

## ТИПЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ НОЖЕЙ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ-РАЗБРАСЫВАТЕЛЕЙ СОЛОМЫ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

Михаил Юрьевич Ягельский  
Сергей Александрович Родимцев

Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

Качество выполняемой технологической операции в значительной степени зависит от способности рабочих органов устройства обеспечить обработку материала с требуемыми параметрами, высокой производительностью и при минимальных затратах энергии. Современные технологии уборки предусматривают сохранение всей незерновой части урожая с целью создания условий для повышения плодородия почвы и увеличения урожайности последующих возделываемых сельскохозяйственных культур. При этом важная роль отводится измельчению и разбрасыванию соломы для заделки ее в качестве органического удобрения. Реализацию и качество выполнения данных технологических операций обеспечивают измельчители-разбрасыватели соломы, оснащенные ножевыми рабочими органами. Дальнейшее улучшение конструкции последних определяется актуальностью рассмотрения соломоизмельчителя-разбрасывателя как одного из основных объектов, реализующих принципы эффективных, низкочастотных и экологически безопасных технологий уборки урожая зерновых и других культур. Статья подготовлена по результатам обзора и анализа различных типов и конструкций активных и противорежущих (неподвижных) ножей соломоизмельчителей зерноуборочных комбайнов отечественного и зарубежного производства. Установлено, что типы измельчающих ножей определяются технологией их изготовления, способом крепления, видом и состоянием обрабатываемого материала, внешними действующими условиями, основными решаемыми задачами, требуемым качеством выполнения технологической операции, допустимыми затратами энергии. Результаты исследований позволили предложить основные пути дальнейшего совершенствования ножей, позволяющие увеличить эффективность их использования, повысить качество выполняемой технологической операции и снизить энергоемкость процесса. Наиболее значимые из них: увеличение угла между плоскостями бильной части и телом Г-образного в поперечном сечении ножа; выполнение лезвия противореза криволинейным; выполнение комбинированной режущей части активного рабочего органа, способной обеспечить «скользяще-пилящее» действие.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** измельчающий нож, противорежущий нож, зерноуборочный комбайн, измельчитель-разбрасыватель соломы, классификация измельчающих ножей, комбайновая уборка, незерновая часть урожая.

## TYPES AND CLASSIFICATION OF BLADES OF STRAW CHOPPER SPREADERS IN COMBINE HARVESTERS

Mikhail Yu. Yagelski  
Sergey A. Rodimtsev

Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin

The quality of technological operation being performed largely depends on the ability of working bodies of the operating device to ensure the material processing with the required parameters, high performance and minimum energy consumption. Modern harvesting technologies allow for the preservation of the entire mass of the crop and creation of conditions for improving the soil fertility and increasing the yield of subsequently cultivated crops. In these processes an important role is played by chopping and spreading the straw for its subsequent incorporation into an organic fertilizer. The implementation and quality of these technological operations are provided by straw chopper spreaders equipped with blade-type working bodies. Further improvement of their design is determined by the importance of considering the straw chopper spreader as one of the main objects that implement the principles of efficient low-cost environmentally friendly technologies of harvesting grain and other crops. In this

article the authors present the results of review and analysis of various types and designs of active and shearing (fixed) blades of straw choppers in combine harvesters manufactured in Russia and abroad. It has been found that the types of chopping blades are determined by the technology of their manufacturing, type of mounting, type and condition of the material being processed, external operating conditions, the major tasks to be solved, the required standard of performance of the technological operation, and possible energy consumption. The results of research allow recommending the main ways of further improvements for blades that can increase the efficiency of their use and the quality of performance of their technological operations and reduce the energy capacity of the process. The most important of them are the increase in the angle between the planes of the beating part and body of the blade with an L-shaped cross-section; making the shearing blade curvilinear; and making the combined cutting part of the active working body able to perform a «sliding & sawing» movement.

KEY WORDS: chopping blade, shearing blade, combine harvester, straw chopper spreader, classification of chopping blades, combine harvesting, non-grain portion of yield.

