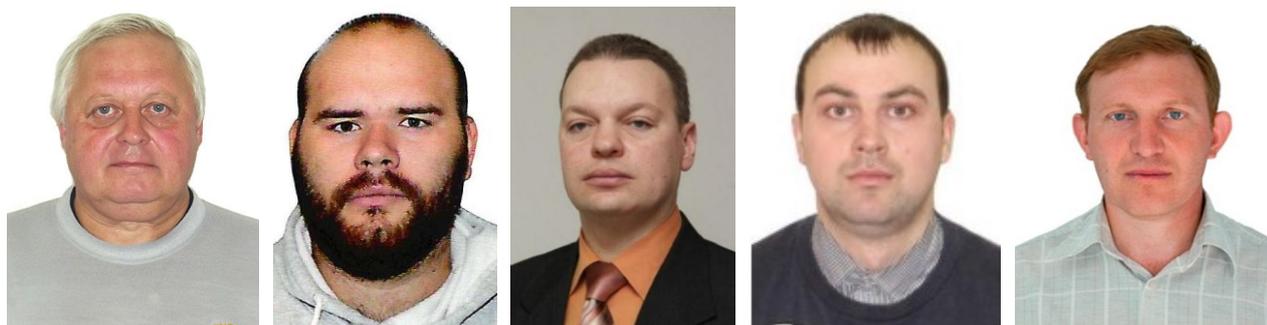


# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.354.23:621.81

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-223-5-70-78

В.Ф. Аулов, Ю.Н. Рожков, А.В. Ишков,  
А.В. Щеголев, С.Б. Выставкин  
V.F. Aulov, Yu.N. Rozhkov, A.V. Ishkov,  
A.V. Shchegolev, S.B. Vystavkin

## АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НОЖА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ-РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ СОЛОМЫ ЗЕРНУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЕГО СРОКА СЛУЖБЫ

### ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CUTTING PROCESS OF STRAW CHOPPER-SPREADER KNIFE OF GRAIN HARVESTER IN ORDER TO INCREASE ITS DURABILITY

**Ключевые слова:** нож, зерноуборочный комбайн, измельчитель-разбрасыватель соломы (ИРС), износостойкость, энергоэффективность, толщина лезвия, ресурс, упрочнение, процесс резания.

В современных агротехнологиях при утилизации незерновой части вороха различных сельскохозяйственных культур в зерноуборочных комбайнах осуществляется ее измельчение и разбрасывание по полю специальным агрегатом – измельчитель-разбрасыватель соломы (ИРС). Размер частиц соломы, ширина разбрасывания, высота валка и иные параметры регулируются конструктивно и технологически, в зависимости от ширины захвата жатки комбайна, скорости движения, оборотов ротора ИРС и т.д. Качество измельчения зависит от состояния рабочих органов ИРС – его ножей, при их износе и затуплении ухудшается не только агротехнология, но и растут энергозатраты. Форма ножей ИРС оптимизирована, а их конструкция не предусматривает дополнительной заточки, поэтому важно повышать долговечность этой детали. В работе установлено, что острота лезвия ножа ИРС –  $\delta$ , обес-

печивающая энергоэффективное резание соломы яровой пшеницы, одновременно зависит от высоты ее исходного слоя –  $h$  и высоты его сжатия –  $h_{сж}$ . Для увеличения долговечности ножа ИРС с оптимизированной остротой лезвия 100 мкм, без потери производительности и загрузки агрегата, необходимо поддерживать величину коэффициента сжатия исходного слоя соломы –  $k_{сж}$  в пределах оптимальных значений 1,02-1,03. Это реализуется путем установки профилированной пластины на внутренней поверхности выходного щитка ИРС, повторяющего округлую форму днища уменьшающего свободный объем корпуса на 15-20%, а также регулировкой (приоткрытием) выходного щитка. Только этими конструктивными и технологическими приемами удается повысить ресурс ножей до 2,5 раз.

**Keywords:** knife, grain harvester, straw chopper-spreader, wear resistance, energy efficiency, blade thickness, resource, hardening, cutting process.

In modern agricultural technologies, during the utilization of the non-grain part of the heap of various crops in

grain harvesters is carried out by its chopping and spreading over the field by a special unit - the straw chopper-spreader (SCS). Straw particle size, spreading width, swath height and other parameters are controlled structurally and technologically depending on the width of the grain harvester header, driving speed, rotor speed of the SCS, etc. The quality of chopping depends on the condition of the SCS working bodies - its knives; if they are worn out and blunted, not only agro-technology deteriorates, but energy costs increase as well. The shape of SCS knives is optimized and their design does not provide additional sharpening, so it is important to increase the durability of this part. The study has found that sharpness of SCS knife

blade that ensures energy-efficient cutting of spring wheat straw simultaneously depends on the height of its initial layer and height of its compression. To increase SCS knife durability with optimized blade sharpness of 100 microns without loss of productivity and unit loading, it is necessary to maintain value of compression coefficient of initial straw layer within optimal values 1.02...1.03. This is achieved by installing a profiled plate on the inner surface of the SCS outlet shield repeating the rounded shape of the bottom and reducing the free volume of the body by 15...20% and by adjusting (opening) the outlet shield. By these design and technological methods alone, it is possible to increase the resource of blades up to 2.5 times.

