

## Экспериментальные исследования измельчителя соломы зерноуборочного комбайна

*А.А. Прищепа, магистрант, М.И. Туманова, аспирантка, А.С. Брусенцов, к.т.н., ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ*

Экстенсивные и интенсивные технологии использования почвы ведут к снижению её способности удовлетворять потребность растений [1, 2] в питательных веществах. Восстановить плодородие почвы можно путём соответствующего внесения органических и минеральных удобрений.

После уборки зерновых культур остаются пожнивные остатки (солома). В химический состав пшеничной, овсяной, ячменной соломы входят такие элементы как натрий, йод, калий, железо, марганец и другие микроэлементы. Незерновую часть урожая (солома и полова) можно использовать в животноводстве в качестве кормовых добавок, а также как подстилочный материал [1, 3–5]. При разложении пожнивных остатки переходят в углеводы и белковые соединения, а затем в лизин и целлюлозу. Причём эффективность разложения соломы зависит от наличия в почве азота. Таким образом, попадая в почву, они превращаются в перегной или гумус, являясь эффективным органическим удобрением.

В настоящее время при уборке зерновых культур используют ряд технических средств, выполняющих различные технологические операции. Предлагаемые технические средства для уборки незерновой части урожая не всегда удовлетворяют предъявляемым агротехническим требованиям, а именно размерам измельчённого материала и его равномерного распределения по полю. Это препятствует эффективному разложению пожнивных остатков, которые остаются на поверхности поля. Совмещение одновременно нескольких технологических операций в одном техническом средстве – уборка, распределение соломы по полю – способствует снижению трудозатрат, горюче-смазочных материалов. Для этого требуются разбрасыватели-измельчители, которые устанавливаются на зерноуборочных комбайнах.

Для решения обозначенной проблемы нами предлагается конструктивно-технологическая схема измельчителя соломы зерноуборочного комбайна незерновой части урожая (пат. РФ № 2611829). Измельчитель работает следующим образом [3–7]. Солома подаётся с клавиш соломотряса в улавливающую воронку посредством пруткового направителя, и через направляющую воронку – в рабочую зону измельчающего аппарата зерноуборочного комбайна, которая образована подвижными дисками с измельчающими сегментами [6]. Они вращаются вместе с валом, а диски с противорежущими сегментами неподвижны и закреплены на опоре, установленной в поперечной

балке. Измельчённая солома воздушным потоком, образованным вентилятором, по трубопроводу подаётся в прицепленную тележку [6].

**Цель исследования** – обосновать рациональные конструктивно-режимные параметры измельчителя комбайна при уборке незерновой части урожая.

**Материал и методы исследования.** При проведении эксперимента применяли стандартные методики и методы, приборы, частотный преобразователь. Была разработана экспериментальная установка, которая имитирует технологический процесс измельчения незерновой части урожая при уборке зерновых культур прямым способом. В качестве исходного материала была выбрана солома озимой пшеницы сорта Краснодарская 99. Эксперимент был выполнен на основе материально-технической базы кафедры «ПРИМА» КубГАУ.

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из рамы 1, направителя 4, кожуха 2. Кожух обеспечивает замкнутое пространство и является корпусом, на конце которого закреплён мешок 3 для сбора материала. Внутри находится ротор в виде диска, на котором крепятся рабочие органы в виде сменных ножей. Ротор приводится в действие электродвигателем 5. Значения уровней факторов выбирались нами с таким расчётом, чтобы оптимальные значения попадали в центр варьирования.

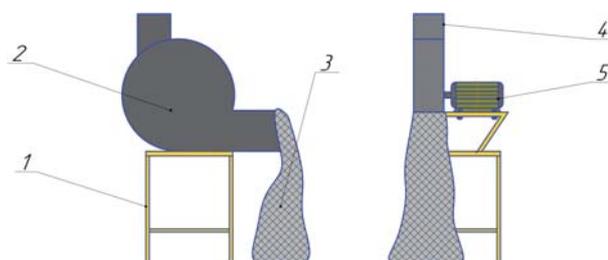


Рис. 1 – Экспериментальная установка измельчителя НЧУ:

1 – рама; 2 – корпус измельчителя; 3 – мешок для сбора проб; 4 – направитель; 5 – электродвигатель

На измельчение соломы влияют следующие основные конструктивные факторы (табл. 1): частота вращения ротора, количество ножей.

Кроме того, на измельчение соломы влияют такие факторы как: физико-механические (сопротивление соломы резанию); технологические (влажность); конструктивные (частота вращения ротора, количество ножей); режимные (скорость подачи материала к измельчающим ножам).

Частота вращения ротора-измельчителя изменялась в пределах от 1500 до 2820 об/мин, что соответствует частоте вращения измельчителей серийно выпускаемых зерноуборочных машин.