**В** настоящее время большинство стран с развитым сельскохозяйственным производством используют солому в качестве органического удобрения [20, 21, 22, 23]. Так, в США доля соломы в общем объеме применяемых органических удобрений превышает 53%. В Германии 45% полученной после уборки зерновых соломы заделывается в почву. Доля соломы в общем объеме органических удобрений в Германии под сахарной свеклой достигает 72%, под пшеницей – 71%, под озимым ячменем – 58%, тогда как в начале семидесятых годов этот показатель не превышал 25%. Во Франции почти 85-90% соломы запахивается на удобрение либо используется в животноводстве (с последующим внесением на поля соломисто-навозной массы) [6, 19]. В Англии из 13,435 млн тонн получаемой соломы 5,73 млн тонн используется для заделки в почву в качестве органического удобрения [24].

По данным ряда исследователей, заплата 5 т/га соломы повышает содержание гумуса на 0,04%, а удвоенная доза – на 0,09% [3, 26]. При этом выход кормовых единиц составляет 221,4 ц, а при добавлении 50 кг азота – 225,7 ц, превышая на 6,1 и 10,4 ц вариант использования полной дозы минеральных удобрений (N<sub>90</sub>P<sub>120</sub>K<sub>60</sub>).

Технологии использования соломы в качестве экологически безопасного удобрения известны давно. Неслучайно, что в рамках восьми основных стратегических направлений существенного энергосбережения при уборке зерновых культур уборке незерновой части урожая (НЧУ) по гибким технологическим схемам отводится особая роль. В разрабатываемых в настоящее время в России программах устойчивого развития на перспективу до 2020 года прогнозируется иметь 7 классов зерноуборочных комбайнов, пропускной способностью 1-14 кг/с, оснащенных, в том числе, измельчителями-разбрасывателями НЧУ с шириной разброса до 4-9 м [5].

Подробный обзор и тенденции развития измельчителей-разбрасывателей соломы зерноуборочных комбайнов нами уже приводились ранее [11, 18]. Однако, очевидно, что описание таких устройств не может быть полным без детального изучения основного рабочего элемента – ножа измельчающего ротора.

Ножи соломоизмельчителей зерноуборочных комбайнов предназначены для измельчения соломы, поступающей с соломотряса или непосредственно из молотильно-сепарирующего устройства, путем опорного и безопорного рубящего или скользящего ударного резания, при вращении ротора. Основной процесс резания осуществляется при взаимодействии материала с режущей парой – закрепленного на вращающемся роторе ножа и неподвижно закрепленного противорежущего элемента (рис. 1).

Конструкция, форма, способ крепления, материал ножей и технология их изготовления во многом определяют качество измельчения и распределения материала, затраты энергии на выполнение технологической операции, возможность снижения технологических простоев при эксплуатации комбайна и многое другое.



Рис. 1. Рабочие органы соломоизмельчителя зерноуборочного комбайна Acros 585 (Ростсельмаш)

Ножи соломоизмельчителей для зерноуборочных комбайнов (рис. 2) производятся из хромванадиевой стали с вольфрамкарбидным покрытием с различными (в том числе и нестандартными) размерами:

- длиной  $l$  – от 160 до 187 мм;
- шириной  $b$  – от 50 до 60 мм;
- толщиной  $\delta$  – от 3 до 5 мм;
- с диаметром  $d$  посадочного отверстия – от 18 до 25 мм.

Тонкие ножи применяются для измельчения сухих тонкостебельчатых материалов; с большей толщиной – при обработке соломы переувлажненных и толстостержневых культур.

Ассортимент ножей к соломоизмельчителям составляет более 50 позиций. По заказу могут изготавливаться ножи по оригинальным чертежам.

По назначению ножи разделяют на неподвижные (рис. 2, *у-ц*), используемые в качестве противорежущих сегментов, и активные – вращающиеся вместе с ротором измельчителя.

Способ выполнения технологической операции определяется типом установки ножей. Они могут устанавливаться на роторе неподвижно (жестко закрепленные) (рис. 2, *и, к*) или с возможностью качания (шарнирные или маятниковые). Как правило, если нож устанавливается без возможности качания, то в нем предусматривается дополнительное круглое или фигурное отверстие. Шарнирно устанавливаемые ножи также называют молотками.

На продольных сторонах ножи имеют заточенные режущие кромки, проходящие приблизительно на  $\frac{3}{4}$  длины ножа (рис. 2, *а*) или на его полную длину (рис. 2, *д*). Производителями John Deere и другими разработчиками предлагаются ножи с заточкой торцевой части (рис. 2, *з, л*). Такое решение позволяет достичь большей эффективности работы ножа, хотя и усложняет технологию его изготовления. Угол заточки режущей кромки, как правило, составляет  $25^\circ$ . Односторонняя симметричная (рис. 2, *в*) и асимметричная (рис. 2, *г*) заточки используются для ножей меньшей толщины. Заточка с двух сторон (рис. 2, *б*) применяется для ножей с толщиной полотна от 4 мм и более. Необходимо учитывать факт ухудшения процесса резания ножами с двухсторонней заточкой, а также усложнение технологии перезаточки ножей.

