

## Взаимосвязь длины измельчения соломы и конструкционного исполнения измельчителя-разбрасывателя

### Interrelation between the straw chopping length and the design of straw chopper

Д. Р. САДРЕТДИНОВ, инж.

Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия, sadretdinov.daniil@mail.ru

D. R. SADRETDINOV, Engineer

South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia, sadretdinov.daniil@mail.ru

Рассмотрен процесс измельчения соломы в измельчителе-разбрасывателе зерноуборочного комбайна. Показано влияние конструкционного исполнения измельчителя-разбрасывателя соломы на длину ее измельчения. В частности, влияние пространственного положения соломы в момент ее среза и шага установки ножей на длину измельчения. Описаны возможные варианты движения соломы с ножами ротора-измельчителя после ее измельчения на противорезающем брусе. Описан характер перемещения несрезанной соломы вместе с ротором-измельчителем и силы, действующие на скользящую по ножам ротора-измельчителя солому. Дано определение мертвой зоны в измельчителе-разбрасывателе, которая представляет собой область, образованную корпусом измельчителя-разбрасывателя и поверхностью замятия ножей ротора-измельчителя. Перемещение соломы в мертвой зоне не сопровождается ее измельчением, что связано с отсутствием возможности контакта ножа ротора-измельчителя с соломой. Обоснована необходимость введения дополнительных узлов на нижней стенке корпуса измельчителя-разбрасывателя для интенсификации процесса измельчения путем выведения потока соломы из мертвой зоны и увеличения вероятности ее контакта с ножом на роторе-измельчителе. Обосновано местоположение таких узлов. Переориентация потока соломы до и во время измельчения может не только уменьшить длину измельчения, но и привести к уменьшению потребляемой измельчителем-разбрасывателем мощности. Это связано как с уменьшением площади среза, так и с уменьшением инерции ротора-измельчителя благодаря уменьшению количества ножей.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн; солома; измельчитель соломы.

The article deals with the process of straw chopping in straw chopper of a combine harvester. It shows the influence of straw chopper design on the straw chopping length; in particular the influence of spatial position of straw at the moment of its cutting, and of spacing of knives setting, on the chopping length. The possible variations of straw motion with chopping rotor knives after its chopping on the shearbar are described. The nature of motion of uncut straw with the chopping rotor, and the forces acting on the straw that slides over the rotor knives, are also described. The dead zone in the straw chopper is determined; it is an area between the body of chopper and the working surface of chopping rotor knives. Motion of straw in the dead zone does not lead to its chopping, because of the lack of possibility of its contact with rotor knives. The necessity of introducing of complementary units on the low wall of straw chopper body is substantiated; it leads to the intensification of straw chopping process by means of removing the straw flow from dead zone and increasing the probability of straw contact with rotor knives. The location of such units is determined. Reorientation of straw flow before and during its chopping not only reduces the straw chopping length, but also leads to the reduction of power consumed by straw chopper. This is due to both the reduction in cutting area, and the reduction in inertia of chopping rotor, because of decrease in number of knives.

**Keywords:** combine harvester; straw; straw chopper.

#### Введение

Растущий интерес к применению безотвальной обработки почвы предполагает использование соломы в качестве органического удобрения [1]. Для этого во время уборки соломистая часть убираемой культуры должна быть измельчена и разбросана по полю измельчителем-разбрасывателем соломы (ИРС) зерноуборочного комбайна.

Многие современные зерноуборочные комбайны не обеспечивают длину измельчения соломы и равномерность ее разбрасывания, регламентированные агротехническими требованиями [2, 3].

Кроме того, ИРС существенно влияет на общую производительность комбайна. Так, например, работающий ИРС увеличивает расход топлива комбайном на 15–30 % [4, 5].

#### Цель исследования

Цель исследования — рассмотреть технологический процесс из-

мельчения соломы; установить взаимосвязь конструкционного исполнения ИРС и длины измельчения; выявить пути совершенствования измельчителя.

#### Материалы и методы

Процесс измельчения соломы в ИРС носит как подпорный характер (защемление между ножами на роторе-измельчителе и противорезающем брусе), так и бесподпорный (свободный удар ножа ротора-измельчителя).