1. Учёт факторов уровней и интервалов

Фактор	Условное значение	Интервал уровней	Уровень факторов		
			-1	0	+1
Количество режущих элементов	$x_2$	1	3	4	5
Число оборотов ротора, $c^{-1}$	$x_1$	11	25	36	47

2. Матрица планирования эксперимента

№ опыта	$X_1$	$X_2$	$x_1$	$x_2$	Длина резки, L мм
1	47	5	+	+	34,04
2	25	5	-	+	38,42
3	47	3	+	-	33,68
4	25	3	-	-	34,98
5	47	4	+	0	32,06
6	25	4	-	0	34,9
7	36	5	0	+	33,83
8	36	3	0	-	31,93
9	36	4	0	0	31,08

Анализ априорной информации и поисковых исследований показал, что наиболее значимыми выявились следующие факторы: частота вращения ротора, количество ножей [8–10]. Их значения фиксировали на соответствующих уровнях и представили в виде таблицы 2.

Для поиска критерия оптимизации использовали длину резки материала, на которую влияет количество режущих элементов и частоты вращения ротора-измельчителя экспериментальной установки. В результате максимальное значение, значение первого фактора  $x_1$  (число оборотов) составило  $47 c^{-1}$  и  $\min 25 c^{-1}$ . Для второго фактора  $x_2$  учитывались конструктивные особенности самой установки, поэтому  $\max$  и  $\min$  значения составили 1 и 5 режущих элементов. Меняли значение первого фактора с помощью частотного преобразователя, значение второго фактора – путём изменения количества режущих элементов на валу ротора-измельчителя экспериментальной установки.

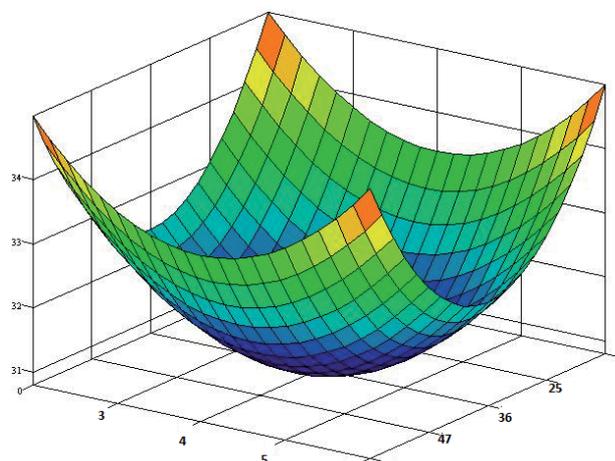


Рис. 2 – Поверхность зависимости длины частицы измельчаемого материала от количества ножей и оборотов ротора

Полученные в результате эксперимента данные были обработаны компьютерными программами по статистическому анализу и рациональному планированию в соответствии с математической статистикой в среде Mathcad 14.0.

Нами получено уравнение регрессии для определения качественных показателей работы измельчителя:

$$Y = 31,08 - 1,42x_1 + 0,95x_2 - 0,77x_1x_2 + 2,4x_1^2 + 1,8x_2^2, \quad (1)$$

где  $Y$  – длина соломины после измельчителя в мм.

Полученную поверхность отклика изучали с использованием двумерных сечений, для более детального изучения провели каноническое преобразование:

$$x_1 = \frac{x_1 - x_2}{\Delta_1} = \frac{x_1 - 36}{11}, \quad (2)$$

$$x_2 = \frac{x_2 - x_1}{\Delta_2} = \frac{x_2 - 4}{1}. \quad (3)$$

Решив систему уравнений, мы нашли координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = 0,26; \quad x_2 = -0,21.$$

Подставив полученные значения  $x_1$  и  $x_2$  в уравнение регрессии, найдём значение параметра оптимизации в центре поверхности отклика  $Y = 30,79$  мм, коэффициенты регрессии в канонической форме равны  $B_{11} = 2,59$ ;  $B_{22} = 1,61$ ; инварианты  $L_1$  и  $L_2$  равны 4,2.

Уравнение регрессии примет вид:

$$Y_s - 30,79 = -2,59X_1^2 - 1,61X_2^2, \quad (4)$$

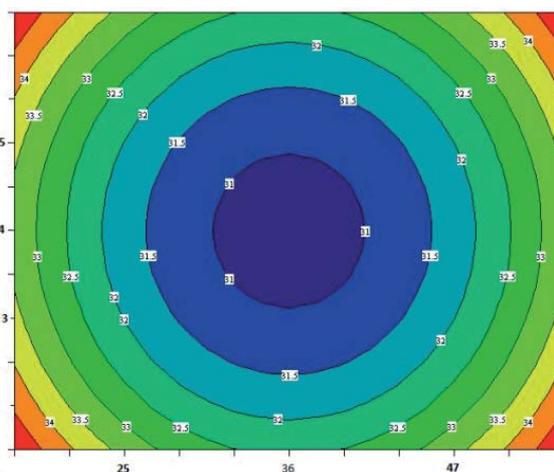


Рис. 3 – Двумерное сечение поверхности отклика длины резки материала в зависимости от количества ножей и оборотов ротора

