прямоугольные отверстия имели размеры 160×8 мм. Для исключения влияния на выходной параметр площадь «живого сечения» отверстий решетчатого днища во всех сериях эксперимента была принята одинаковой. Так, по результатам научных исследований установлено, что по мере увеличения угла наклона количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища, уменьшается, а количество сошедшего с него зерна, наоборот, возрастает. При этом максимальная сепарация свободного зерна – 68,7 % – соответствует углу наклона отверстий, равному 0°. Для обеспечения полного выделения свободного зерна из очесанного зернового вороха длина сепарирующей поверхности должна быть не менее 1,18 м. Такое техническое решение может быть реализовано, например, в наклонной камере зерноуборочного комбайна КЗС-1218 «Полесье GS-12», имеющей длину порядка 1,3 м.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, очес, наклонная камера, решетчатое днище, угол наклона отверстий, предварительная сепарация очесанного зернового вороха.

According to the results of laboratory experiments, the optimal angle of inclination of the holes of the lattice bottom of the inclined chamber of the combine harvester is established, which provides maximum separation of free grain from the combed grain heap before it enters the grind chamber. This allows you to minimize the intake of free grain to the threshing device, securely eliminating the probability of crushing the working bodies grind. Studies were carried out on wheat varieties «Moscow 56». The grain moisture content was about 12%. The speed of the conveyor 3 m/s and the angle of inclination to the horizon of 45° correspond to similar parameters for most modern combine harvesters. The angle of inclination of the lattice bottom opening had seven levels of variation within 0–90°. The feed of the combed grain heap was about 10 kg/s with a content of 80 % free grain. The length of the removable grating bottom was 0.95 m, and its rectangular holes had a size of 160×8 mm. To eliminate the effect on the output parameter, the area of the «live section» of the holes of the lattice bottom in all series of the experiment was taken the same. Thus, results of scientific researches, increasing of the angle of inclination amounts of free grain passed through the holes of the bottom lattice is reduced, and the number came down from his grain, on the contrary, increases. The maximum separation of free grain 68,7 % corresponds to the angle of inclination of the holes equal to 0°. To ensure complete separation of free grain from the combed grain heap, the length of the separating surface must be at least 1,18 m. This technical solution can be implemented, for example, in the inclined chamber of the grain harvester KZS-1218 «Polissya GS-12», which has a length of about 1,3 m.

Keywords: combine harvester; tow; feeder house; slatted bottom; the angle of the holes; oceanova preliminary separation of grain heap.

Введение

Зерновое хозяйство является для России стратегически важной отраслью. По валовому производству этой важнейшей продовольственной группы страна занимает пятое место в мире (после Китая, США, Индии и Бразилии). При этом стоимость экспорта зерна превысила доходы от экспорта вооружений. Однако жесткая конкуренция на мировом рынке неизбежно отражается на рентабельности производства зерна. В ряде случаев оно становится мало доходным и даже убыточным. Решить проблему можно, в том числе, за счет уменьшения затрат на уборку урожая. Для этого, в первую очередь, следует оптимизировать соотношение «цена – качество» зерноуборочного комбайна.

В настоящее время в России большую часть рынка зерноуборочных комбайнов поделили между собой «Ростсельмаш», совместное предприятие «Гомсельмаш» и «Брянсксельмаш», а также сборочное предприятие фирмы Claas в Краснодарском крае. Доля других мировых производителей комбайнов на нашем рынке существенно меньше. Несмотря на рост в России объема сборки белорусских комбайнов их рыночная доля за три квартала 2016 года уменьшилась с 20,4 до 17 %. На российском рынке белорусскую продукцию потеснил «Ростсельмаш» (рост доли с 69,6 до 72,1 %) и «Claas», который запланировал увеличить объемы продаж в 3 раза. Этому способствует подписание инвестиционного соглашения с Правительством РФ, по которому продукция немецкой фирмы Claas считается российской и ее приобретение субсидируется из федерального бюджета.

