

**Механизация**

УДК 631.17:633.1

DOI:10.31857/S2500-2627-2020-1-72-75

**АДАПТАЦИЯ УСТРОЙСТВ ОБМОЛОТА  
К ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ УБИРАЕМЫХ КУЛЬТУР****Ю.Ф. Лачуга<sup>1</sup>**, академик РАН,  
**А.И. Бурьянов<sup>2</sup>, В.И. Пахомов<sup>2</sup>**, доктора технических наук, **И.В. Червяков<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Российская академия наук,  
119134, Москва, Ленинский проспект, 32 а<sup>2</sup>Аграрный научный центр «Донской»,  
347740, Ростовская область, Зерноград, Научный городок, 3  
E-mail: vniizk30@mail.ru

*Целью исследований было обоснование направлений снижения травмирования семян при уборке зерновых культур. Изучали молотильно-сепарирующие устройства зерноуборочных комбайнов; физико-механические характеристики растений на примере пшеницы; параметры и режимы молотильных устройств, обеспечивающие снижение травмирования зерна. Выявлено, что травмирование зерна есть следствие несоответствия параметров и режимов работы молотильно-сепарирующих устройств комбайнов характеристикам убираемых растений. Для обмолота зерна без травмирования ударный импульс должен обеспечить разрушение его связи с соцветием, но быть меньше усилия, ограничиваемого его упругими свойствами (пределом упругости). Зависимость среднего значения силы связи зерна с колосом от его температуры и влажности, температуры воздуха и продолжительности пребывания на корню с момента достижения полной спелости можно описать уравнением регрессии с коэффициентом корреляции 0,89 и коэффициентом детерминации 0,79. Это позволяет применить данное уравнение для оперативного управления частотой вращения барабана. Для оперативного управления подачей убираемой культуры в молотильное устройство комбайна на полях, урожайность на отдельных участках которых существенно различается, предложены методы, разрабатываемые для внедрения точного земледелия. Для получения информации об увеличении диапазона между силой связи и упругими свойствами зерна и определения зависимости силы связи зерна с колосом от свойств растений необходимы исследования свойств как применяемых в производстве сортов культур, так и новых сортов.*

**ADAPTATION OF DEVICES OF HEAP SEPARATION TO PHYSICAL  
AND MECHANICAL FEATURES OF CLEANED CULTURES****Lachuga Yu.F.<sup>1</sup>, Bur'yanov A.I.<sup>2</sup>, Pakhomov V.I.<sup>2</sup>, Chervyakov I.V.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Russian Academy of Sciences,  
119134, Moskva, Leninskiy prospect, 32 a<sup>2</sup>Agricultural research center "Donskoy",  
347740, Rostovskaya oblast', Zernograd, Nauchnyj gorodok, 3  
E-mail: vniizk30@mail.ru

*Purpose of researches: justification of the directions of decrease in trauma-tizing seeds when cleaning grain crops. Objects of researches: the threshing and separating units of combine harvesters, physical and mechanical features of plants on the example of wheat, the parameters and the modes the threshing and separating units providing decrease in traumatizing grain. It is revealed that traumatizing grain is a consequence of discrepancy of parameters and operating modes of the threshing and separating units of combines, to characteristics of the removed plants. It is established for the grain thresh without traumatizing the shock impulse has to provide destruction of its communication with an inflorescence, but to be less effort, limited by its elastic properties (an elasticity limit). The dependence of average value of force of communication of grain with an ear on its temperature and humidity, air temperature and duration of stay on a root from the moment of achievement of full ripeness is described by the regression equation with coefficient of correlation 0.89 and coefficient of determination 0.79. It allows to apply it to operational management of the frequency of rotation of the drum. For operational management of giving of the removed culture in the threshing and separating units of the combine on fields which with crop capacity on certain sites, significantly differs it is offered to use the methods developed for introduction of exact agriculture. Obtaining information on increase in range between force of communication and elastic properties of grain and determination of dependence of force of communication of grain with an ear on properties of plants, requires carrying out researches of properties as the grades of cultures, and new grades.*

**Ключевые слова:** комбайны, обмолот, потери, травмирование, удар, трение, зерно, прочностные характеристики, оперативное управление

**Key words:** combine harvester, heap separation, loss, shocks, friction, grain, strength characteristics, operational management

В соответствии с требованиями к зерноуборочным комбайнам, предусмотренными ГОСТ 28301-2015 «Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний» [1], а также рекомендациями по их эксплуатации, для достижения качественного выполнения технологического процесса величина потерь за комбайном и жаткой должна быть не более 2%, дробление зерна – не более 2%. Ограничение на степень травмирования зерна не предусмотрено ни инструкциями по эксплуатации ком-

байнов, ни ГОСТ. Однако при работе серийно выпускаемых зерноуборочных комбайнов на уборке зерновых культур, даже на рекомендуемых режимах, происходят механические потери зерна, его дробление выше допустимых значений, ограниченных ГОСТ [1], и травмирование до 40% [2-4].