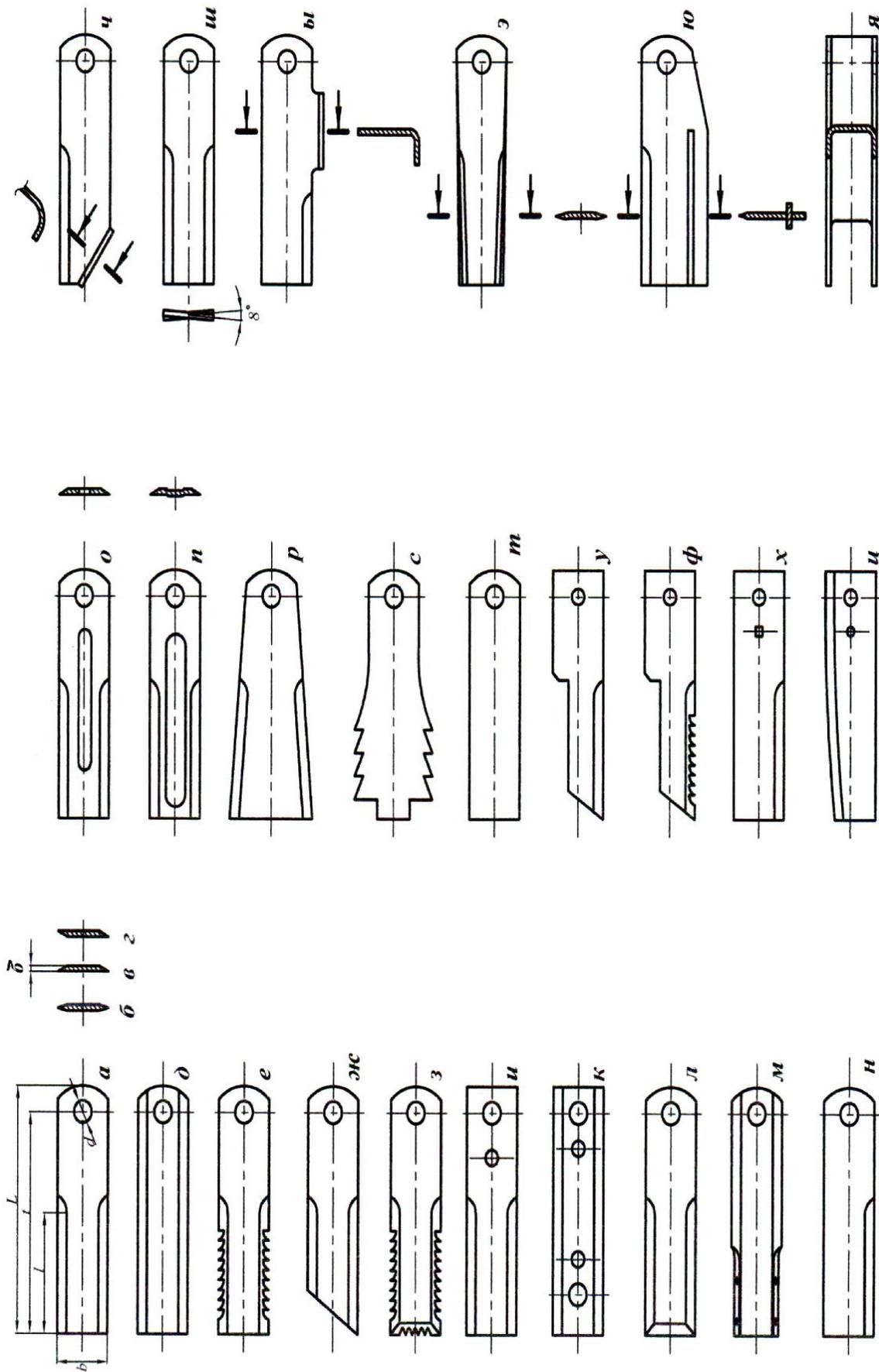


Рис. 2. Типы ножей измельчителей-разбрасывателей зерноуборочных комбайнов

Большее распространение находят плоские ножи, имеющие режущую часть с одной (рис. 2, *н*) или с обеих сторон. Двухлезвийные ножи позволяют увеличить рабочий ресурс за счет перестановки в случае затупления одной из сторон. Обратные ножи (рис. 2, *к*) имеют лезвие на всю длину и отверстия крепления с обеих сторон.