Победить на рынке сложного сельскохозяйственного оборудования можно только благодаря инновациям. В результате, техника должна приобретать потребительские свойства, отсутствующие у конкурентов. В частности, это касается энергоемкости технологического процесса. В связи с этим одним из наиболее перспективных способов уборки зерновых культур, обеспечивающим минимальные затраты энергии, является очесывание растений на корню. При очесе поступление хлебной массы в комбайн уменьшается в 1,5–2 раза, что приводит к экономии до 70 % энергии, которая расходуется на деформацию соломы в молотилке и на ее протаскивание через зазоры в молотильной камере. В след-

ствие этого производительность комбайна повышается в 1,7–2 раза, расход топлива снижается на 20–25 %, а себестоимость зерна уменьшается на 25–30 % [1, 2].

Широкое внедрение указанной технологии сдерживается тем, что ее очевидные преимущества не могут быть в полной мере реализованы без изменения технологического процесса комбайна с целью его адаптации к работе с ворохом, содержащим до 80 % свободного зерна [3]. Поступление последнего в молотильную камеру затрудняет процесс обмолота имеющейся в ворохе колосовой части урожая и снижает, таким образом, пропускную способность молотилки. Кроме того, наблюдается чрезмерное дробление свободного зерна рабочими органами молотилки (порядка 14 %) и вынос его значительной части в соломотряс, что способствует росту потерь урожая [4]. Таким образом, актуальной научной задачей является изыскание возможности выделения из очесанного вороха свободного зерна и направления его на очистку, минуя молотильный аппарат.

Цель исследования

В результате анализа литературных источников установлено, что решить указанную проблему позволяет предварительная сепарация очесанного вороха непосредственно в наклонной камере зерноуборочного комбайна [4, 5]. При этом, однако, оказался нерешенным ряд задач, связанных с конструкцией сепарирующей решетчатой поверхности (днища наклонной камеры). В частности, не установлено влияние пространственной ориентации и формы отверстий решетчатого днища наклонной камеры на интенсивность сепарации свободного зерна. В связи с этим целью исследования является экспериментальная оценка теоретических гипотез, наиболее адекватно описывающих процесс истечения зерна сквозь продолговатые отверстия решетчатого днища наклонной камеры. Это позволяет осуществить оптимизацию важнейших параметров указанных сепарирующих отверстий.

Научная гипотеза исследований

Как правило, принято считать, что в качестве аналога истечению зерна из отверстия целесообразно использовать процесс, характерный для жидкости [6]. Однако результаты проведенных нами экспериментальных иссле-

дований свидетельствуют о том, что при перемещении очесанного вороха по наклонной поверхности решетчатого днища 1 скребком 2 транспортера 3 указанная теоретическая гипотеза не позволяет получить приемлемый результат, поскольку слишком велики различия между экспериментальными и теоретическими значениями объема зерна, проходящего за единицу времени через соответствующее отверстие 4 (рис. 1).

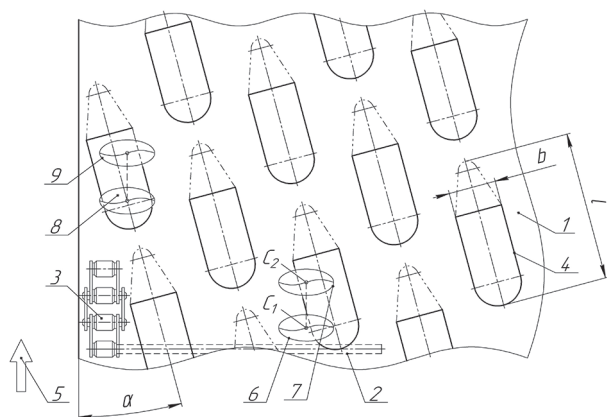


Рис. 1. Сепарация зерна через решетчатое днище наклонной камеры

Альтернативная гипотеза предполагала, что интенсификации процесса сепарации зерен должен способствовать наклон кромки продолговатого отверстия на угол α по отношению к направлению перемещения 5 скребка 1. Вследствие этого зерно 6, центр тяжести C_1 которого изначально располагается за пределами соответствующего отверстия, при перемещении вперед (поз. 7) должно терять устойчивость и опрокидываться вниз через его боковую кромку [7]. Для зерен 8, изначально оказавшихся над соответствующими отверстиями, была принята гипотеза их падения как свободных тел, брошенных под углом к горизонту. То есть были рассмотрены два варианта прохождения зерна сквозь отверстие, для которых были получены дифференциальные уравнения движения, в результате решения которых определена минимальная длина отверстия, обеспечивающая проход через него свободного зерна [8, 9].