**Аулов Вячеслав Федорович**, к.т.н., вед. науч. сотр., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: gosniti@mail.ru.

**Рожков Юрий Николаевич**, мл. науч. сотр., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: vim@vim.ru.

**Ишков Алексей Владимирович**, д.т.н., доцент, профессор, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: alekeyyishk@rambler.ru.

**Щеголев Александр Владимирович**, к.т.н., инженер, Филиал ПАО «Россети Сибирь» – «Алтайэнерго», р.п. Тальменка, Алтайский край, Российская Федерация, e-mail: qq681@mail.ru.

**Выставкин Сергей Борисович**, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ; г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: vystsergej@yandex.ru.

**Aulov Vyacheslav Fedorovich**, Cand. Tech. Sci., Leading Researcher, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation, e-mail: gosniti@mail.ru.

**Rozhkov Yuriy Nikolaevich**, Junior Researcher, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru.

**Ishkov Aleksey Vladimirovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: alekseyyishk@rambler.ru.

**Shchegolev Aleksandr Vladimirovich**, Cand. Tech. Sci., Engineer, Branch, PAO "Rosseti Sibir" - "Altayenergo", Altai Region, Russian Federation, e-mail: qq681@mail.ru.

**Vystavkin Sergey Borisovich**, Asst. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: vystsergej@yandex.ru.

## Введение

В современных технологиях растениеводства при использовании сельскохозяйственных машин, таких как зерноуборочные комбайны, не зерновая часть вороха в основном перерабатывается по двум технологиям. Обычно это измельчение и разбрасывание по полю или укладка в валок. Для выполнения этой задачи в большинстве зерноуборочных комбайнов (ЗК) используется специальный агрегат – измельчитель-разбрасыватель соломы (ИРС) различных конструкций [1, 2]. В процессе работы измельчительно-разбрасывательного агрегата, который используется для обработки незерновой части вороха, солома подвергается измельчению до размеров от 5 до 15 см. Размер измельчаемой массы и площадь её разбрасывания можно задать как с помощью конструкции измельчителя: количеством противножей, изменением оборотов ротора, так и технологическими параметрами работы ЗК: применять разные жатки, варьировать скорость перемещения комбайна и др. [3].

Как правило, после операции измельчения (непосредственно при комбайнировании или, в рамках отдельной операции, после просушки соломы в валке) растительные остатки заделываются в поверхностный слой почвы либо (в технологиях No-till) покрывают поверхность почвы слоем определенной толщины [4]. В этом случае распределенная по поверхности поля солома обеспечивает важнейшие требования агротехнологий: мульчирование почвы для модификации температурно-влажностного режима ее верхних слоев; снабжение почвенной микрофлоры доступным органическим веществом; частичное восстановление баланса NPK; последующая гумификация, повышение плодородия и др., особенно в засушливых районах [5, 6].

Поэтому во всех импортных и в большинстве отечественных ЗК ИРС конструктивно объединены с энергоустановкой машины, отбирая при этом до 20-30% всей мощности привода для своей эффективной работы [7, 8]. Высокие энергозатраты ИРС зависят не только от его загрузки и свойств соломы, но и от характера взаимо-

действия его рабочих органов – ножей с измельчаемым материалом. Основным механизмом разрушения соломы в ИРС является ее разрезание ножами, которые в ходе естественных процессов затупляются, что влияет на качество измельчения, периодичность их замены и долговечность [9].

Из литературных источников и опыта эксплуатации ИРС на ЗК ведущих отечественных (Енисей, Acros, Vector) и зарубежных (John Deere, Claas) марок, широко применяемых в АПК Алтайского края, известно, что замену ножей ИРС вследствие их повышенного износа рекомендуется производить при наработке 60-80 га/нож, а при их затуплении этот дефектовочный показатель оказывается на порядок меньше – 4,0-5,5 га/нож [10, 11]. Причем конструкция и правила эксплуатации типового ножа не предусматривают его перезатачивания, так как размеры и острота его фрезерованной кромки оптимизированы и жестко нормированы производителем. Кроме того, саматиповая процедура ТО ИРС, с заменой изношенных ножей, характеризуется большой трудоемкостью, требует поштучной размерной и весовой дефектовки деталей, а также последующей балансировки ротора ИРС [12,13].

Ресурс ножей-измельчителей комбайнов можно повышать их упрочнением различными способами, как это показано авторами, например, в работах [14, 15]. Однако сказанное выше свидетельствует о необходимости сохранения при этом их оптимальной формы, конструкции и особенно толщины лезвия.

**Цель** работы: исследовать процесс резания соломы ножом ИРС; определить зависимость толщины (остроты) его лезвия от высоты сжимаемого слоя; рекомендовать оптимальные значения коэффициента сжатия и комплекс конструктивно-технологических мероприятий для повышения долговечности ножей ИРС.