### 3. Характеристика двумерного сечения отклика длины измельчаемого материала

Значения в центре сечения		Отклик в центре сечения по YXS, мм	Угол поворота оси координат $\alpha$ , град.
X1S	X2S		
0,26	-0,21	30,79	-26°

или

$$\frac{X_1^2}{Y-30,79} + \frac{X_2^2}{Y-30,79} = 1. \quad (5)$$

$$-2,59 \quad -1,62$$

В данном случае поверхность отклика представляет собой эллипсоид, центр которого – это min. В результате подстановки различных значений отклика  $Y$  в уравнение (1) мы получили сопряжённые линии (рис. 2, 3). Для поиска оптимальных количественных показателей использовали Вк-план (табл. 3).

**Результаты исследования.** В результате системного анализа конструкций измельчителей соломы зерноуборочного комбайна по научным источникам и патентам было намечено перспективное направление в создании измельчителя соломы. В ходе проведения лабораторных исследований на экспериментальной установке измельчителя было определено, что равномерность распределения измельчённого материала от оси комбайна к крайним точкам уменьшалась. Степень измельчения соломы варьировала в пределах от 0,05 до 0,2 м. Были получены уравнения регрессии для определения рациональных параметров. Рациональные конструктивно-режимные параметры измельчителя при скорости воздушного потока 2 м/с и длина резки, равной 30,79 мм, количество режущих элементов на диске, ротора-измельчителя экспериментальной установки – 4 шт., частота вращения ротора – 2160 об/мин.

**Вывод.** Совмещение в одном технологическом средстве нескольких технологических операций позволяет значительно сократить затраты вы-

вода соломы из измельчителя и распределения последней по полю путём создания непрерывно действующего воздушного потока ротором измельчителя. Скорость воздушного потока в этом случае должна быть больше критической скорости витания измельчённого материала. Напорный поток воздуха, создаваемый ротором измельчителя, транспортирует материал в зону диффузора, где располагаются лопатки, распределяющие измельчённую солому за комбайном по полю.

### Литература

1. Сторожук Т.А. Ультразвуковое обеззараживание животноводческих стоков // Сельский механизатор. 2014. № 1 (59). С. 34–35.
2. Волошин М.И., Лебедь Д.В., Брусенцов А.С. Результаты интродукции нового бобового растения – гуара (*cyatopsis tetragonoloba* (l) Taub) // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 58. С. 84–91.
3. Пат. 2530811 Российская Федерация МПК А01F 29/00. Режущий сегмент измельчителя кормов / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова и др.; заявит. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ; №2015154361/13; заявл. 17.12.2015; опубл. 10.08.2016; Бюл. № 22.
4. Пат. 2530811 Российская Федерация МПК А01K 5/02. Раздатчик-измельчитель рулонных тюков / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова; заявит. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ; №201322009/13; заявл. 13.05.2013; опубл. 10.10.2014; Бюл. № 28. С. 3.
5. Гаврилов М.Д. Раздатчик-измельчитель рулонной заготовки / М.Д. Гаврилов, М.И. Туманова, Д.П. Сысоев [и др.] // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. стат. по матер. IX Всерос. конф. молодых ученых / отв. за вып. А.Г. Кошаев. Краснодар, 2016. С. 330–331.
6. Пат. 2611829 Российская Федерация МПК А01F 12/40. Измельчитель соломы для зерноуборочного комбайна / Е.И. Трубилин, А.С. Брусенцов, М.И. Туманова, А.А. Михеенко; заявит. и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ; № 2016100751; заявл. 11.01.2016; опубл. 01.03.2017; Бюл. № 7.
7. Брусенцов А.С. К вопросу совершенствования измельчителя соломы на зерноуборочном комбайне // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. стат. по матер. 71-й науч.-практич. конф. преподават. по итогам НИР за 2015 г. / отв. за вып. А.Г. Кошаев. Краснодар, 2016. С. 196–197.
8. Фролов В.Ю., Туманова М.И. Анализ факторов, влияющих на оптимальные конструктивно-режимные параметры раздатчика-измельчителя // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. стат. по матер. 71-й науч.-практич. конф. преподават. по итогам НИР за 2015 г. / отв. за вып. А.Г. Кошаев. Краснодар, 2016. С. 260–261.
9. Брусенцов А.С. Снижение дробления зерна барабаном с упругим покрытием // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 4. С. 35–36.
10. Брусенцов А.С. Сжатие вороха гороха в молотильном устройстве комбайна // Сельский механизатор. 2015. № 2. С. 16–17.