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что принятые изначально теоретические гипотезы адекватно отражают характер процесса только в случае перемещения одиночных зерен. С учетом взаимодействия компонентов вороха и многослой-

ности его объема, перемещаемого скребком 1, оптимальная длина отверстия, определенная экспериментально, оказалась в два раза больше, чем теоретически предсказанный минимум. В связи с этим была сформулирована еще одна гипотеза, которая позволяет наиболее убедительно объяснить результаты эксперимента. Она предполагает, что происходит истечение в отверстие слоев зерна по плоскостям, наклон которых к горизонту близок к углу естественного откоса вороха. При этом каждый сползающий вниз слой зерна должен двигаться с ускорением. То есть путь l , преодолеваемый соответствующим слоем зерна, может быть определен как

$$l = \frac{gt^2}{2} \sin \varphi, \quad (1),$$

где φ – угол естественного откоса вороха.

Рассчитанные по формуле (1) результаты отличались от экспериментальных всего на 5 %, что свидетельствует о высокой степени адекватности последней гипотезы.

Таким образом, возникла необходимость оценить приоритетность двух гипотез: является ли ускоренное движение сползающих по наклонным плоскостям слоев вороха более значимым для интенсификации сепарации процессом, чем опрокидывание зерен через боковые кромки отверстий в результате их наклона на угол α ? Для получения однозначного ответа на указанный вопрос был спланирован и осуществлен соответствующий эксперимент.

Методика исследований

Для исследования процесса предварительной сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха была разработана экспериментальная установка, имитирующая работу скребкового плавающего транспортера наклонной камеры зерноуборочного комбайна (рис. 2). Она состоит из корпуса 1, скребкового транспортера 2, решетчатого днища 3 и емкости 4 для сбора свободного зерна 5. Привод установки осуществлялся от электродвигателя 6 посредством цепной передачи 7. Регулировка скорости транспортера выполнялась при помощи частотного преобразователя 8 «Веспер» Е2-8300.

Исследования производились на пшенице сорта «Московская 56». Влажность зерна составляла порядка 12 % (определялась весовым методом в межкафедральной лаборатории Брянского ГАУ). Скорость движения транспор-

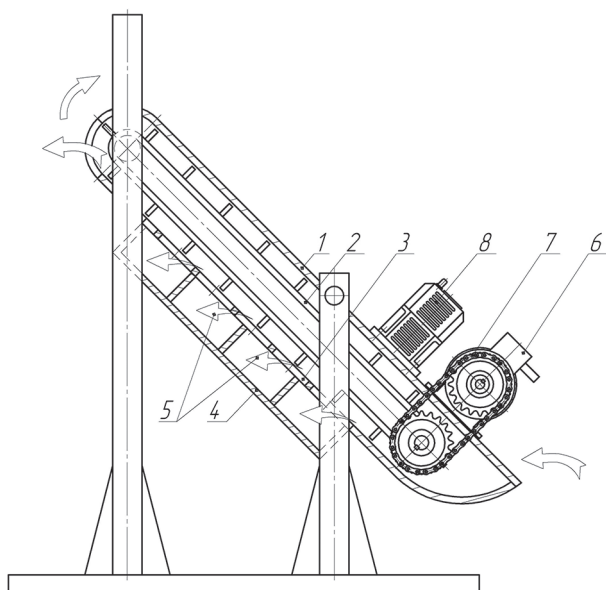


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

тера – 3 м/с – и угол его наклона к горизонту – 45° – соответствовали аналогичным параметрам работы для большинства современных зерноуборочных комбайнов [10, 11].