По данным Оренбургского ГАУ, поступающий от комбайнов ворох содержит до 40-60% травмированного зерна. В процессе послеуборочной обработки травми-

руется еще 35-40% и в результате лишь незначительное количество зерна остается не поврежденным [2]. На уборке озимой мягкой пшеницы сорта Ермак степень повреждения зерна различными типами комбайнов составила: «Дон 1500» – 29%, «Винтерштайгер» – 29%, «Джон Дир» – 10%, «Кейс» – 12% [3]. Травмирование зерна приводит также к резкому снижению его всхожести. Так, по данным работ [3, 4], полевая всхожесть травмированных при обмолоте семян пшеницы снижалась до 82%. В процессе уборки за счет механических повреждений зерна страна ежегодно недобирает около 15 млн т зерна, что наносит ущерб на сумму свыше 100 млрд руб. [5]. На поверхности травмированного зерна образуются микротрещины, в которые проникают грибы и вирусы. В процессе хранения в зерне накапливаются продукты жизнедеятельности грибов, афла- и микотоксины, являющиеся сильнодействующими ядами [6-8]. Их наличие в зерне жестко ограничивается государственным и международным регламентом. В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 015/2011 в зерне, поставляемом на продовольственные нужды, содержание Афлатоксина В1 не должно превышать 0,005 мг/кг продукта, а на кормовые цели – 0,02 мг/кг. Поэтому необходим поиск путей, позволяющих резко снизить степень травмирования зерна и его потери.

**Методика.** Качество выполнения технологического процесса зерноуборочными комбайнами при соблюдении рекомендуемых режимов работы зависит от типа установленного на нем молотильно-сепарирующего устройства (МСУ), физико-механических характеристик убираемых культур и ряда внешних условий.

Подробный анализ МСУ представлен в работах [5, 9]. В конструкции серийно выпускаемых комбайнов реализуют три технологические схемы устройств: однобарабанные, двухбарабанные и роторные. Режим работы таких МСУ определяется скоростью движения агрегата, которая зависит от урожайности убираемой культуры, ширины захвата жатки, а также частотой вращения обмолачивающего устройства (барабана, ротора) и, следовательно, их окружной скоростью, обуславливающей величину ударного импульса, обеспечивающего наряду с трением материала о деку выделение зерна.

В однобарабанном МСУ реализован однофазный обмолот, при котором рекомендуемая частота вращения барабана и, следовательно, окружная скорость, составляет 29,3-33,5 м/с. Однофазный обмолот не соответствует физико-механическим и биологическим свойствам обрабатываемого продукта, в частности, прочности связи зерна с колосом. В двухбарабанном МСУ разность между скоростью хлебной массы на выходе из наклонной камеры и скоростью вращения первого барабана составляет ~ 20 м/с, а между окружной скоростью второго барабана и скоростью вращения материала, выходящего с первого, – 12-17 м/с. Вследствие этого режим более мягкий, чем в комбайнах с однобарабанным молотильным устройством. В комбайнах с роторным МСУ обмолот осуществляется в результате трения и центробежного воздействия ротора на хлебную массу, перемещающуюся параллельно его оси [3].

В роторном МСУ ударное воздействие на хлебную массу минимальное. Это достигается за счет ее ускорения на выходе из наклонной камеры, изменения направления движения в сторону вращения ротора, увеличения зазора и длины пути, проходимого обмолачиваемой массой. Это свойство МСУ роторного типа и двухфазный способ обмолота, реализуемый в двухбара-

банном МСУ, обеспечивают выделение зерен, имеющих различную силу связи с колосом, и позволяют снизить степень повреждения зерна до 10-12 % [3].

Анализ исследований, выполненных рядом авторов, показывает, что основная причина высокого уровня травмирования зерна зерновых культур при уборке зерноуборочными комбайнами – несоответствие их параметров и режимов работы характеристикам убираемых растений – силе связи зерна с колосом, ее зависимости от сортовых особенностей [10], неравномерности распределения по длине колоса [11], прочностным свойствам зерна [12, 13], изменению урожайности на отдельных участках в пределах убираемого массива [14]. Рассмотрим последствия неполного учета перечисленных выше свойств и характеристик растений на примере пшеницы разных сортов при выборе режимов работы МСУ в соответствии с рекомендациями, изложенными в инструкциях по эксплуатации.

