

ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВОРСА БАРАБАНА РОТОРНО-БИЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ УБОРКЕ ЛЬНА

М. В. ЦАЙЦ, И. А. ГРАЩЕНКО, И. И. СЕРГЕЕВА, Е. Л. ИОНАС, И. А. САВЧЕНКО

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: maksim.caic@gmail.com*

(Поступила в редакцию 04.09.2025)

Полиамидные и полипропиленовые материалы находят широкое применение в самых различных отраслях, что обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами. Исследование возможности их применения в сельском хозяйстве может основываться на нескольких предпосылках: высокая прочность и износостойкость при наличии упругих свойств, устойчивость к химическим веществам, водонепроницаемость и устойчивость к влаге, легкость в обработке и формовании, высокие экологические характеристики, долговечность и устойчивость к воздействию ультрафиолета. Эти предпосылки создают основу для дальнейшего изучения и внедрения полиамидных материалов в различные аспекты сельского хозяйства, что может привести к улучшению производственных процессов и повышению качества продукции.

Настоящее исследование посвящено изучению износостойкости полиамидного ворса, применяемого в вычесывающем барабане роторно-бильного аппарата для обработки льна. Установлено, что износ применяемого в роторно-бильном аппарате ворса из полиамидного материала носит неоднородный характер:

– наблюдается выраженный скос у вершины ворса из-за контакта с металлической декой. Также присутствует определенная деформация, приводящая к увеличению площади поперечного сечения ворса. 74,7 % измерений показали увеличение сечения ворса относительно исходных образцов, что указывает на пластические деформации;

– зафиксирован менее интенсивный износ передней поверхности (по ходу вращения барабана), снижающийся от вершины к основанию. Имеется зависимость износа от расположения ворса на вычесывающем барабане, обусловленное тем, что ворс, расположенный ближе к диску ротора, воздействует на наиболее спутанную ленту льна;

– обнаружены локальные повреждения в виде порезов, требующие дополнительного изучения.

Перспективы дальнейших исследований: углубленное изучение влияния параметров барабана и стеблевой массы на износ, оптимизация геометрии ворса и материалов для повышения износостойкости, анализ аномалий в позиции б барабана и необъяснимых повреждений в виде порезов.

Ключевые слова: *лен, роторно-бильный аппарат, вычесывающий барабан, ворс, полиамидный материал.*

Polyamide and polypropylene materials are widely used in a wide variety of industries due to their unique physical and chemical properties. Research into their potential use in agriculture can be based on several factors: high strength and wear resistance coupled with elastic properties, chemical resistance, water and moisture resistance, ease of processing and molding, high environmental performance, durability, and UV resistance. These factors provide the foundation for further study and implementation of polyamide materials in various aspects of agriculture, which could lead to improved production processes and higher product quality. This study examines the wear resistance of polyamide pile used in the combing drum of a flax processing rotor. It was found that the wear of the polyamide pile used in the rotor is non-uniform:

– a pronounced slope is observed at the pile tip due to contact with the metal deck. A certain deformation is also present, leading to an increase in the pile cross-sectional area. 74.7 % of measurements showed an increase in pile cross-sectional area relative to the original samples, indicating plastic deformation;

– less intense wear was recorded on the front surface (as the drum rotates), decreasing from the tip to the base. Wear is dependent on the location of the pile on the combing drum, due to the fact that pile located closer to the rotor disk impacts the most tangled flax sliver;

– localized damage in the form of cuts was detected, requiring further study.

Future research opportunities include: in-depth study of the influence of drum parameters and stem mass on wear, optimization of pile geometry and materials to improve wear resistance, and analysis of anomalies in position 6 of the drum and unexplained damage such as cuts.