Угол наклона α отверстия решетчатого днища имел семь уровней варьирования в пределах $0-90^\circ$. Подача очесанного зернового вороха составляла порядка 10 кг/с при содержании в нем 80 % свободного зерна. Длина съемного решетчатого днища равнялась 0,95 м, а ее прямоугольные отверстия имели размеры 160×8 мм.

В качестве выходного параметра было принято количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища экспериментальной установки. Для исключения влияния на выходной параметр суммарная площадь «живого сечения» отверстий решетчатого днища во всех сериях эксперимента была принята одинаковой. Каждый вариант опыта проведен с десятикратной повторностью. Таким образом, всего было учтено и обработано 70 опытов.

Результаты исследований и их обсуждение

Данные эксперимента были обработаны при помощи программы Excel. По ним построен график (рис. 3), характеризующий зависимость количества свободного зерна, прошедшего сквозь решетчатое днище от угла наклона отверстий. Наиболее адекватной моделью (с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,994$) для него является полиномиальная кривая второго порядка. Уравнение регрессии имеет вид:

$$C = 0,0081 \cdot x^2 - 1,2328 \cdot x + 68,277, \quad (2)$$

где C – количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища, %; x – угол наклона отверстий, град.

Полученная зависимость свидетельствует о том, что по мере увеличения угла наклона количество свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища имеет тенденцию к уменьшению, а количество сошедшего с него зерна, наоборот, – к возрастанию. При этом максимальная сепарация свободного зерна 68,7 % соответствует углу наклона отверстий, равному 0° . Разница между максимальным и минимальным значением количества свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия решетчатого днища, превышает 3 раза.

Для исследования характера процесса сепарации свободного зерна из очесанного зернового вороха по длине решетчатого днища производилась регистрация его количества на четырех контрольных участках (рис. 2). При этом за стопроцентное количество свободного зерна принято начало проведения эксперимента на момент его поступления в корпус установки. Расчет количества свободного зерна, поступившего на второй контрольный участок (81 %), определен разницей между предыдущим значением (100 %) и количеством свободного зерна, прошедшего сквозь отверстия на первом контрольном участке (19 %) (рис. 4).

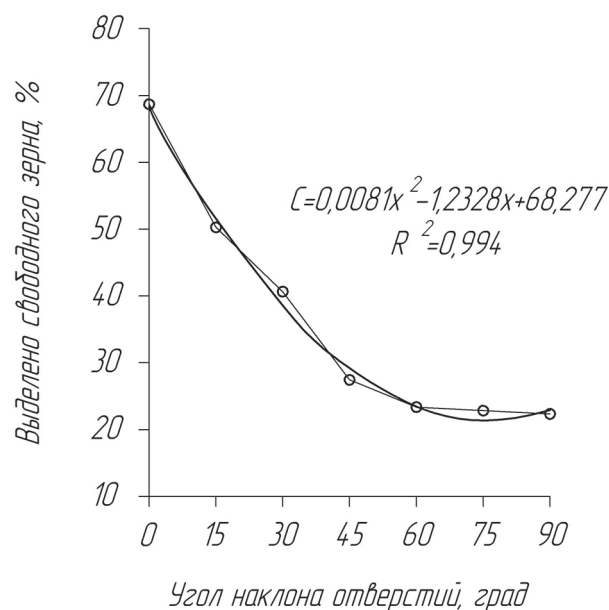


Рис. 3. Влияние угла наклона отверстий на количество свободного зерна, прошедшего сквозь решетчатое днище