**Результаты и обсуждение.** При выборе режима работы МСУ комбайна на поле, засеянном конкретным сортом пшеницы, из рекомендуемых разработчиками диапазонов частоты вращения и соответствующих им окружных скоростей: 28-32 м/с для роторного и 29,3-33,5 м/с для однобарабанного оператор должен принять одно значение окружной скорости. Между тем, по данным работы [10], выделение зерна из колоса пшеницы в основном зависит от прочности прикрепления колосовых чешуй к стержню, и по варьированию средних значений усилий, необходимых для разрушения этой связи и выделения зерна, все сорта делят на 3 основные группы: осыпающиеся, выдерживающие от 2,3 до 4,4 Н; не осыпающиеся (5,2 -7,3 Н); с тугим обмолотом (ригидные) (12,8 Н и больше). Из этих данных следует, что выбор режима при отсутствии информации о силе связи зерна с колосом убираемого сорта пшеницы приводит к неблагоприятным результатам для всех трех типов МСУ: травмированию зерна, его недомолоту или сочетанию факторов.

Значительное различие прочности связи зерна с колосом по его длине, приведенное в работе [11], позволяет сделать вывод о том, что для зерен, расположенных в средней части колоса, рекомендуемая скорость для МСУ однобарабанного типа будет избыточной и вызовет их травмирование. При двухфазном обмолоте и для МСУ роторного типа неравномерность распределения силы связи зерна с колосом по его длине менее актуальна. Однако величина этого показателя изменится не только по длине колоса. Исследования, выполненные в АНЦ «Донской» [12], показали, что связь зерна с колосом озимой пшеницы и усилие его отрыва от колоса зависят от сортовых особенностей легко обмолачиваемого сорта Лучезар и ригидного сорта Адмирал более чем в 2 раза, температуры и влажности зерна – в 1,5-2,0 раза. Воздействуют также температура окружающей среды, продолжительность пребывания растений на корню с момента достижения полной спелости.

Следовательно, для поддержания оптимального режима обмолота каждым из известных типов МСУ необходимо обеспечить изменение развиваемой ими ударной силы в соответствии с изменяющейся силой связи зерна с колосом. Полученные [12] средние значения усилий отрыва зерна от колоса хорошо согласуются с данными работы [10] и существенно дополняют знания об их максимальных значениях. Так, для пшеницы сорта Адмирал при средних значениях усилий отрыва в интервале 4-7 Н доля измеренных в опытах их максимальных значений в интервале 10-15 Н соста-

вила 6,5%. Для гарантированного вымолота зерна рассматриваемыми типами МСУ требуется, чтобы ударное усилие, развиваемое ими, было больше силы связи зерна с колосом. Поэтому при выборе частоты вращения молотильного устройства для исключения недомолота следует учитывать максимальные значения силы связи зерна с колосом, но для устранения его травмирования необходимо, чтобы развиваемое ударное усилие было меньше усилия, ограничиваемого упругими свойствами (пределом упругости) выделяемого зерна.

Деформация зерна, которая может быть упругой, остаточной (пластической) и вязкопластической главным образом зависит от влажности. При низкой влажности преобладает упругая деформация зерна, почти нет остаточной и вязкопластической. По данным работы [13], у пшеницы сорта Купава, возделываемого в Кашкадарьинской области Узбекистана, высокопластическая деформация зерна увеличивалась по мере повышения влажности с 8,6 до 10,1%, при этом предел прочности снижался с 7,0 до 3,62 МПа, при влажности 10,9-16,0% – с 3,1 до 2,7 МПа. Прочностные свойства зерна зависят от его влажности, но, как и сила связи с колосом, – от сорта культуры. По данным работы [14], при влажности зерна мягкой пшеницы сорта Дар Зернограда 11% на контактных поверхностях металл-металл в положении бочек-бочек предельно допустимое усилие, исключающее травмирование зерна, составило 110,93 Н, в таких же условиях у твердой пшеницы сорта Жемчужина Дона – 174,63 Н.