Key words: *flax, rotary beater, combing drum, pile, polyamide material.*

Введение

Полиамидные (ПА) и полипропиленовые (ПП) материалы находят широкое применение в самых различных отраслях, что обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами. Исследование возможности применения ПА и ПП материалов в сельском хозяйстве может основываться на нескольких предпосылках: высокая прочность и износостойкость при наличии упругих свойств, устойчивость к химическим веществам, водонепроницаемость и устойчивость к влаге, легкость в обработке и формовании, высокие экологические характеристики, долговечность и устойчивость к воздействию ультрафиолета. Эти предпосылки создают основу для дальнейшего изучения и внедрения ПА и ПП материалов в различные аспекты сельского хозяйства, что может привести к улучшению производственных процессов и повышению качества продукции.

Исследованиями физико-механических свойств ПП и ПА занимались А. Г. Зейнаб, Р. А. Гамида, Р. Б. Шафаг [1]. Исследованиями некоторых технологических свойств и эксплуатационных показателей изделий из ПА и ПП занималась М. М. Акаева [2]. В результате исследований ей было установлено положительное влияние минеральных наполнителей МВ -03-97, МТ-05-96 на текучесть расплава. Работа Насер Гарешаш посвящена повышению упругости композиционного материала и улучшению его сопротивляемости к внешним воздействиям [3]. В работах С. Д. Игнатова и С. И. Цехош исследовались упругие характеристики щёточного ворса из ПА и ПП рабочего оборудования коммунальной машины. Ими получены графики изменения деформации ворса и силы прижатия щетки к очищаемой поверхности во времени [4]. Также установлено влияние износа ворса цилиндрической щётки на его упругие характеристики [5].

Исследование новых способов применения полиамидных материалов может привести к разработке инновационных технологий и решений, способствующих повышению эффективности и устойчивости сельского хозяйства.

С целью повышения чистоты обмолота лент льна, снижения повреждения стеблей и отхода их в путанину по комбайновой технологии авторами предложена конструкция роторно-бильного аппарата для отделения семенной части урожая от стеблей [6, 7, 8], одним из рабочих элементов которого является цилиндрический барабан (рис. 1, а) с вычесывающим ворсом из полиамидного материала цилиндрической формы средним диаметром 3,12 мм и длиной выступающей части – 45,0 мм (рис. 1, в). Ворс установлен девятью продольными рядами, при этом воздействие на обрабатываемую ленту льна осуществлялось от 1-го ряда к 9-му (рис. 1, б). Рабочий процесс предлагаемого аппарата предполагает, что после обмолота, лента стеблей льна попадает под воздействие вычесывающей щетки. Движущийся в зажимном транспортере слой стеблей неоднороден, при этом стебли в слое расположены с перекосом в направлении по ходу и против хода движения ленты [9, 10]. Физико-технологические свойства стеблей и ленты льна также отличаются высокими показателями на разрыв, жесткостью и упругими свойствами в сравнении с другими сельскохозяйственными культурами [9, 11], что оказывает существенное влияние на износ рабочих органов.

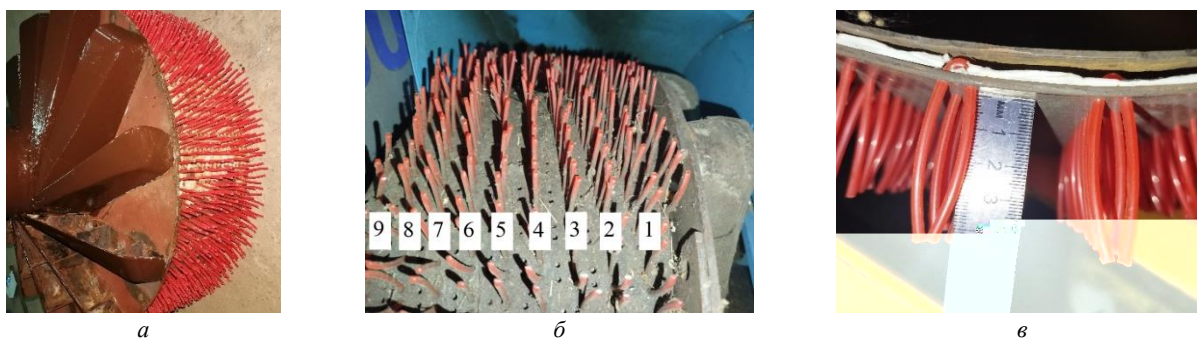


Рис. 1. Вычесывающий барабан роторно-бильного аппарата
а – вид ротора; б – вид вычесывающего барабана спереди; в – вид вычесывающего барабана сбоку