### Теоретическая часть

Будем считать, что измельчение стеблей соломы, являющихся основным компонентом незерновой части вороха, главным образом осуществляется их разрезанием [16, 17]. Согласно теории академика В.П. Горячкина, полная работа  $A_{полн}$ , затраченная на резание, представляет собой сумму энергетических затрат на сжатие потока соломенной массы лез-

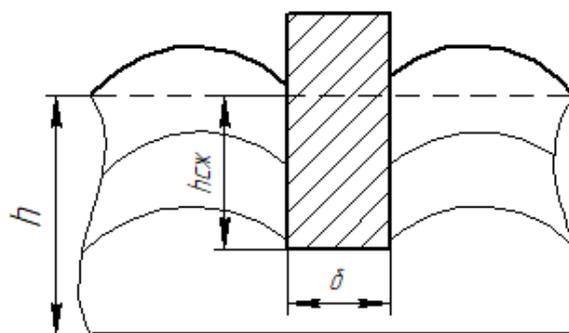
вием ножа  $A_{сж}$  и на полезную работу  $A_{рез}$ , то есть на само резание [16]:

$$A_{полн} = A_{сж} + A_{рез}, \quad (1)$$

где  $A_{сж}$  – затраты энергии на сжатие потока соломы лезвием ножа, Дж;

$A_{рез}$  – затраты энергии на резание незерновой части вороха, Дж.

При теоретическом рассмотрении взаимодействия лезвия ножа ИРС с потоком незерновой части вороха кромку ножа на схеме можно представить в виде прямоугольной полубесконечной пластины (рис. 1). В этом случае взаимодействие лезвия ножа при резании слоя соломы может быть изображено в таком виде.



**Рис. 1. Схема взаимодействия полубесконечной пластины со слоем соломы:**  
*h* – входящая высота слоя соломы, м;  
*h<sub>сж</sub>* – высота сжатого слоя соломы, м;  
*δ* – толщина лезвия ножа, м

Можно вычислить работу, затраченную на сжатие потока соломы, используя следующую формулу:

$$A_{сж} = l\delta\sigma h_{сж}, \quad (2)$$

где  $l$  – длина лезвия ножа, м;

$\delta$  – расчетная толщина режущей кромки ножа, м;

$\sigma$  – допустимое напряжение на сжатие потока соломы, Па.

Также можно выразить работу на резание с помощью данной формулы:

$$A_{рез} = l(h - h_{сж})\tau(h - h_{сж}), \quad (3)$$

где  $\tau$  – допустимое напряжение на срез, Па.

Подставив в уравнение (1) уравнения (2) и (3), получаем:

$$A_{полн} = l\delta\sigma h_{сж} + (h - h_{сж})^2\tau. \quad (4)$$

Из анализа уравнения (4) следует, что наилучшие условия для резания достигаются, когда полная работа, затраченная на этот процесс, минимальная [16].

Если учесть, что энергетические затраты на резание потока соломы зависят от степени сжатия слоя, которая определяется высотой сжатого слоя ( $h_{сж}$ ), то минимальное значение для полной работы ( $A_{полн}$ ) можно получить, взяв производную по  $h_{сж}$  (5), и найти экстремум данной функции. При этом необходимо предположить, что высота слоя и параметры ножа остаются неизменными.

Дифференциальное уравнение полной работы при исследовании на экстремум имеет вид:

$$\frac{\partial A_{полн}}{\partial h_{сж}} = 0; \quad (5)$$

$$l\delta\sigma - 2l(h - h_{сж})\tau = 0. \quad (6)$$

Из уравнения (6) получается условие для выбора оптимальной толщины лезвия ножа [18]. Данное условие также актуально и для ножа измельчителя-разбрасывателя соломы:

$$\delta = 2(h - h_{сж}) \frac{\tau}{\sigma}. \quad (7)$$

Используя уравнение (7), можно рассчитать влияние толщины сжатого слоя на толщину режущей кромки ножа, зная характеристики материала и выбрав значения  $h$  и  $h_{сж}$ . Таким образом, можно провести численные расчеты с известными свойствами материала ( $\tau$ ,  $\sigma$ ).

### Экспериментальная часть

Численные расчеты и теоретические исследования зависимости толщины (остроты) лезвия ножа ИРС как функции  $h$ ,  $h_{сж}$  осуществляли в специально составленных формах электронных таблиц Excel 2013, содержащих частные решения уравнения  $\delta = f(h, h_{сж})$ , а также используя их визуализацию и аппроксимацию средствами ПО.

Экспериментально затупление лезвия ножей (износ кромки) при их заданной нормированной остроте в 100 мкм и при фиксированной регулировке расположения щитков ИРС, а также при заданной исходной высоте разрезаемого слоя  $h$  исследовали для ИРС ЗК семейства Agros различных модификаций (530, 550/585, 560 и др.) [19], эксплуатируемых в степной зоне Алтайского края, при проведении ими уборочной кампании летом-осенью 2021 и 2022 гг. (прямое комбайнирование озимой и/или яровой пшеницы).

Высоту исходного слоя соломы в ИРС определяли визуально, с помощью стальной линейкой, закрепленной на входном щитке, величину  $h_{сж}$  рассчитывали по изменению  $h$  после регулировки положения щитков ИРС. Величину затупления лезвия ножа (радиус кромки) –  $\delta$  измеряли микрометрированием цифровым штанген-

циркулем ЩЦЦ-I-150-0,01 (фирма «ЕРМАК», КНР) после его калибровки по набору концевых мер длины 1 кл. Нарботку ножей рассчитывали по фактически комбайнированной ЗК площади (показания одометра + карта поля), отнесенной к количеству ножей на роторе ИРС (40/75 шт.).

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 приведена схема ИРС ЗК (на примере комбайна «Енисей») [20]. Это типовая конструкция и для аналогичных агрегатов ЗК большинства производителей, которые эксплуатируются в АПК, с той разницей, что в ней могут отличаться количество и расположение щитков, форма днища и пр.