При подпорном резании соломины 1 (рис. 1), упав с клавиш соломотряса, находится на ножах противорезающего бруса 2 до тех пор, пока ее не ударит нож ротора-измельчителя. Длина измельчения при этом зависит от шага установки ножей  $x$  и расположения соломины относительно оси вращения ротора-измельчителя.

Шаг установки ножей на противорезающем брусе и роторе-измельчителе можно задать конструкцион-

но. Угол падения  $\alpha$  — случайная величина, которую трудно спрогнозировать и которая напрямую влияет на длину измельчения соломы. Таким образом, если пренебречь бесподпорным резанием, длину измельчения соломы определим по формуле:

$$L = x \cos \alpha, \quad (1)$$

где  $x$  — шаг установки ножей, мм;  $\alpha$  — угол падения, град.

Для уменьшения длины резания необходимо минимизировать угол падения  $\alpha$  [6]. Кроме того, умень-

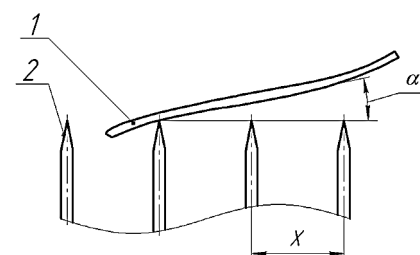


Рис. 1. Схема подпорного измельчения соломы

шение  $\alpha$  уменьшит мощность, затрачиваемую на измельчение соломы, что связано с уменьшением площади среза.

Из выражения (1) следует необходимость более подробного изучения процесса падения соломы с клавиш соломотряса и возможностей уменьшения угла падения.

Солома, измельченная на противорежущем бруске, может быть доизмельчена ножами ротора-измельчителя лишь при помощи бесподпорного среза. Для бесподпорного измельчения соломы за противорежущим бруском необходимо соблюдение двух условий:

1) ось соломины не должна лежать в плоскости ножей ротора-измельчителя;

2) разница скоростей движения соломы и ножа должна превышать критическую скорость бесподпорного резания.

После измельчения на противорежущем бруске соломина движется в сторону разбрасывающего рабочего органа [7] под действием импульса, сообщенного ей ножом ротора-измельчителя, а также воздушного потока, создаваемого вращающимися ножами ротора-измельчителя.

Солома либо подхватывается ножами ротора-измельчителя со срезом или без (при недостаточной разнице скоростей), либо пролетает под ножами, скользя по нижней стенке корпуса ИРС зерноуборочного комбайна.

Рассмотрим подробнее случай подхватывания и переноса соломины ножом ротора-измельчителя без подрезания, когда после измельчения на противорежущем бруске соломина получила достаточную начальную скорость и при встрече с ножом ротора-измельчителя не была срезана, а продолжала движение вместе с ножом. Это возможно как в случае, когда разница скоростей соломины и ножа ротора-измельчителя меньше критической скорости бесподпорного резания, так и при недостаточной остроте режущей кромки ножа, а также при совокупности данных факторов.

Если длины соломины  $l$  (рис. 2, а) не хватает для опирания на два ножа ротора-измельчителя, то она проворачивается вокруг ножа 2 и продолжает движение самостоятельно до встречи со следующим рядом ножей ротора-измельчителя.

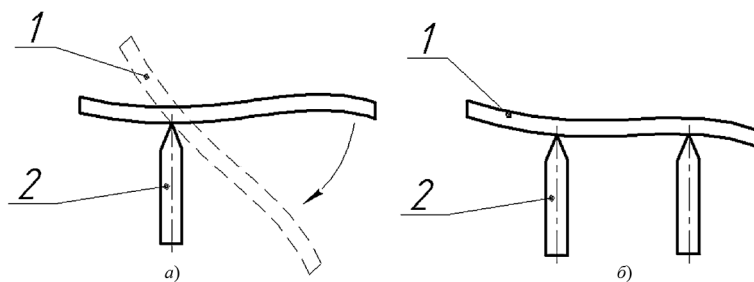


Рис. 2. Опирание соломины на один (а) или два (б) ножа

Если соломина лежит на двух или более ножах (рис. 2, б), то ее проворот невозможен. В таком случае соломина находится под действием силы тяжести  $G$ , силы аэродинамического сопротивления  $F$ , центробежной силы  $F_{цб}$  и силы трения  $F_{тр}$  от контакта с ножом (рис. 3). Под действием центробежной силы соломина начнет перемещаться к концу ножа, и на нее начнет действовать сила Кориолиса  $F_K$ . Поскольку сам нож, также испытывая влияние центробежной силы, не меняет местоположение, задавая направление движения соломины, то направление силы Кориолиса неизменно.