Производственные испытания предложенной конструкции роторно-бильного аппарата в льноуборочном комбайне показали высокие качественные результаты и экономическую эффективность в сравнении с серийным барабанно-гребневым аппаратом [12, 13, 14]. Вместе с тем остаются неисследованными влияние параметров вычесывающего барабана и его элементов на процесс выделения семян из обмолоченной ленты стеблей льна, а также влияние стеблевой массы на работоспособность элементов конструкции устройства. Одним из таких параметров является устойчивость к износу и характер износа ворса вычесывающего барабана.

Целью данной работы является определение характера износа ворса вычесывающего барабана из полиамидного материала, установление направлений его дальнейшего исследования.

Основная часть

Для изучения характера износа ворса из ПА при взаимодействии с лентой стеблей льна с вычесывающего барабана, который испытывался при проведении производственных испытаний [9, 10, 12], общей наработкой 56 часов, были срезаны три поперечных ряда с интервалом по периметру барабана 120°. При этом фиксировалась последовательность расположения ворсин на барабане как показано на рис. 1, б. Визуальный анализ износа ворса показал, что износ ворса неоднородный и имеет ярко выраженный скос у вершины (рис. 2), связанный со взаимодействием ворса и металлической поверхности нижней деки, а также менее выраженный износ передней, по ходу вращения барабана, поверхности

ворса. На некоторых ворсинах присутствует износ в виде порезов, не имеющих конкретного обоснования. Износ передней поверхности снижается от верхней части ворса к его основанию.

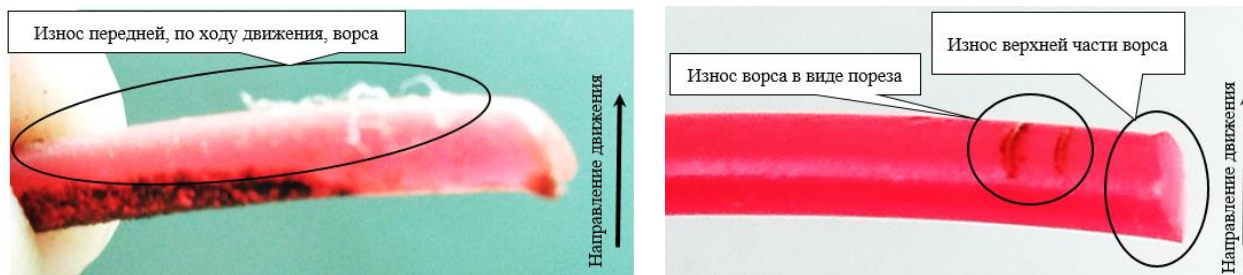


Рис. 2. Виды износа ворса роторно-бильного аппарата

Исходя из характера износа было принято решение по определению величины износа ворса по длине, а также оценке влияния износа ворса, в зависимости от его расположения на вычесывающем барабане. Поскольку износ имеет односторонний характер, то замеры производились в двух плоскостях по значениям x_B и y_B – сечение ворса у вершины, x_C и y_C – сечение ворса по середине длины ($l/2$), x_H и y_H – сечение ворса в нижней части (табл. 1).