В отдельных случаях (обработка толстостебельных или короткостебельных культур, дробление и разбрасывание пересушенной массы и т. д.) могут найти применение безлезвийные ножи (рис. 2, *т*). При необходимости мелкого измельчения применяют ножи, имеющие зубчатую насечку вместо гладкого лезвия (рис. 2, *е, з, ф*). В отличие от гладколезвийных, зубчатые ножи позволяют снизить потребление энергии и формировать «измочаленные» концы измельченной соломы.

Увеличить рабочий ресурс ножа без перезаточки позволяют армирование лезвия сормайтом (наплавка), лазерное нанесение упрочняющего покрытия, использование твердосплавных напаяк (рис. 2, *м*), продлевающих срок службы ножа в 3-4 раза, применение бора в качестве основного легирующего элемента [15] и т. д.

Некоторыми производителями предлагаются формы плоских ножей, отличные от прямоугольной. Так, с целью компенсации увеличения угла защемления режущей пары, вследствие маятникового эффекта шарнирных ножей, форма последних может выполняться трапецеидальной (рис. 2, *р*). Достигнуть того же эффекта при измельчении крупностебельных культур позволяют молотки со ступенчатой формой режущей кромки (рис. 2, *с*) [25].

Для создания оптимальных условий процесса резания (уменьшение действия тангенциальных сил, увеличение угла скольжения материала в растворе режущей пары на всей длине лезвия) часто используют криволинейную форму лезвий активных ножей и противорежущих сегментов (рис. 2, *ц*). Известны эллиптическая, дугообразная, выпуклая и вогнутая криволинейные, логарифмической и архимедовой спирали, эксцентрической окружности и другие формы лезвий. Облегчение и усиление рабочих элементов достигается соответственно выполнением продольных отверстий (рис. 2, *о*) и формированием ребер жесткости (рис. 2, *п*) в теле ножа.

С целью совмещения нескольких функций ножей их форма может отличаться от плоской. Ножи, имеющие С-образное поперечное сечение (рис. 2, *э*), активно измельчающие солому продольными режущими кромками, проходя в зазоре между контрножами, перетирают стебли, способствуя их продольному расщеплению.

Усеченные (рис. 2, *ч*), Г- (рис. 2, *ы*) и П-образные (рис. 2, *я*) в поперечном сечении ножи позволяют не только измельчать солому, но и создавать воздушные потоки, придающие дополнительную энергию движения измельченным частицам.

Созданию требуемого турбулентного (вихревого) воздушного потока и нагнетанию его в распределяющий дефлектор также способствует винтообразная (скрученная) форма ножа (рис. 2, *ш*).

Разворот плоскости поперечного сечения плоского рабочего органа на угол до  $8^\circ$  вдоль осевой линии позволяет функционировать ножу подобно вентиляторной лопасти, что способствует более широкому разбросу соломы.

Также известны Т-образные ножи [1, 16], устанавливаемые в измельчителях-разбрасывателях комбайнов Дон-1500Б и РСМ-10Б (рис. 2, *ю*). При их использовании первоначальное измельчение массы осуществляется режущими кромками пластин, а доизмельчение и расщепление – кромками лопаток, перпендикулярно приваренных к пластинам.

Еще одной разновидностью объемных рабочих органов измельчителей являются жестко закрепленные Г-образные ножи [4, 18]. Авторы обосновывают, что при работе таких ножей процесс измельчения реализуется одновременно в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, что обеспечивает лучшие условия резания.

Объемные ножи могут исполняться как сплошными, так и составными [1, 4, 9, 16, 17]. Следует отметить, что сборные рабочие органы технологически более сложны и менее надежны в эксплуатации.

Попытки классифицировать известные ножи соломоизмельчителей по основным конструктивным, технологическим и качественным признакам ранее предпринимались некоторыми исследователями [4, 7, 8, 12]. Однако с учетом вновь появившихся в последние годы теоретических предпосылок, а также последних достижений науки и техники в области комбайностроения в настоящей работе предложена оригинальная подробная классификация ножей измельчающих роторов (рис. 3).