Введем оси  $u$  и  $v$ , параллельную и перпендикулярную оси ножа, и распишем силы, действующие на соломину вдоль этих осей:

$$\begin{cases} G \cos \varphi + F_{цб} - F_{тр} = 0; \\ G \sin \varphi - F_K - F. \end{cases}$$

Распишем действующие силы:

$$\begin{cases} mg \cos \varphi + m \omega^2 R - \\ - f(2m[\omega \cdot \omega R] + (C_X S \rho \omega^2 R^2 / 2)); \\ mg \sin \varphi - 2m[\omega \cdot \omega R] - \\ - C_X S \rho \omega^2 R^2 / 2. \end{cases} \quad (2)$$

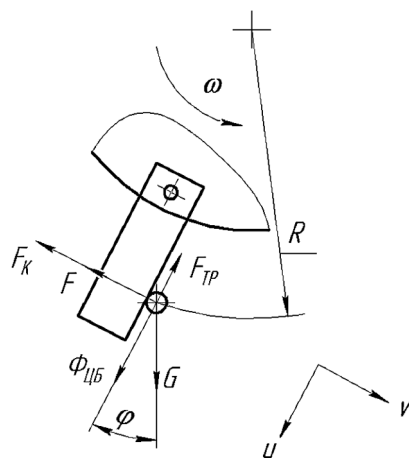


Рис. 3. Силы, действующие на соломину на ноже ротора-измельчителя

где  $m$  — масса соломины, кг;  $g$  — ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $\varphi$  — угол между направлением силы тяжести и осью, град.;  $R$  — расстояние от центра масс соломины до центра вращения, м;  $\omega$  — угловая скорость вращения ротора-измельчителя, рад/с;  $C_X$  — коэффициент аэродинамического сопротивления соломины;  $S$  — площадь миделева сечения соломины,  $m^2$ ;  $\rho$  — плотность воздуха,  $kg/m^3$ .

Отметим, что произведение  $(\omega \cdot \omega R)$  в выражении (2) носит характер векторного произведения скоростей.

В связи с малостью массы, размеров соломины и радиуса вращения относительно величины угловой скорости вращения ротора-измельчителя центробежная сила будет на порядок превышать величины других сил, а значит, и определять направление движения соломины (в рассматриваемом случае — удаление соломины от центра вращения ротора-измельчителя и ее движение к концу ножа).

Соломина, попавшая на нож ротора-измельчителя, стремится соскользнуть с него. Потеряв контакт с ножом, соломина попадает в область границы поверхности заметания, образованной ножами ротора-измельчителя и стенками ИРС. Назовем ее мертвой зоной (рис. 4). В этой области происходит проталкивание и выдувание соломы к разбрасывающему рабочему органу без дополнительного измельчения, поскольку здесь контакт соломы с ножом невозможен.

Таким образом, возникает необходимость создания условий для дополнительного измельчения соломы, попавшей в мертвую зону. Для этого нужно перенаправить поток соломы из мертвой зоны внутрь границы поверхности заметания ножей ротора-измельчителя, а также обеспечить разность скоростей дви-