Таблица 1. Параметры измерений ворса из ПА материала применяемого в роторно-бильном аппарате

Графическая интерпретация	Условное обозначение	Расшифровка
	x_B , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении движения щетки
	y_B , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении, перпендикулярном движению щетки
	x_C , мм	Величина сечения ворса на расстоянии $l/2$ длины в направлении движения щетки
	y_C , мм	Величина сечения ворса на расстоянии $l/2$ длины в направлении, перпендикулярном движению щетки
	x_H , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении движения щетки
	y_H , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении, перпендикулярном движению щетки

Измерение исследуемых параметров ворса проводили с помощью электронного штангенциркуля ШЦЦ-I ГОСТ 166–89 1-го класса точности. Результаты измерений сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерений и статистического анализа

Определяемые параметры	Положение ворса на вычесывающем барабане									среднее значение	минимальное значение	максимальное значение	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Первый срез	y_B	2,54	2,37	2,6	2,56	2,57	2,87	2,85	2,8	2,66	2,647	2,37	2,87
	x_B	2,91	2,62	2,97	2,92	2,98	3,12	3,06	3,07	3,04	2,966	2,62	3,12
	y_C	3,13	3,05	3,15	3,07	3,11	3,17	3,15	3,1	3,15	3,120	3,05	3,17
	x_C	3,19	3,09	3,17	3,16	3,15	3,2	3,17	3,15	3,1	3,153	3,09	3,2
	y_H	3,16	3,08	3,15	3,05	3,13	3,23	3,12	3,15	3,19	3,140	3,05	3,23
	x_H	3,17	3,1	3,2	3,12	3,18	3,28	3,18	3,16	3,23	3,180	3,1	3,28
Второй срез	y_B	2,65	2,94	2,82	2,92	2,62	3,07	2,9	3,04	3,06	2,891	2,62	3,07
	x_B	2,76	3,03	3	3,06	2,9	3,09	3,09	3,06	3,11	3,011	2,76	3,11
	y_C	3,02	3,08	3,08	3,12	3,12	3,16	3,18	3,13	3,15	3,116	3,02	3,18
	x_C	3,04	3,13	3,11	3,19	3,13	3,18	3,21	3,16	3,16	3,146	3,04	3,21
	y_H	3,04	3,11	3,09	3,12	3,12	3,16	3,17	3,15	3,13	3,121	3,04	3,17
	x_H	3,04	3,12	3,12	3,17	3,15	3,17	3,22	3,18	3,16	3,148	3,04	3,22
Третий срез	y_B	3	2,83	2,89	3,1	2,84	3,1	3,03	3,09	3,1	2,998	2,83	3,1
	x_B	2,98	2,91	2,82	3,11	3,01	3,12	3,06	2,95	3,1	3,007	2,82	3,12
	y_C	3,19	3,06	2,97	3,17	3,07	3,02	3,08	3,11	3,12	3,088	2,97	3,19
	x_C	3,22	3,09	2,92	3,19	3,1	3,13	3,06	3,08	3,16	3,106	2,92	3,22
	y_H	3,08	3,04	3	3,16	3,07	3,13	3,03	3,1	3,19	3,089	3	3,19
	x_H	3,15	3,07	3,05	3,17	3,07	3,09	3	3,07	3,19	3,096	3	3,19
Стандартная ошибка	0,045	0,046	0,036	0,035	0,041	0,021	0,024	0,021	0,028				
Стандартное отклонение	0,191	0,199	0,153	0,151	0,177	0,088	0,102	0,090	0,122				
Среднее значение	3,015	2,984	3,006	3,076	3,018	3,127	3,087	3,086	3,111				

Анализ данных табл. 2 показывает, что стандартная ошибка, полученная на основе выборки, достаточно точно отражает реальное значение в изучаемой группе. При этом следует отметить, что приведенные значения достаточно часто превышают значения оригинальных образцов ПА ворса (не использованных в работе) максимальное значение которых составляет $d_{\max} = 3,18$ мм (среднее – 3,12 мм, а минимальное – 3,03 мм). Это свидетельствует о дополнительных деформациях ворса в процессе эксплуатации аппарата. Кроме того, 121 значение выборки (74,7 %) превышает минимальное значения $d_{\min} = 3,03$ мм оригинальных образцов ворса из ПА материала, и для получения более достоверных данных об износе ворса вычесывающего барабана роторно-бильного аппарата необходима более существенная наработка.