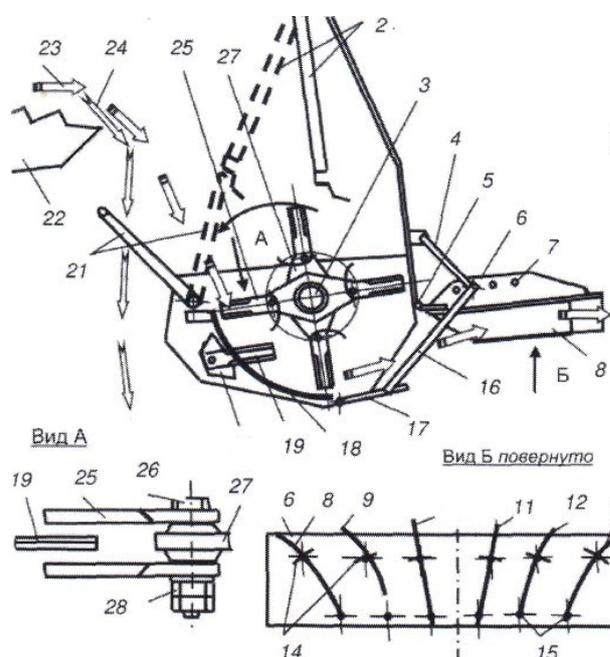


Рис. 2. Принципиальная схема ИРС ЗК:

- 2, 17, 21 – щитки; 3 – барабан измельчающий;
- 4, 16 – растяжки; 5 – ось поворота разбрасывателя; 6 – разбрасыватель;
- 7 – отверстия регулировочные;
- 8-10 – направляющие (правые), 11-13 (левые);
- 14 – пазы регулировочные; 15 – оси крепления направляющих; 18 – днище;
- 19 – нож противорежущий; 20 – брус ножевой;
- 22 – клавиша соломотряса;
- 23, 24 – солома, поступающая в измельчитель или валок соответственно; 25 – нож;
- 26 – ось ножа; 27 – поперечина; 28 – гайки

Как следует из рисунка 2, если принимать во внимание только нормальные величины загрузки ИРС, то толщина слоя соломы будет формироваться загрузкой агрегата, связанной с расположением поверхности щитков 2, 21, 17, которые, однако, фиксируются только в определен-

ных крайних положениях (открыто/закрыто) при разбрасывании измельченной соломы по полю или при ее укладке (сходе) в валок, а также расположением и формой днища 18, которое у большинства ЗК является элементом корпуса и не регулируется. Длина же отрезков соломы зависит от регулировки (вылета) противоножей 19, закрепленные на общем брусе, путем его наклона на определенный угол.

Учитывая формулу (8), для повышения долговечности ножей ИРС нами предлагается осуществлять программированную (плавную, ступенчатую) регулировку положения щитков ИРС, изменять форму и положение днища ИРС в пространстве или же реализовать такие конструктивные приемы как установка дополнительных элементов (отбойников, пластин, ограничителей-распределителей потока, и пр.) в корпусе ИРС. Последний приём технологически наиболее простой, поэтому его и реализовали в данной работе для обеспечения таких значений высот  $h$ ,  $h_{сж}$ , которые бы обеспечивали минимальные энергозатраты на резание.

В качестве основного разрезаемого материала для расчетов примем солому яровой пшеницы со следующими свойствами:  $\tau = 26$  МПа;  $\sigma = 290$  МПа [21]. В качестве модельного исследуем ИРС ЗК отечественного производителя «Ростсельмаш», семейства Agros (530, 560, 580, 590 и 590 Plus), оборудованного оригинальными ножами (фирма «MWS», Германия) – деталь РСМ-10Б.14.62.120.

Исходя из конструкции ИРС, конструктивных размеров ножа и размеров единичного элемента потока соломы можно определить предельные значения параметра  $h$ : 2, 25 и 100 мм, которые являются конструктивно и технологически обоснованными.

Первое значение параметра  $h$  соответствует определенным размерам материала: 2 мм – средний диаметр стебля растения; 25 мм – условное значение для работы ИРС с 25%-ной загрузкой от номинала; 100 мм – максимальная высота слоя вороха соломы при работе ИРС в режиме измельчения-разбрасывания, поступающего с верхнего щитка 21 без перегрузки ротора и при закрытом нижнем щитке 17.

Путем замены параметров материала и преобразований уравнения (7) можно получить нужную зависимость [11]:

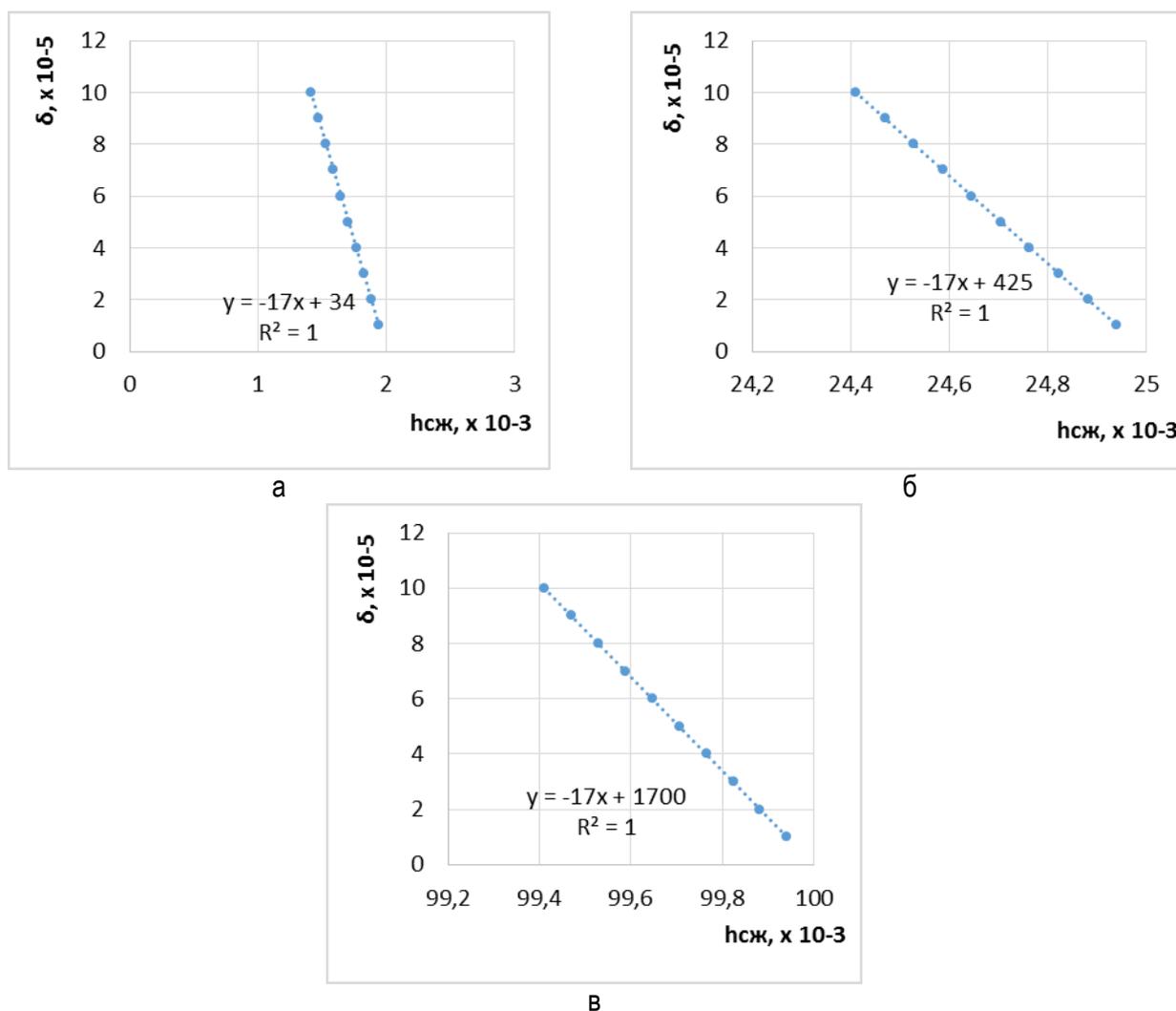
$$\delta = -0,17h_{сж} + 0,17h. \quad (8)$$

Данное уравнение позволяет исследовать влияние высоты сжатия материала (при постоянной величине  $h$ ) и высоты исходного слоя не зернового вороха (при постоянной величине  $h_{сж}$ ) или обоих параметров одновременно, на остроту (толщину) лезвия ножа ИРС.

Результаты расчетов оптимальной толщины режущей кромки ножа ИРС от высоты сжатия и соответствующие количественные зависимости, аппроксимированные по методу наименьших квадратов (МНК), для принятых значений исходной высоты слоя  $h$ , полученные в Excel 2013, показаны на рисунке 3.

Как следует из данных, приведенных на рисунке 3, толщина (острота) лезвия ножа ИРС оказывается очень чувствительной к высоте сжатия, например, при самой обычной четвертной загрузке ИРС ( $h = 25$  мм) минимальные энергозатраты обеспечиваются в диапазоне  $h_{сж}$  от 24 до 25 мм, т.е. при толщине заточки ножа в 100 мкм коэффициент сжатия исходного слоя составит величину 1,02. Очевидно, что это связано с многофакторной структурой поступающего слоя солоистой массы на измельчение. Основной объём солоистого вороха имеет гомогенное расположение стеблей, но после их технологической обработки механизмами ЗК большое количество стеблей имеют хаотическое расположение в потоке вороха. Кроме того, в слое соломы есть объёмы, заполненные воздухом, которые имеют разные размеры [17].

По показателям технологической удобности и имеющейся унификации конструкций ножа ИРС ЗК самым удобным способом является обеспечение толщины лезвия в 100 мкм. Таким образом, в расчете формулы (8) и графиках рисунка 3 использовалось только максимальное значение толщины лезвия ножа в 100 мкм, учитывая технологические особенности и конструкцию ножа ИРС. Проведенные расчеты показали, что энергоэффективное резание ножом 2 мм исходного слоя произойдет при  $h_{сж} \sim 1,4$  мм, а для слоя в 100 мм – при  $h_{сж} \sim 99$  мм. То есть величина коэффициента сжатия ( $k_{сж}$ ) исходного 2 мм слоя составит  $\sim 1,3$  раза, а для 100 мм слоя – только  $\sim 1,03$  (!). Учитывая то, что в реальных условиях ИРС ЗК редко оказывается загруженным на 100%, примем рекомендуемый диапазон изменения коэффициента сжатия слоя в 1,02-1,03 раза.