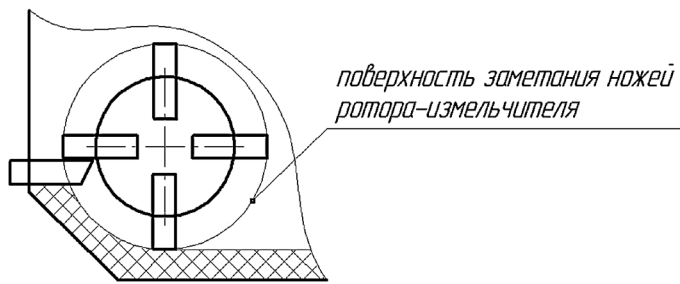


Рис. 4. Мертвая зона измельчающего рабочего органа ИРС

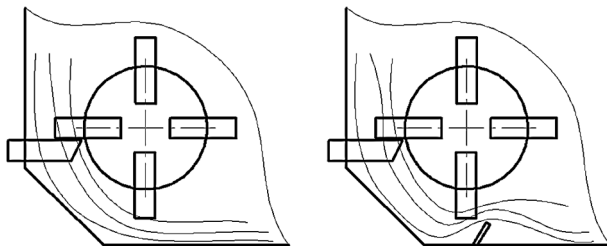


Рис. 5. Планка на нижней стенке ИРС

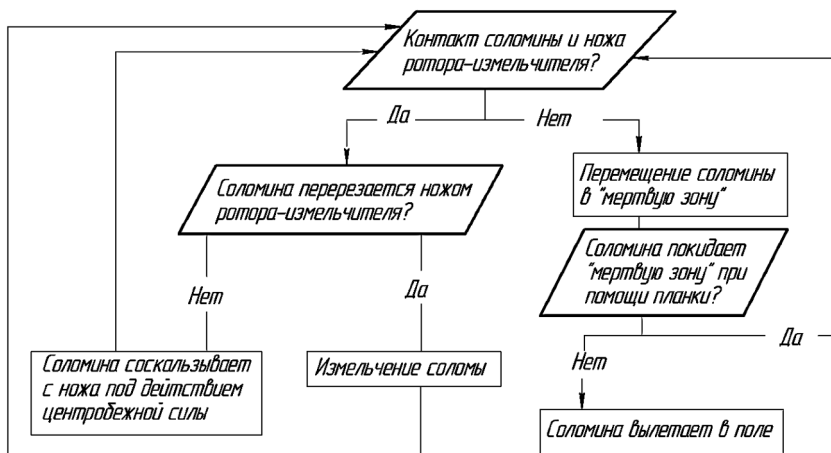


Рис. 6. Алгоритм поведения соломины после измельчения подпорным срезом

жения соломы и вращения ножа, большую, чем критическая скорость бесподпорного резания.

Дополнительные узлы, интенсифицирующие процесс измельчения соломы путем изменения направления ее движения в мертвой зоне, целесообразно размещать за местом схода соломины с ножа ротора-измельчителя для случая, когда после измельчения на противорезущем бруске соломина, попавшая на нож, не была измельчена.

В простейшем случае подобный узел может иметь форму планки (рис. 5), перенаправляющей поток соломы внутрь поверхности замятия.

Более наглядно, в виде алгоритма, варианты перемещения соломины после измельчения подпорным срезом представлены на рис. 6.

Необходимо определить, в течение какого времени и на какое расстояние соломина перемещается вместе с ножом ротора-измельчителя, с допущением, что соломина начала контактировать с ножом сразу за противорезущим бруском.

Соломина после измельчения на противорезущем бруске в случае отсутствия бесподпорного среза ножом ротора-измельчителя совершает на нем два движения:

1) касается ножа в одной точке и поворачивается относительно нее (рис. 7) до контакта в двух и более точках, т. е. до того, как займет устойчивое положение;

2) перемещается вдоль лезвия ножа ротора-измельчителя (описано выше).

Время, с, за которое соломина, повернувшись относительно первой

точки касания ножа, вступит в контакт с другим ножом и тем самым займет установившееся положение для начала второго движения, определим по формуле:

$$t_1 = \frac{h_k}{V_{\text{окр}}} = \frac{l_k \sin \alpha}{\omega R},$$

где  $h_k$  — проекция наибольшего удаления свободного конца соломины от точки касания соломины и ножа на плоскость, перпендикулярную оси ротора-измельчителя, м;  $l_k$  — длина свободного конца соломины, м;  $\alpha$  — угол между осью ротора-измельчителя и осью соломины, град.;  $R$  — расстояние от оси ротора-измельчителя до точки контакта соломины и ножа, м.