Для оценки износа ворса примем, что в результате износа поперечное сечение ворсины имеет эллипсовидную форму. Тогда величину износа определим, как разницу между площадью сечения целой ворсины и площадью сечения изношенной ворсины по зависимости:

$$\delta_i = S_{\text{ц}} - S_{\text{изн}} = \frac{\pi d_{\max}^2}{2} - \frac{\pi x_i y_i}{2} \quad (1)$$

где δ_i – величина износа ворса ПА в i -м поперечном сечении, мм²; $S_{\text{ц}}$ – площадь поперечного сечения целой ворсины, мм²; $S_{\text{изн}}$ – площадь поперечного сечения изношенной ворсины, мм²; d_{\max} – максимальный диаметр целой ворси, мм; x_i – большая ось i -го поперечного сечения изношенной ворсины, мм; y_i – малая ось i -го поперечного сечения изношенной ворсины, мм.

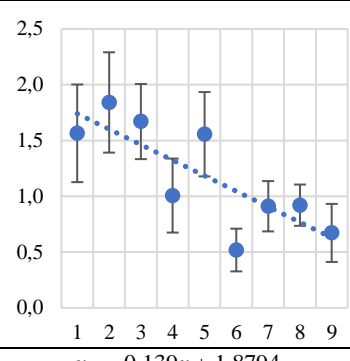
В результате расчетов и группировки полученных результатов произвели однофакторный анализ зависимости износа ворса по его длине (табл. 3), а также зависимость износа ворса от расположения на вычесывающем барабане, согласно схеме, приведенной на рис. 1, б (табл. 4). С целью определения однородности полученных значений была выполнена нормировка опытных данных, состоящая в вычислении стандартного отклонения от их среднего арифметического значения и в пересчете данных в этой шкале. В результате такого преобразования была получена шкала стандартных отклонений, где некоторые значения выделялись как по знаку, так и по абсолютной величине. Но эти значения не превышали двух стандартных отклонений, поэтому их можно считать принадлежащими одной общей совокупности.

Таблица 3. Алгоритм однофакторного анализа зависимости износа ворса δ по его длине [15]

Показатели	Величина износа ворса δ , мм ²									Число уровней $n_{\text{ур}} = 3$	График зависимости износа ворса δ по его длине
	$\delta_{\text{в}}$ (верхнее сечение)			$\delta_{\text{с}}$ (среднее сечение)			$\delta_{\text{н}}$ (нижнее сечение)				
δ	4,27	1,89	2,95	0,20	0,74	1,03	0,15	0,64	1,22	$\Phi = (\sum \delta)^2 / N = 113,795$	
	6,13	2,59	3,08	1,08	0,84	2,26	0,89	0,74	1,51		
	3,75	1,85	0,74	0,20	0,25	0,00	0,05	0,35	0,15		
	4,14	3,95	2,46	0,65	0,54	0,93	0,94	0,45	1,08		
	3,85	0,98	0,69	0,50	0,10	1,04	0,25	0,15	0,69		
	2,18	1,27	1,32	0,20	0,35	1,08	0,30	0,15	1,61		
	2,38	0,94	1,57	0,55	0,25	0,84	0,25	0,35	0,93		
	4,39			1,46			1,37				
n	22			22			22			$N = 66$	
$\sum \delta$	57,375			15,079			14,209			$\sum \sum \delta = 86,663$	
$\sum \delta^2$	55,7985			1,2066			0,8075			$\sum \sum \delta^2 = 57,813$	
$L = (\sum \delta^2) / n$	149,632			10,3356			9,1764			$\sum L = 169,144$	
$\Phi = \sum \delta / n$	2,608			0,685			0,646				
S	1,0226			0,2024			0,1853				
Δx	0,2000			0,0396			0,0362				

Из данных табл. 3 видно, что износ ворсин по высоте происходит по полиномиальной кривой по зависимости $\delta = 0,9415x^2 - 4,747x + 6,4135$ с достаточно высокой точностью. Анализ графической интерпретации полученной зависимости показал эксцесс на участке от $\delta_{\text{с}}$ до $\delta_{\text{н}}$, что явно выходит за пределы износа по всей полученной выборке данных. Из чего следует, что для получения более точной зависимости износа по длине ворсины необходимо провести дополнительные исследования.