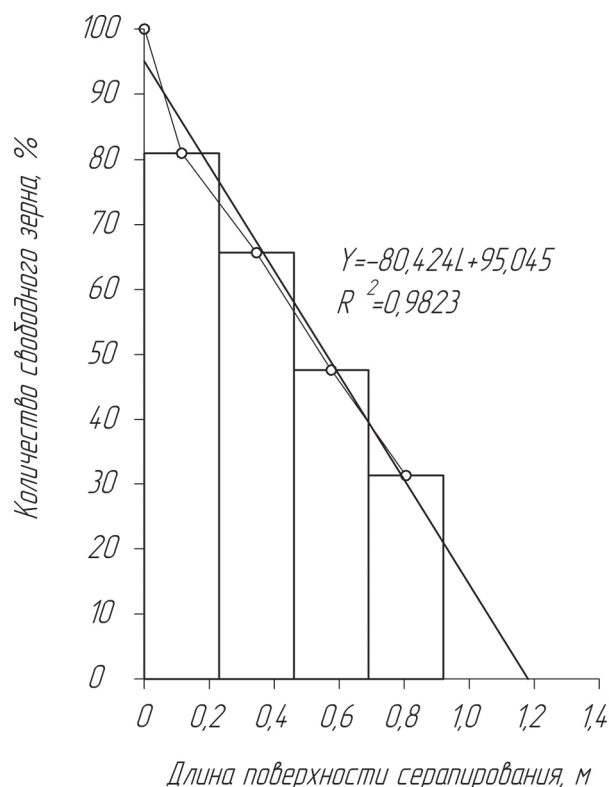


Рис. 4. Убывание свободного зерна из очесанного зернового вороха в зависимости от длины поверхности сепарирования

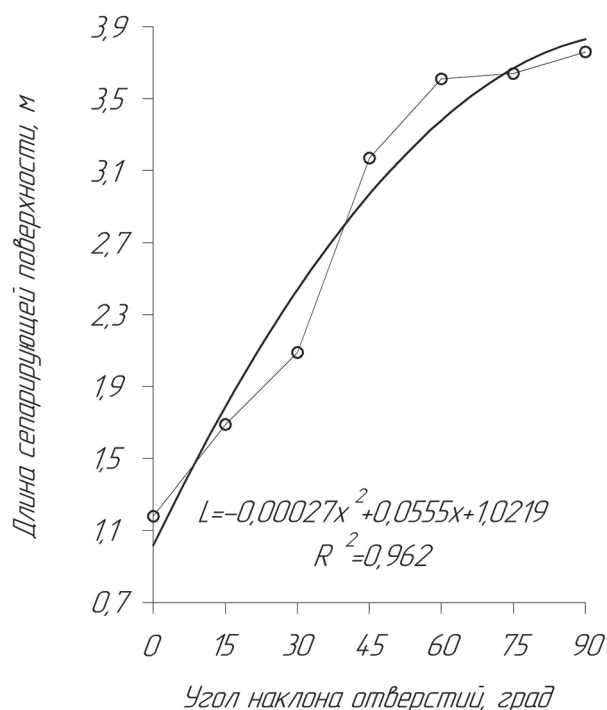


Рис. 5. Зависимость длины сепарирующей поверхности экспериментальной установки от угла наклона отверстий решетчатого днища

Аналогичным образом были получены и остальные значения (65,7; 47,64 и 31,3 %, соответственно).

Оценка убывания свободного зерна из очесанного зернового вороха по длине поверхности сепарирования (рис. 4) свидетельствует о наличии резерва для повышения степени сепарации. С высокой степенью вероятности ($R^2 = 0,9823$) линии тренда прямолинейна и имеет вид:

$$Y = -80,424 \cdot L + 95,045, \quad (3)$$

где Y – текущий остаток зерна в ворохе, в процентах от ее исходной массы, имевшейся в начале процесса сепарации; L – длина сепарирующей поверхности, м.

Экстраполяция графика функции показывает, что длина решетчатого днища, обеспечивающая полное выделение свободного зерна из очесанного зернового вороха, должна быть не менее 1,18 м.