В авторской редакции измельчающие ножи классифицируются, в частности:

- по назначению – бильные (активные), противорежущие (неподвижные);
- по типу выполняемой технологической операции – измельчающие швырковые, мультифункциональные;
- по конструкции – сплошные, составные, усиленные, облегченные;
- по возможности перестановки – обратные, необратные;
- по форме рабочего органа – плоские (прямоугольные, П-, Г-, Т-, С-образные в поперечном сечении, фигурные, усеченные, винтообразные и др.), объемные;
- по форме профиля поперечного сечения заточки лезвия (односторонняя симметричная и асимметричная, двухсторонняя);
- по типу установки на роторе – фиксированные (неподвижные), шарнирные (молотки);
- по способу увеличения ресурса – с наплавкой (сормайт), с лазерным напылением;
- по типу рабочей поверхности – лезвийные (односторонние, двухсторонние, гладколезвийные, гребенчатые (с насечкой), со шлифовальным торцом и др.), безлезвийные.

По результатам обзора рабочих органов измельчителей-разбрасывателей зерноуборочных машин авторами предложены основные пути дальнейшего совершенствования ножей, позволяющие увеличить эффективность их использования, повысить качество выполняемой технологической операции и снизить энергоемкость процесса:

- увеличение угла между плоскостями бильной части и телом Г-образного в поперечном сечении ножа;
- выполнение лезвия противореза криволинейным;
- выполнение комбинированной режущей части активного рабочего органа, способной обеспечить «скользяще-пилящее» действие.

Так, увеличение угла, между плоскостями бильной части и телом Г-образного ножа будет способствовать более равномерному распределению измельченных частиц по ширине.

Криволинейное лезвие противореза могло бы обеспечить постоянный угол заземления на всем рабочем промежутке режущей пары. Это дало бы возможность более полно использовать длину лезвия рабочих органов измельчителя.

Также представляет интерес выполнение лезвия активного рабочего органа комбинированным. На участке начала контакта с обрабатываемым материалом (в зоне торца) лезвие выполняется гладким и далее постепенно переходит к зубчатой форме. Такое решение позволит осуществить чисто «скользящее» резание в самом начале процесса и «пилящее» – в конце. Как следствие, возможно снижение энергозатрат, а также сохранение эффекта «измочаленных концов», необходимость чего обосновывается в работах ряда авторов [2, 10, 13, 14].



---

### Библиографический список

1. А. с. №1588317 СССР, МКИ А01F 29/00 (1990.01). Измельчающий аппарат зерноуборочного комбайна / В.И. Шаповалов, Н.А. Копченко, И.К. Мещеряков, Н.Д. Минко, А.Р. Распопов, В.Ж. Вартанян, В.А. Шуринов, В.П. Йоффе, В.И. Цвигун, Л.Н. Радченко. – № 87 4249157 ; заявл. 01.04.1987; опубл. 30.08.1990, Бюл. № 32. – 5 с.
2. Ангилеев О.Г. Комплексная утилизация побочной продукции растениеводства / О.Г. Ангилеев. – Москва : Росагропромиздат, 1990. – 160 с.
3. Аношин Е.И. Эффективность соломы / Е.И. Аношин // Земледелие. – 1976. – № 1. – С. 18-20.
4. Бузиков Ш.В. Совершенствование измельчающе-разбрасывающего устройства подборщика-измельчителя соломы из валков : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ш.В. Бузиков. – Москва, 2009. – 28 с.
5. Жалнин Э.В. Методологические аспекты механизации производства зерна в России / Э.В. Жалнин. – Москва : Полиграф-сервис, 2012. – 368 с.
6. Использование соломы в качестве удобрения / О.Г. Назаренко [и др.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.donplodorodie.ru/metod\\_po\\_solome\\_2.pdf](http://www.donplodorodie.ru/metod_po_solome_2.pdf) (дата обращения: 07.09.2016).
7. Логинов И.Е. Совершенствование технического средства для подбора, измельчения и разбрасывания соломы из валков с одновременным внесением минеральных удобрений : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / И.Е. Логинов. – Киров – Йошкар-Ола, 2005. – 148 с.
8. Присяжная И.М. Совершенствование процесса измельчения и разбрасывания соломы при комбайновой уборке сои : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / И.М. Присяжная. – Благовещенск, 2010. – 158 с.