**Рис. 3. Графическое отображение изменения толщины лезвия ножа в зависимости от высоты сжатия при принятых значениях параметра  $h$ : а – 2 мм; б – 25 мм; в – 100 мм**

Полученные значения коэффициента сжатия можно обеспечить, например, путем регулировки относительного расположения щитков ИРС (проще выходного) и размещением на нем щитка, вызывающего искусственное скапливание и уплотнение (сжатие) потока соломы, так как очевидно, что существует пропорциональность между величинами  $h_{сж}$  ( $k_{сж}$ ) и потоком материала, проходящего через ИРС. Технически это реализовали установкой профилированной пластины на внутренней поверхности выходного щитка, повторяющей округлую форму днища и уменьшающей свободный объем корпуса ИРС в зоне вращения его ротора на 10-15%, а также регулировкой (приоткрытием) выходного щитка.

После соответствующего переоборудования нами ИРС на четырех ЗК типа Acros (2 шт. Acros 560 в 2021 г., и 2 шт. Acros 550/585 в 2022 г.), последние осуществляли уборку в режиме пря-

мого комбайнирования озимой пшеницы (в 2021 г.) и яровой пшеницы (в 2022 г.) на площадях в 200-225 га, что составило среднюю расчетную наработку 5,4 га/нож. В то же время контрольный ЗК Acros 590 Plus обработал осенью в 2022 г. 210 га яровой пшеницы. Высота исходного слоя у всех ЗК составляла 50-60 мм. Результаты микрометрирования лезвия ножей оказались следующими: величина затупления ножей ИРС (радиус кромки) –  $\delta$  у экспериментальных ЗК составил 110-120 мкм, в то время как на контрольном ЗК увеличилась до 280-300 мкм.

Таким образом, только регулируя величину потока измельчаемого материала через ИРС (установка профилированной пластины, приоткрытие выходного щитка), удастся уменьшить величину затупления его ножей (увеличить ресурс) до 2,5 раз, за счет изменения величины

коэффициента сжатия исходного слоя  $s_0$  до оптимального значения 1,02-1,03.

### Выводы

1. Острота лезвия ножа ИРС –  $\delta$ , обеспечивающая энергоэффективное резание соломы яровой пшеницы, одновременно зависит от высоты ее исходного слоя  $h$  и высоты его сжатия  $h_{сж}$ . Технологически обоснованной, оптимизированной и нормированной величиной  $\delta$  является 100 мкм.

2. Для увеличения долговечности ножа ИРС с остротой лезвия 100 мкм без потери производительности и загрузки агрегата необходимо поддерживать величину коэффициента сжатия исходного слоя соломы  $k_{сж}$  в пределах оптимальных значений – 1,02-1,03. Это реализуется путем установки профилированной пластины на внутренней поверхности выходного щитка ИРС, повторяющего округлую форму днища и уменьшающего свободный объем корпуса на 10-15%, а также регулировкой (приоткрытием) выходного щитка.

3. Регулируя величину потока измельчаемого материала через ИРС только конструктивными и технологическими приемами, удается увеличить ресурс его ножей до 2,5 раз.

### Библиографический список

1. Ловчиков, А. П. Агротехническая оценка работы измельчителей-разбрасывателей соломы комбайнов при уборке зерновых культур прямым комбайнированием / А. П. Ловчиков, В. П. Ловчиков, Е. А. Поздеев. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (58). – С. 55-57.

2. Ягельский, М. Ю. Тенденции развития и классификация соломоизмельчителей разбрасывателей современных зерноуборочных комбайнов / М. Ю. Ягельский, М. Ю. Родимцев. – Текст: непосредственный // Вестник ОрелГАУ. – 2016. – № 3 (60). – С. 73-86.

3. Вендин, С. В. Обоснование частоты вращения ножей дробилки пророщенного зерна / С. В. Вендин, С. А. Булавин, Ю. В. Саенко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 4. – С. 9-12.

4. Койнова, А. Н. Технология No-till и ее техническое оснащение / А. Н. Койнова. – Текст: непосредственный // АгроФорум. – 2019. – № 5. – С. 24-29.

5. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия / Н. А. Зеленский, Г. М. Зеленская, Г. В. Мокриков, А. Ю. Шуркин. – Текст: непосредственный // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 4-7.

6. Гусев, Е. М. Мульчирование как важный элемент стратегии использования ресурсов естественного увлажнения в агроэкосистемах степного Крыма / Е. М. Гусев, Л. Я. Джоган. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 2019. – № 3. – С. 348-354.

7. Теоретическое обоснование затрат мощности на измельчение стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами / С. Ф. Вольвак, Д. Н. Бахарев, А. А. Вертий, Е. Е. Корчагина. – Текст: непосредственный // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2017. – № 1 (13). – С. 23-33.

8. Скорляков, В. И. Показатели качества измельчения и разбрасывания соломы зерноуборочными комбайнами ведущих фирм / В. И. Скорляков, Т. А. Юрина, О. Н. Негреба. – Текст: непосредственный // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 3. – С. 30-33.