По аналогичной методике были получены и остальные значения длины поверхности сепарирования, достаточной для прохождения всего зернового вороха, при различных углах наклона отверстий решетчатого днища (15, 30, 45, 60, 75 и 90 град.). По ним получена зависимость длины сепарирующей поверхности экспериментальной установки от угла наклона отверстий (рис. 5). Уравнение регрессии ($R^2 = 0,962$) имеет вид:

$$L = -0,00027 \cdot x^2 + 0,0555 \cdot x + 1,0219, \quad (4)$$

где L – длина сепарирующей поверхности, м; x – угол наклона отверстий, град.

Представленный график (рис. 5) свидетельствует о том, что по мере увеличения угла наклона боковых кромок отверстий минимально необходимая длина решетчатого днища возрастает.

Таким образом, оптимальным углом наклона отверстий, обеспечивающим минимальную длину решетчатого днища 1,18 м, является 0° . В таком положении полностью исключается вероятность поступления свободного зерна в молотильную камеру зерноуборочного комбайна и его дробление рабочими органами молотилки. Такое техническое решение может быть реализовано, например, в наклонной камере зерноуборочного комбайна КЗС-1218 «Полесье GS-12», имеющей длину порядка 1,3 м.

Заключение

Полученный результат свидетельствует о том, что гипотеза об ускоренном движении слоев зернового вороха (скольжении по плоскостям, угол наклона которых близок к углу естественного откоса зерна) сквозь продолговатые отверстия решетчатого днища наклонной камеры адекватно отражает характер процесса. Если бы действовала гипотеза об истечении зерна с постоянной (или уменьшающейся) скоростью, в связи с падением напора (по аналогии с жидкостью), то существенной разницы между интенсивностью сепарации при углах 0 и 90° быть не должно, поскольку суммарное живое сечение отверстий остается неизменным.

Согласно принятой гипотезе, разница объясняется следующим образом. Длину отверстия в 160 мм скребок преодолевает за время $t_1 = 0,053$ с. За этот промежуток времени все слои зерна должны переместиться по соответствующим наклонным плоскостям вниз на величину $l_1 = 8,49$ мм (1). Если же отверстия будут сориентированы под углом 90° к исходному варианту, то за тот же период времени (t_1) скребок пересекает десять отверстий шириной по 8 мм и десять перемычек между ними. Если принять, что при попадании сползающего слоя зерна на перемычку между отверстиями его скорость практически полностью гасится, то на очередном отверстии процесс ускорения наклонного движения начинается с нуля.

Таким образом, в альтернативном варианте за время t_1 слои зерна (при условии их полной остановки на каждой из перемычек) успевают переместиться вниз только на 0,2 мм. То есть теоретически сепарация, по сути, невозможна. В эксперименте (рис. 3), тем не менее, сквозь отверстия проходит 30...35 % зерна от максимума, достигнутого при угле $\alpha = 0^\circ$. Это можно объяснить тем, что отдельные зерна нижнего слоя оказываются сориентированы так, что происходит их зацепление за края отверстия и остановка с проходом над ними нижней кромки скребка. То есть, в связи с наличием зазоров между решетчатым днищем и скребком, процесс сепарации (частично) принимает качественно иной характер.

Тем не менее, можно сделать однозначный вывод о том, что для обеспечения наиболее интенсивной сепарации очесанного вороха на

решетчатом днище наклонной камеры боковые кромки его отверстий должны быть сориентированы по направлению перемещения скребка.