9. Присяжная И.М. Обоснование технологических и конструктивных параметров измельчителя соевой соломы / И.М. Присяжная, С.П. Присяжная, М.М. Присяжный // Дальневосточный аграрный вестник. – 2011. – № 2 (18). – С. 20-23.
10. Результаты испытаний модернизированной косилки-измельчителя / В.Г. Мохнаткин [и др.] // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 7. – С. 13-14.
11. Родимцев С.А. Тенденции развития и классификация соломоизмельчителей-разбрасывателей современных зерноуборочных комбайнов / С.А. Родимцев // Вестник ОрелГАУ. – 2016. – № 3 (60). – С. 73-86.
12. Смирнов Н.Н. Обоснование параметров и режимов работы технического средства для подбора и измельчения соломы из валков : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Н.Н. Смирнов. – Киров – Йошкар-Ола, 2002. – 145 с.
13. Спиринов А.П. Минимальная мульчирующая обработка почвы / А.П. Спиринов, А.Ю. Измайлов, О.А. Сизов // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 1. – С. 27-32.
14. Условие эффективной работы ножевого рабочего органа измельчителя-разбрасывателя соломы / В.А. Сысуев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 11. – С. 56-58.
15. Шаповалов В.И. Исследования упрочнения самозатачивания ножей измельчителя стебельчатых продуктов / В.И. Шаповалов, Я.И. Нежинский // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – Луганськ, 2012. – № 12. – Ч. 1. – С. 25-36.
16. Шаповалов В.И. Универсальный измельчающий аппарат к комбайну Дон-1500 / В.И. Шаповалов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – № 7. – С. 59.
17. Шилько П.А. Измельчитель-разбрасыватель / П.А. Шилько // Сельский механизатор. – 2003. – № 7. – С. 8-9.
18. Ягельский М.Ю. Оценка качественных показателей работы соломоизмельчителей-разбрасывателей зерноуборочных комбайнов / М.Ю. Ягельский, С.А. Родимцев, Д.И. Коношин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 2. – С. 5-8.
19. Ягодин Б.А. Агротехника : учебник / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко ; под ред. Б.А. Ягодина. – Москва : Колос, 2002. – 584 с.
20. Alam S.M. Effect of plant residue on growth / S.M. Alam // Pakistan Agr. – 1990. – Vol. 12. – No. 7/8. – P. 9-11.
21. Anon. Wie teuer ist die Stroheinarbeitung / Lohnunternehmen in Land- Forstwirtschaft, 1988. – Vol. 43. – No. 8. – S. 408-410.
22. Bernhardt H. Verfahren einer qualitätsgerechten Sstrodungung / H. Bernhardt // Feldwirtschaft. – 1991. – Vol. 32. – No. 8. – S. 370-372.
23. Heitmann G. Mulchsaat bekommt mehr Gewicht / G. Heitmann // Lohnunternehmen in Land-Forstwirtschaft. – 1992. – Jg. 47. – No. 7. – S. 392-393.
24. Kilpatrick J. ADAS report written for NNFCC «Addressing the land use issues for non-food crops, in response to increasing fuel and energy generation opportunities.»
25. Replacement Knives Improve Deere Straw Choppers / Farm Show 2003. – Vol. 27. – Issue 2. – P. 29.
26. Zhao Peng. Short-term influences of straw and nitrogen cooperation on nitrogen use and soil nitrate content in North Henan / Zhao Peng, Chen Fu // J. China Agr. Univ. – 2008. – Vol. 13. – No. 4.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Михаил Юрьевич Ягельский – соискатель кафедры безопасности жизнедеятельности на производстве, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Российская Федерация, г. Орел, E-mail: jam@technodom.com.

Сергей Александрович Родимцев – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности на производстве, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Российская Федерация, г. Орел, 8(4862) 43-19-81, E-mail: rodimcew@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 31.11.2016

Дата принятия к печати 16.01.2017

### AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Mikhail Yu. Yagelski – Candidate Degree Seeker, the Dept. of Industrial Health & Safety, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Russian Federation, Orel, E-mail: jam@technodom.com.

Sergey A. Rodimtsev – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Industrial Health & Safety, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Russian Federation, Orel, tel. 8(4862) 43-19-81, E-mail: rodimcew@yandex.ru.

Date of receipt 31.11.2016

Date of admittance 16.01.2017