9. Ягельский, М. Ю. Оценка качества работы соломоизмельчителя зерноуборочного комбайна / М. Ю. Ягельский, М. Ю. Родимцев. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 6. – С. 47-49.

10. Комбайн зерноуборочный самоходный РСМ-142 «Acros». Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию. – Ростов-на-Дону: ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш», 2010. – 345 с. – Текст: непосредственный.

11. Щеголев, А. В. Повышение долговечности восстановленных ножей измельчителей-разбрасывателей соломы комбайнов индукционной наплавкой модифицированных твердых сплавов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.03 / Щеголев, Александр Владимирович. – Новосибирск, 2019. – 18 с. – Текст: непосредственный.

12. Ишков, А. В. Определение технического состояния и остаточного ресурса ножей ИРС комбайна без их демонтажа / А. В. Ишков, С. Б. Выставкин, Н. Т. Кривочуров. – Текст: непосредственный // Перспективы внедрения инновационных технологий в АПК: сборник статей II Российской (Национальной) научно-практической конференции (20 декабря 2019 г.).

– Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2019. – С. 89-91.

13. Выставкин, С. Б. Моделирование динамических параметров элементов ротора измельчителя-разбрасывателя соломы / С. Б. Выставкин, И. Я. Федоренко, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // *Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 книгах / XVIII Международная научно-практическая конференция, приуроченная к 80-летию Алтайского ГАУ (9-10 февраля 2023 г.)*. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2023. – Кн. 1. – С. 115-117.

14. Об эффективности различных вариантов упрочнения ножей измельчителя-разбрасывателя соломы зерноуборочного комбайна / Н. Т. Кривочуров, В. В. Иванайский, А. В. Ишков, А. В. Щеголев // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2018. – № 9 (167). – С. 151-158.

15. Щербина, В. И. Повышение износостойкости ножей барабанных измельчителей кормоуборочных комбайнов / В. И. Щербина, В. А. Полуян. – Текст: непосредственный // *Вестник аграрной науки Дона*. – 2012. – № 1. – С. 35-39.

16. Горячкин, В. П. Собрание сочинений / В. П. Горячкин; под редакцией Н. Д. Лучинского. – Москва: Колос, 1965. – Т. 3. – 384 с. – Текст: непосредственный.

17. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – Москва: Машиностроение, 1975. – 311 с. – Текст: непосредственный.

18. Вендин, С. В. К расчёту конструктивных параметров ножей для измельчения пророщенного зерна / С. В. Вендин, Ю. В. Саенко. – Текст: непосредственный // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. – 2018. – № 1 (17). – С. 16-31.

19. Ломакин, С. В. Анализ технического уровня зерноуборочных комбайнов «Ростсельмаш» / С. В. Ломакин, В. Е. Бердышев. – Текст: непосредственный // *Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ им. В. П. Горячкина*. – 2017. – № 6. – С. 34-42.

20. Воробьев, В. И. Зерноуборочные комбайны «Енисей»: история развития и общее устройство / В. И. Воробьев, А. Н. Капустин, В. П. Демидов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 110 с. – Текст: непосредственный.

21. Бурмистрова, М. Ф. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений / М. Ф. Бурмистрова, Т. К. Комолькова, Н. В. Клемм. – Москва: Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1956. – 344 с. – Текст: непосредственный.

## References

1. Lovchikov A.P., Lovchikov V.P., Pozdeev E.A. Agrotekhnicheskaja otsenka raboty izmelchitelei-razbrasyvatelei solomy kombainov pri uborke zernovykh kultur priamym kombainirovanem // *Izvestiia Orenburgskogo GAU*. – 2016. – No. 2 (58). – С. 55-57.

2. Iagelskii M.Iu., Rodimtsev M.Iu. Tendentsii razvitiia i klassifikatsiia solomoizmelchitelei razbrasyvatelei sovremennykh zernouborochnykh kombainov // *Vestnik Orlovskogo GAU*. – 2016. – No. 3 (60). – С. 73-86.

3. Vendin S.V., Bulavin S.A., Saenko Iu.V. Obosnovanie chastoty vrashcheniia nozhei drobilki proroshchennogo zerna // *Mekhanizatsiia i elektrifikatsiia selskogo khoziaistva*. – 2015. – No. 4. – С. 9-12.

4. Koinova A.N. Tekhnologii No-till i ee tekhnicheskoe osnashchenie // *AgroForum*. – 2019. – No. 5. – С. 24-29.

5. Zelenskii N.A., Zelenskaia G.M., Mokrikov G.V., Shurkin A.Iu. Plodorodie pochvy: nastoiashchee i budushchee nashego zemledeliia // *Zemledelie*. – 2018. – No. 5. – С. 4-7.

6. Gusev E.M., Dzhogan L.Ia. Mulchirovanie kak vazhnyi element strategii ispolzovaniia resursov estestvennogo uvlazhneniia v agroekosistemakh stepnogo Kryma // *Pochvovedenie*. – 2019. – No. 3. – С. 348-354.

7. Volvak S.F., Bakharev D.N., Vertii A.A., Korchagina E.E. Teoreticheskoe obosnovanie zatrat moshchnosti na izmelchenie stebelchatykh kormov izmelchitelem s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami // *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. – 2017. – No. 1 (13). – С. 23-33.