Сила связи зерна с колосом и предельно допустимое усилие, ограничиваемое упругими свойствами (пределом упругости) выделяемого зерна – характеристики растений и семян каждого конкретного сорта. Результаты исследований других авторов подтверждают выводы, сделанные на основе данных наших опытов по изучению свойств пшеницы сортов Лучезар и Адмирал: сила связи зерна с колосом зависит от температуры и влажности зерна, температуры воздуха, продолжительности пребывания растений на корню с момента достижения полной спелости и может быть представлена в виде уравнения регрессии. Теснота связи между изучаемой переменной и независимыми факторами оценивается коэффициентом множественной корреляции 0,89 и коэффициентом детерминации 0,79. Столь тесная связь между изучаемыми факторами послужила основанием для ее использования в качестве базовой для создания метода оперативного управления частотой вращения барабана молотильных устройств комбайна. Для реализации предлагаемого метода необходимо иметь уравнения регрессии силы связи зерна с соцветием для всех видов и сортов убираемых культур. Такую информацию предпочтительно получать на стадии создания сорта, воздействуя на прочностные характеристики зерна и соцветия, в том числе используя генную инженерию.

Получение оперативной информации в реальном времени о влажности обмолоченного зерна, его температуре в бункере или транспортирующих устройствах комбайна, температуре окружающей среды может быть осуществлено установкой на комбайне специальных датчиков, данные с которых считываются и передаются на компьютер комбайна. Вычисленное значение силы связи зерна с колосом по специальной программе на основе известной теории о взаимодействии соударяющихся тел пересчитывают в ударное усилие.

Другой источник нарушения режима работы МСУ комбайна при работе в пределах убираемого массива

– неравномерность распределения густоты растений и урожайности убираемой культуры. Данные, приведенные в работе [15], свидетельствуют, что пробы растений озимой пшеницы, взятые в 30 точках поля, в основном принадлежат к разным генеральным совоккупностям, а неравномерность урожайности на его отдельных участках может составлять до 35-40% и более, что также создает условия для повышенного травмирования зерна. Для улучшения качества выполнения технологического процесса предложено снабжать комбайн устройством управления процессом обмолота путем изменения фактической подачи массы в соответствии с изменяемой по длине гона урожайностью убираемой культуры [15]. Для оперативного управления подачей убираемой культуры в молотильное устройство комбайна на полях, урожайность на отдельных участках которых существенно различается, предложено использовать методы, разрабатываемые для внедрения точного земледелия.

В перспективе особый интерес представляют предлагаемые технические решения, реализующие различные способы воздействия на обмолачиваемые растения. Например, в устройстве, предложенном в патенте [16], зерно из соцветий рекомендовано выделять раскачиванием растений в свободном зоре между вращающимися роторами, снабженными выступами и впадинами. Для изготовления рабочих органов МСУ такого типа предложено использовать материалы с меньшими значениями модуля упругости, чем у стали. Рабочая поверхность обмолачиваемого устройства с такими свойствами при ударе о нее зерна поглотит часть энергии, снизив тем самым вероятность его травмирования. Принципиально новое направление в создании МСУ – предложение использовать для обмолота соцветий не механический рабочий орган, а пневматическое воздействие в виде струй в вихревой трубе [17], пневматических ударов [18, 19], ультразвуковых колебаний [20].

Анализ предлагаемых способов и средств обмолота зерновых культур показал, что в их основу заложен принцип ударного воздействия на растение. Механизмы реализации ударного воздействия на растения в предлагаемых решениях практически сводятся в основном к «раскачиванию» колосьев механическими устройствами или прямым ударным воздействиям воздушных струй и ультразвуком. При этом снижается до минимума наиболее энергозатратный способ воздействия на соцветие трением. Эти особенности не влияют на силу связи зерна с колосом обмолачиваемой культуры, но потребуют изучения режимов формирования воздушных струй, определения области частот и интенсивности воздействия на соцветие для достижения величины ударного импульса, необходимого для выделения зерна из колоса. Очевидно, воздействуя определенным образом на составляющие этих способов обмолота, можно добиться снижения степени травмирования зерна.

## Литература

1. *Оробинский В.И., Баскаков И.В., Чернышев А.В. Снижение травмирования зерна при уборке – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2017. – 161 с.*
2. *Лачуга Ю.Ф., Пахомов В.И. Проблемы биобезопасности зерна и кормов // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сб. Материалы 7-й международной научно-прак-*