Время схода соломины (рис. 8), с, определим по формуле:

$$t_2 = \frac{l_{\text{сх}}}{V_{\text{цб}}} = \frac{l_{\text{сх}}}{\omega^2 R},$$

где  $l_{\text{сх}}$  — длина схода, м;  $V_{\text{цб}}$  — центробежная скорость, м/с.

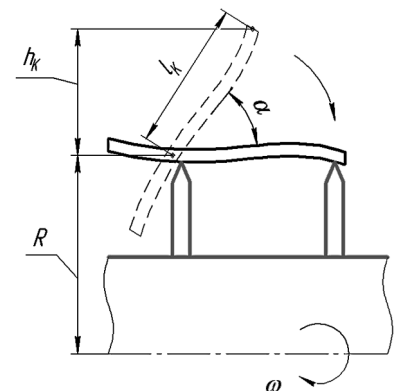


Рис. 7. Поворот соломины в точке касания ножа

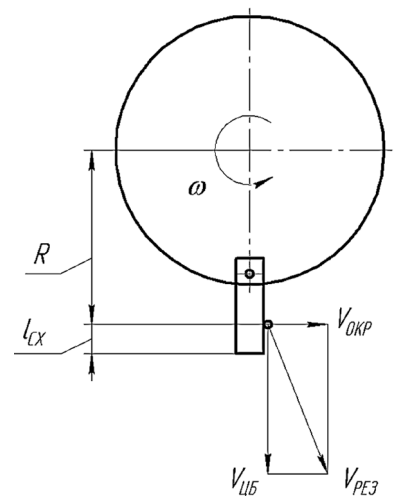


Рис. 8. К расчету времени схода соломины

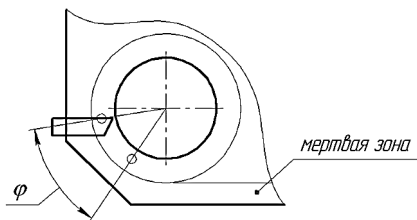


Рис. 9. Угол поворота соломины вместе с ножом до схода

Общее время, с, затрачиваемое соломиной на совершение обоих движений:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l_k \sin \alpha}{\omega R} + \frac{l_{сх}}{\omega^2 R}$$

Угол, град., на который повернется соломина вместе с ножом (рис. 9), совершив оба движения:

$$\varphi = \omega t = \pi n t / 30.$$

Дополнительные узлы, интенсифицирующие процесс измельчения соломы, рациональнее размещать за указанным на рис. 9 сектором с углом φ.

### Результаты и их обсуждение

Получены выражения, описывающие процесс измельчения и перемещения соломы в ИРС.

Описано влияние угла падения соломы на длину ее измельчения. Уменьшение угла падения соломы позволяет не только уменьшить длину измельчения, но и снизить мощность, потребляемую ИРС. Поэтому можно сделать вывод о необходимости введения узла для переориентации пространственного положения соломы с целью минимизации угла падения. Однако это может привести к более частому забиванию ИРС.

Описано влияние на процесс измельчения дополнительных узлов, благодаря установке которых повышается количество ударов ножа по соломе, и длина измельчения уменьшается. Это особенно важно в связи с наличием в измельчающем рабочем органе ИРС зерноуборочного комбайна мертвой зоны, в которой солома не контактирует с ножами ротора-измельчителя.

Наличие узлов, интенсифицирующих процесс измельчения, позволяет увеличить вероятность контакта соломины и ножей не путем увеличения количества ножей на роторе-измельчителе, а изменением траектории перемещения соломи-

стой массы. Уменьшение количества ножей на роторе-измельчителе позволит уменьшить момент его инерции и потребляемую ИРС мощность.

### Выводы

Описан процесс перемещения и измельчения соломы в ИРС зерноуборочного комбайна. Рассмотрены основные факторы, влияющие на длину измельчения. Описаны силы, действующие на соломинку при ее движении вместе с ножом ротора-измельчителя.

Выявлено влияние пространственного положения соломины в момент среза на длину измельчения. Минимизация угла падения соломины способствует уменьшению длины измельчения и энергоемкости процесса.

Дано определение мертвой зоны в ИРС, в которой перемещение соломы происходит без контакта с ножами ротора-измельчителя, т. е. без измельчения.