8. Skorliakov V.I., Iurina T.A., Negreba O.N. Pokazateli kachestva izmelcheia i razbrasyvaniia solomy zernouborochnymi kombainami vedushchikh firm // *Tekhnika i oborudovanie dlia sela*. – 2013. – No. 3. – С. 30-33.

9. Iagelskii M.Iu., Rodimtsev M.Iu. Otsenka kachestva raboty solomoizmelchitelia zernouborochnogo kombaina. // *Traktory i selkhoz mashiny*. – 2013. – No. 6. – С. 47-49.

10. Kombain zernouborochnyi samokhodnyi RSM-142 «Acros». Instruktziia po ekspluatatsii i tekhnicheskomu obsluzhivaniiu. – Rostov-na-Donu: ООО «Kombainovy zavod «Rostselmash», 2010. – 345 s.

11. Shchegolev A.V. Povyshenie dolgovechnosti vosstanovlennykh nozhei izmelchitelei-

razbrasyvatelei solomy kombainov induktsionnoi naplavkoi modifitsirovannykh tverdykh splavov: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk (05.20.03). – Novosibirsk, 2019. – 18 s.

12. Ishkov A.V., Vystavkin S.B., Krivochurov N.T. Opredelenie tekhnicheskogo sostoiianiia i ostatochnogo resursa nozhei IRS kombaina bez ikh demontazha // Perspektivy vnedreniia innovatsionnykh tekhnologii v APK: sbornik statei II Rossiiskoi (Natsionalnoi) nauchno-prakticheskoi konferentsii (20 dekabria 2019 g.). – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2019. – S. 89-91.

13. Vystavkin S.B., Fedorenko I.Ia., Ishkov A.V. Modelirovanie dinamicheskikh parametrov elementov rotora izmelchitelia-razbrasyvatelia solomy // Agrarnaia nauka – selskomu khoziaistvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XVIII Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia (9-10 fevralia 2023 g.), priurochennaia k 80-letiiu Altaiskogo GAU. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2023. – Kn. 1. – S. 115-117. – S. 115-117.

14. Krivochurov N.T., Ivanaiskii V.V., Ishkov A.V., Shchegolev A.V. Ob effektivnosti razlichnykh variantov uprochneniia nozhei izmelchitelia-razbrasyvatelia solomy zernouborochnogo kombaina // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 9 (167). – S. 151-158.

15. Shcherbina V.I., Poluian V.A. Povyshenie iznosostoikosti nozhei barabannykh izmelchitelei kormouborochnykh kombainov // Vestnik agrarnoi nauki Dona. – 2012. – No. 1. – S. 35-39.

16. Goriachkin V.P. Sbranie sochinenii / pod red. N.D. Luchinskogo. – T. 3. – Moskva: Kolos, 1965. – 384 s.

17. Reznik N.E. Teoriia rezaniia lezviem i osnovy rascheta rezhushchikh apparatov. – Moskva: Mashinostroenie, 1975. – 311 s.

18. Vendin S.V., Saenko Iu.V. K raschetu konstruktivnykh parametrov nozhei dlia izmelcheniia prorochnogo zerna // Innovatsii v APK: problema i perspektivy. – 2018. – No. 1 (17). – S. 16-31.

19. Lomakin S.V., Berdyshev V.E. Analiz tekhnicheskogo urovnia zernouborochnykh kombainov «Rostselmash» // Vestnik MGAU im. V.P. Goriachkina. – 2017. – No. 6. – S. 34-42.

20. Vorobev V.I., Kapustin A.N., Demidov V.P. Zernouborochnye kombainy «Enisei»: istoriia razvitiia i obshchee ustroistvo. – Tomsk: Izdatelstvo TPU, 2010. – 110 s.

21. Burmistrova M.F., Komolkova T.K., Klemm N.V. Fiziko-mekhanicheskie svoistva selskokhoziaistvennykh rastenii. – Moskva: Gos. izd-vo s.-kh. literatury, 1956. – 344 s.



УДК 361.362

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-223-5-78-85

С.Ф. Сороченко, Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов

S.F. Sorochenko, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНО-ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ОЧИСТКИ ЗЕРНА

### USE OF A CENTRIFUGAL AIR SEPARATOR TO UPGRADE A STATIONARY TECHNOLOGICAL GRAIN CLEANING LINE

**Ключевые слова:** зерноочистительный агрегат, машина первичной очистки, центробежно-воздушный сепаратор, аспирационная система, семенная очистка, технические культуры, бункер-распределитель, дозирующая заслонка.

Опыт эксплуатации типовых зерноочистительных агрегатов, являющихся основным технологическим оборудованием для очистки зерна в сельскохозяйственных предприятиях, выявил недостатки в плане выполнения основных технологических требований. В этой связи типовые агрегаты для послеуборочной обработки семян зерновых и технических культур для

удовлетворения современных требований к качеству выполнения технологических операций должны быть модернизированы. На протяжении многих лет в Алтайском крае такая работа проводится. Любая реконструкция зерноочистительных агрегатов, в основном по индивидуальным проектам, преследует экономическую целесообразность внедрения новой технологии. Подобный подход к развитию технологических линий на базе типовых агрегатов позволяет внедрять современные машины для очистки зерна, а также новейшие разработки ученых. Внедрение новых технологий и отдельных современных зерноочистительных машин решает ряд важнейших задач для дальнейшего разви-