Таблица 3. Алгоритм однофакторного анализа зависимость износа ворса от расположения на вычесывающем барабане [15]

Показатели	Уровни варьирования фактора (от стояние от диска)									Число уровней $n_{ур} = 9$	График износа ворса δ зависимости от положения размещения на вычесывающем барабане
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
δ	4,27	6,12	3,75	4,14	3,85	1,81	2,18	2,38	3,18	$\Phi =$ $= (\sum \delta)^2 / N =$ $= 170,42$	
	0,20	1,08	0,19	0,64	0,49	-0,1	0,19	0,54	0,54		
	0,14	0,88	0,05	0,93	0,25	-0,75	0,30	0,24	-0,30		
	4,39	1,89	2,59	1,84	3,94	0,98	1,80	1,27	0,93		
	1,46	0,74	0,83	0,25	0,54	0,10	-0,15	0,34	0,24		
	1,36	0,64	0,74	0,34	0,44	0,14	-0,14	0,15	0,34		
	1,84	2,94	3,08	0,74	2,45	0,69	1,32	1,56	0,78		
	-0,25	1,03	2,26	0,0	0,93	1,03	1,08	0,83	0,39		
0,64	1,22	1,51	0,14	1,07	0,69	1,60	0,93	-0,10			
n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	$N = 54$	
$\sum \delta$	14,08	16,57	15,02	9,05	14,0	4,66	8,19	8,28	6,04	$\sum \sum \delta = 95,93$	
$\sum \delta^2$	45,48	55,28	38,99	22,60	39,29	6,90	13,69	11,81	12,35	$\sum \sum \delta^2 = 246,45$	
$L = (\sum \delta^2) / n$	22,02	30,50	25,09	9,11	21,79	2,41	7,46	7,62	4,059	$\sum L = 110,96$	
$\Phi = \sum \delta / n$	1,56	1,84	1,66	1,006	1,55	0,51	0,91	0,920	0,671		
S	1,71	1,75	1,31	1,29	1,47	0,74	0,88	0,723	1,018		
Δx	0,818	0,841	0,630	0,620	0,707	0,358	0,422	0,346	0,486		

Полученные средние значения износа ворса в зависимости от положения размещения на вычесывающем барабане наиболее точно аппроксимируются линейной функцией $\delta = -0,139x + 1,8794$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,6326$. Это обусловлено тем, что ворс, расположенный ближе к диску ротора, воздействует на наиболее спутанную ленту льна. При этом значение доверительного интервала, рассчитанного при 95%-ной вероятности в положении (6) на вычесывающем барабане не охватывает область прямой. Такое положение может объясняться особенностью расположения в камере обмолота, что требует дополнительных наблюдений.

Заключение

Производственные испытания подтвердили, что предложенная конструкция аппарата обеспечивает высокое качество обмолота льна (чистоту выделения семян, снижение повреждения стеблей) и экономическую эффективность по сравнению с серийными аналогами.

Установлено, что износ применяемого в роторно-бильном аппарате ворса из ПА материала носит неоднородный характер:

- наблюдается выраженный скос у вершины ворса из-за контакта с металлической декой. Также присутствует определенная деформация, приводящая к увеличению площади поперечного сечения ворса. 74,7 % измерений показали увеличение сечения ворса относительно исходных образцов, что указывает на пластические деформации в процессе эксплуатации;

- зафиксирован менее интенсивный износ передней поверхности (по ходу вращения барабана), снижающийся от вершины к основанию. Имеется зависимость износа от расположения ворса на вычесывающем барабане, обусловленное тем, что ворс, расположенный ближе к диску ротора, воздействует на наиболее спутанную ленту льна;

- обнаружены локальные повреждения в виде порезов, требующие дополнительного изучения.

По длине ворса износ описывается полиномиальной зависимостью ($\delta = 0,9415x^2 - 4,747x + 6,4135$), с аномалией в зоне между средним и нижним сечениями. По расположению на барабане, интенсивность износа линейно снижается от 1-го к 9-му ряду ($\delta = -0,139x + 1,8794$, $R^2 = 0,6326$).