Литература

1. Жалнин Э.В. Технические инновации в сельскохозяйственном производстве и ресурсосберегающий эффект // АгроСнабФорум. 2017. № 3 (151). С. 14.
2. Кравченко Н.П. Обоснование приоритетных инноваций в растениеводстве и оценка их эффективности: автореф. дис. ... док. экон. наук. Майкоп, 2011. 46 с.
3. Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Алакин В.М., Становов С.Н. Исследование параметров очесанного зернового вороха // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 1. С. 7–9.
4. Шабанов Н.П. Разработка и обоснование устройства для сепарации очесанного зернового вороха в наклонной камере зерноуборочного комбайна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Симферополь, 1997. 26 с.
5. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Наклонная камера зерноуборочного комбайна: патент на изобретение № 2577892, Российская Федерация; опубл. 20.03.2016. Бюл. № 8.
6. Ахматов А.А., Оробинский В.И., Шацкий В.П., Солнцев В.Н. К обоснованию истечения зерновых смесей в питающем устройстве // Вестник Воронежского ГАУ. 2016. Вып. 4 (51). С. 114–120.
7. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Наклонная камера зерноуборочного комбайна: патент на изобретение № 2566015, Российская Федерация; опубл. 20.10.2015. Бюл. № 29.
8. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Предварительная сепарация очесанного зернового вороха в наклонной камере // Агропромышленный комплекс на рубеже веков: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию агроинженерного факультета. Ч. 1. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ имени Петра I», 2015. С. 165–170.
9. Ожерельев В.Н., Никитин В.В., Комогорцев В.Ф. Наклонная камера зерноуборочного комбайна // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3. С. 65–70.
10. Халанский В.М., Горбачев И.В. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС, 2003. 624 с.
11. Ожерельев В.Н., Никитин В.В. Зерноуборочные комбайны: монография. Брянск: Изд-во Брянского ГАУ, 2016. 252 с.

References

1. Zhalnin E.V. Technical innovations in agricultural production and resource-saving effect. *AgroSnaB-Forum*. 2017. No. 3 (151), pp. 14 (in Russ.).
2. Kravchenko N.P. Obosnovanie prioritetnyh innovacij v rastenievodstve i ocenka ih jeffektivnosti: avtoref. diss. ... dok. jekon. nauk [Justification of the priority of innovation in crop and estimation of their efficiency: abstract. diss. ... dock. ekon. sciences]. Maikop, 2011. 46 p.
3. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., Alakin V.M., Stanovov S.N. Study of parameters oceanog grain heap. *Tehnika v sel'skom hozjajstve*. 2013. No. 1, pp. 7–9 (in Russ.).
4. Justification of the priority of innovation in crop and estimation of their efficiency
5. Shabanov N. P. Razrabotka i obosnovanie ustroystva dlya separatsii ochesannogo zernovogo vorokha v naklonnoy kamere zernouborochnogo kombayna: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk [Development and justification of the device for the separation of the combed grain heap in the inclined chamber of the combine harvester: author. diss. ... candidate. tekhn. sciences]. Simferopol, 1997. 26 p.
6. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Naklonnaya kamera zernouborochnogo kombayna [Inclined camera combine harvester]: patent na izobretenie No 2577892, Rossiyskaya Fereratsiya. Opublikovano 20.03.2016. Byul. No 8.
7. Akhmatov, A. A., Orobinsky V. I. Shats'kyi, V. P., Solntsev V. N. Rationale of the expiration of the grain mixtures in the supply device. *Vestnik Voronezhskogo GAU*. 2016. No. 4 (51), pp. 114–120 (in Russ.).
8. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Naklonnaya kamera zernouborochnogo kombayna [Inclined camera combine harvester]: patent na izobretenie No 2566015, Rossiyskaya Fereratsiya. Opublikovano 20.10.2015. Byul. No 29.
9. Nikitin V.V., Ozhereliev V.N. The effect of the size of lattice holes of the bottom of the inclined chamber at its separating ability // *Rol' agrarnoy nauki v razvitii APK RF: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 105-letiyu FGBOU VO Voronezhskiy GAU* [The role of agrarian science in the development of agriculture: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 105th anniversary of the Voronezh GAU]. P. I. Voronezh: FSBEI HE Voronezh state agricultural university, 2015. pp. 8–12 (in Russ.).
10. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V., Komogortsev V.F. Inclined camera combine harvester. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016. No 3, pp. 65–70 (in Russ.).
11. Khalanskiy V. M., Gorbachev I.V. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny* [Agricultural vehicles]. Moscow, KolosS Publ., 2003, 624 p.
12. Ozhereliev V.N., Nikitin V.V. Zernouborochnye kombajny [Combine harvester]. Bryansk: publishing house of Bryansk state agricultural university, 2016, 252 p.