- тической конференции 25 февраля – 27 февраля 2014 г., Ростов-на-Дону. 17-я международная агропромышленная выставка «Интерагромаш-2014» – Ростов-на-Дону, 2014. – С. 12-14.
3. Fisher M.C., Hawkins N.J., Sanglard D., Gurr S.J. Worldwide emergence of resistance to antifungal drugs challenges human health and food security // *Science*. – 2018. – Vol. 360. – P. 739-742. DOI:10.1126/science.aar7999
  4. Brent K.J., Hollomon D.W. *Fungicide Resistance in Crop Pathogens: how can it be Managed*. – 2nd, revised edition. – Brussels, Belgium: FRAC Monograph. – 2007. – №1. – 60 p.
  5. Ионова Е.В., Скворцова Ю.Г. Травмирование семян озимой пшеницы при уборке и послеуборочной доработке // *Зерновое хозяйство России*. – 2010. – №1(7). – С.16–19.
  6. Мясин В.Н., Урюпин С.Г. Травмирование семян при послеуборочной обработке и пути его снижения // *Вестник ОГАУ*. – 2006. – №11. – С.73–75.
  7. ГОСТ 28301-2015. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний. Введ. 01.07.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 43 с.
  8. Скворцова Ю.Г., Ионова Е.В. Влияние травмирования семян озимой пшеницы на их посевные качества // *Аграрный вестник Урала*. – 2015. – №11(141). – С.16–19.
  9. Бурьянов А.И., Червяков И.В. Потери и травмирование зерна в процессе уборки и пути их снижения // *Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: Сб. науч. тр. XII-й Международ. науч.-практ. конференции в рамках XXII-го Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш-2019» (г. Ростов-на-Дону, ВЦ «ДонЭкспоЦентр» – ДГТУ, 27 февраля – 1 марта 2019 г.)*. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 453-457. DOI: 10.23947/interagro.2019.6.453-457.
  10. Ганеев В.А. Устойчивость к осыпанию [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fitonsemena.ru/page/page155.html>
  11. Липовский М.И. Развитие способов обмолота зерновых культур // *Технологии и технические средства механизации производства продукции растениеводства и животноводства в Северо-Западной зоне России. Сб. трудов СЗНИИМЭСХ, 2002. – Вып.73. – С. 111-118.*
  12. Бурьянов А.И., Червяков И.В., Колинко А.А., Пахомов В.И., Ионова Е.В., Хлыстунов В.Ф. Методы и результаты определения естественной силы связи зерна с колосом в период созревания и полной спелости // *Зерновое хозяйство России*. – 2018. – №6. – С. 21-25. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-21-25.
  13. Хусанов И., Бабаев С., Равианов С., Раджабова В. Влияние влажности на предел прочности зерна пшеницы некоторых сортов // *Хлебопродукты*. – 2011. – №2. – С. 54-55.
  14. Бутенко А.Ф., Максименко В.А. Анализ травмирования семян зерновых культур // *Исследование и разработка эффективности технологий и технических средств для животноводства: Сб. науч. трудов/ ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2004. – С. 75-83*
  15. Бурьянов А.И., Бурьянов М.А., Костыленко О.А. Исследование морфологических и физико-механических свойств растений озимой пшеницы, определяющих параметры и режимы работы уборочных машин // *Ресурсосберегающие технологии: возделывание и переработка сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2009. – С. 209-215.*
  16. Пат. №2275786 РФ, МПК А01F 12/18, А01F 11/04. Молотильно-сепарирующее устройство для обмолота легкоповреждаемых культур / А. М. Салдаев, В. В. Бородычев, С. Б. Адьев; Заявитель и патентообладатель: Салдаев. А.М., Бородычев В.В., Адьев С.Б. – №2004126838/12; заявл. 06.09.2004. Оpubл. 10.05.2006, Бюл. №13.
  17. А.С. № 1160986 СССР, МКИ А01F12/18. Способ обмолота колосьев и устройство для его осуществления: / В.А. Сафонов; Заявитель и патентообладатель: Харьковский ордена Ленина авиационный институт им. Н.Е. Жуковского. – № 3635933; заявл. 19.08.1983. Оpubл. 15.06.1985, Бюл. № 22. – 3с.: ил.
  18. А.С. № 16659 СССР, МКИ А01D91/04. Способ обмолота хлебной массы/ А.С. Тимошек (Центральный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Нечерноземной зоны СССР). – №46344649/15; заявл 09.01.1989. Оpubл. 30.07.1991, Бюл. № 28. – 3с.: ил.
  19. А.С. № 1410900 СССР, МКИ А01F7/00. Устройство для обмолота зерновых культур/ В.А. Воробьев, А.Е. Горин, А.И. Зелепукин, Н.В. Буробина (Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева) – № 4039629/30-15; заявл 19.03.1986. Оpubл. 23.07.1988, Бюл. № 27. – 3с.: ил.
  20. Пат. № 2551163 РФ, МПК А01F7/00. Устройство для обмолота колосовых культур/ Московский М.Н., Игнатенко И.В., Пахомов В.И., Ю.Ф. Лачуга; Заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВПО Донской ГТУ. – №2013111518/13; заявл. 14.03.2013. Оpubл. 20.09.2014, Бюл. № 26.

Поступила в редакцию 03.07.19  
 После доработки 20.08.19  
 Принята к публикации 10.09.19