Перспективы дальнейших исследований: углубленное изучение влияния параметров барабана и стеблевой массы на износ, оптимизация геометрии ворса и материалов для повышения износостойкости, анализ аномалий в позиции 6 барабана и необъяснимых повреждений в виде порезов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ganbarli, Z. A. Physical-Mechanical and Thermal Deformation Properties of Plasticized Highly Filled Composites Based on Polypropylene and Quartz / Z. A. Ganbarli, H. R. Azizbayli, Sh. R. Bagirova // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2023. – No. 2. – P. 118–141. – DOI 10.17122/ogbus-2023-2-118-141.
2. Акаева, М. М. Влияние минеральных наполнителей на полипропилен и полиамид / М. М. Акаева // Известия Чеченского государственного университета. – 2020. – № 4(20). – С. 33–37. – DOI 10.36684/12-2020-20-4-33-37.
3. Насер, Г. Физико-механические свойства композитов полипропилена, наполненных модифицированными наносиликатами / Г. Насер, Д. Х. Халиков // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2012. – Т. 55, № 12. – С. 981–988.
4. Игнатов, С. Д. Упругие характеристики щётчного ворса рабочего оборудования коммунальной машины / С. Д. Игнатов, С. И. Цехош // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16, № 1(65). – С. 6–17.

5. Цехош, С. И. Исследование влияния износа цилиндрической щётки на её упругую характеристику, на требуемое усилие прижатия и на давление на выходе гидропневмоаккумулятора устройства управления положением щеточного рабочего органа / С. И. Цехош, Б. В. Журавский, П. И. Цехош // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 1(77). – С. 106–119. – DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-1-106-119.
6. Патент 2788696 С1 РФ Устройство для отделения семенных коробочек и семян льна от стеблей: № 3; заявл. 16.06.2022; опубл. 24.01.2023 / М. В. Симонов, В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет» – 3 с.
7. Патент 21293 Респ. Беларусь, МПК А 01d 45/06 (2006.01) Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: № а 20130044; заявл. 14.01.13; опубл. 25.05.17 / В. Е. Кругленья, В. И. Коцуба, П. Д. Сентюров, А. Д. Сентюров, М. В. Цайц, Г. А. Райлян, И. Л. Подшиваленко // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 4 (117). заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – С. 57.
8. Сентюров, П. Д. Обоснование кинематических параметров роторного очесывающего аппарата / П. Д. Сентюров, М. В. Цайц, В. Е. Кругленья // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2013. – № 1(12). – С. 74–78.
9. Цайц, М. В. Отделение семенной части от стеблей льна роторно-бильным аппаратом при комбайновой уборке: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Цайц Максим Валерьевич. – Горки, 2024. – 239 с.
10. Обоснование продольного угла наклона боковой поверхности бича к плоскости диска роторно-бильного обмолачивающего аппарата / М. В. Цайц, В. А. Левчук, В. О. Коцуба [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1. – С. 149–153.
11. Анализ исследований физико-механических и технологических характеристик стеблей и лент льна / А. В. Чайчиц, В. А. Левчук, М. В. Цайц, А. В. Шик // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 162–167.
12. Повышение эффективности получения семян льна-долгунца при комбайновой уборке / В. А. Шаршунов, М. В. Цайц, С. В. Курзенков [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 7(146). – С. 44–59. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-7-44-59.
13. Результаты производственных испытаний применения роторно-бильного аппарата в прицепном льнокомбайне / М. В. Цайц, В. А. Левчук, В. Г. Ковалев [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1. – С. 134–139.
14. Результаты производственных испытаний и экономическая оценка применения роторного бильно-вычесывающего устройства на льноуборочном комбайне / В. А. Шаршунов, В. Н. Босак, М. В. Цайц [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 324–336. – DOI 10.29235/1817-7204-2023-61-4-324-336.
15. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1972. – 168 с.