Обоснована необходимость применения дополнительных узлов, направляющих поток соломы и интенсифицирующих процесс измельчения. Определено возможное местоположение подобных узлов.

### Литература и источники

1. Ловчиков А. П., Ловчиков В. П., Поздеев Е. А. Биологизация земледелия в ресурсосберегающих технологиях возделывания зерновых культур // Международный научно-исследовательский журнал. 2016, № 1—2. С. 44—47. DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.094.
2. Скорляков В. И., Юрина Т. А., Негреба О. Н. Показатели качества измельчения и разбрасывания соломы зерноуборочными комбайнами ведущих фирм // Техника и оборудование для села. 2013, № 3. С. 30—33.
3. Мартышов А. И., Бышов Н. В., Морозова Н. М. Показатели качества измельчения незерновой части урожая зерноуборочными комбайнами марок Дон 1500Б и Палессе GS12 // Современная наука глазами молодых ученых: достижения, проблемы, перспективы. Мат-лы междуз. науч.-практ. конф. Рязань: РГАТУ, 2014. Ч. 1. С. 79—81.
4. Родимцев С. А., Ягельский М. Ю. Оценка качества работы измельчителей зерноуборочных комбайнов // Вестник аграрной науки Дона. 2013, № 1. С. 24—27.
5. Пьянов В. С. Влияние комплектации зерноуборочного комбайна "Дон-1500Б" соломоуборочными средствами на основные эксплуатационные по-

казатели его работы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ставрополь, 2006. 173 с.

6. Kattenstroth R., Harms H.-H., Lang T. Alignment of straw to optimise the cutting process in a combine's straw chopper // Landtechnik. 2011, no. 5, pp. 354—357.

7. Садретдинов Д. Р. Обзор технических устройств для измельчения и разбрасывания соломы зерноуборочных комбайнов // Достижения науки — агропромышленному производству: Мат-лы LIV междунар. науч.-техн. конф. Челябинск: ЧГАА, 2015. Ч. 3. С. 180—185.

### References

1. Lovchikov A. P., Lovchikov V. P., Pozdееv E. A. Biologization of agriculture in the resource-saving technologies of grain cultivation. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2016, no. 1—2, pp. 44—47 (in Russ.). DOI: 10.18454/IRJ.2016.43.094.
2. Skorlyakov V. I., Yurina T. A., Negreba O. N. Quality rating of straw chopping and spreading with combine harvesters of the leading firms. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2013, no. 3, pp. 30—33 (in Russ.).
3. Martyshev A. I., Byshov N. V., Morozova N. M. Quality indices of tailings chopping by Don-1500B and Palesse GS12 combine harvesters. *Sovremennaya nauka glazami molodykh uchenykh: dostizheniya, problemy, perspektivy. Mat-ly mezvuz. nauch.-prakt. konf.* [Modern science as viewed by the young scientists: achievements, problems, prospects. Proc. of sci. and pract. conf.] Ryazan, Ryazan State Agro-technological University Publ., 2014, part 1, pp. 79—81 (in Russ.).
4. Rodimtsev S. A., Yagel'skiy M. Yu. Performance evaluation of straw choppers of combine harvesters. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*, 2013, no. 1, pp. 24—27 (in Russ.).
5. P'yanov V. S. *Vliyaniye komplektatsii zernouborochnogo kombayna Don-1500B solomouborochnymi sredstvami na osnovnye ekspluatatsionnye pokazateli ego raboty*. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Influence of completing Don-1500B combine harvester with straw chopping devices on its main operational characteristics. PhD in Engineering thesis]. Stavropol, 2006, 173 p.
6. Kattenstroth R., Harms H.-H., Lang T. Alignment of straw to optimise the cutting process in a combine's straw chopper. *Landtechnik*, 2011, no. 5, pp. 354—357.
7. Sadretdinov D. R. Overview of combine harvesters' technical means for straw chopping and spreading. *Dostizheniya nauki — agropromyshlennomu proizvodstvu. Mat-ly LIV mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Scientific achievements for the agroindustrial production. Proc. of the LIV int. sci. and tech. conf.]. Chelyabinsk, Chelyabinsk State Agroengineering Academy, 2015, part 3, pp. 180—185 (in Russ.).