

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНО-БИЛЬНОГО АППАРАТА В ПРИЦЕПНОМ ЛЬНОКОМБАЙНЕ

М. В. ЦАЙЦ, В. А. ЛЕВЧУК, В. Г. КОВАЛЕВ, И. И. СЕРГЕЕВА, Е. Л. ИОНАС

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: maksimts@tut.by

(Поступила в редакцию 13.01.2025)

Исследования выполнены на базе ОАО «Дворецкий льнозавод». Цель исследований – производственная проверка эффективности применения разработанного в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» обмолачивающего аппарата для отделения семенной части от стеблей льна при реализации однофазной уборки льна-долгунца. Разработанный роторно-бильный аппарат имеет простую конструкцию и материалоемкость в 1,8 раза ниже чем серийный гребневый аппарат, показал высокие результаты качества работы в лабораторных условиях.

Для исследования процессов обмолота был изготовлен опытный образец устройства, который установили в льноуборочный комбайн «Двина-4М» – вместо серийного гребневого очесывающего аппарата. Испытания машиноtractorного агрегата в составе «Беларус-820»+«Двина-4М(р)»+2ПТС-4 проходили 03–11 августа. Опыты проводились в стадии спелости желтой и бурой спелости льна.

Методика проведения производственных испытаний льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом, предполагала изменение регулируемых параметров в пределах: радиальный зазор – 0,007...0,012 м, кратность воздействий бичами на фрагмент ленты льна – 1,27, 1,36 и 1,49.

Для оценки влияния влажности льна на качественные параметры уборки, по результатам измерений построена зависимость физиологической спелости льна и влажности семенных коробочек и стеблей льна.

По результатам исследований получены закономерности изменения чистоты обмолота, степени повреждения семян и стеблей от толщины ленты стеблей льна обмолачиваемой роторно-бильным аппаратом, установленным в льноуборочный комбайн «Двина-4М», а также закономерности изменения чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от радиального зазора в фазе желтой и бурой спелости льна при различных скоростях вращения ротора.

Ключевые слова: лен, роторно-бильный аппарат, обмолот, очес, лента льна, комбайновая технология, совершенствование процесса.

The research was carried out at the premises of the Dvoretzky Flax Mill OJSC. The aim of the research was to test the efficiency of the threshing device developed at the Belarusian State Agricultural Academy for separating the seed portion from flax stems during single-phase harvesting of flax. The developed rotary beater has a simple design and material consumption that is 1.8 times lower than the serial comb device, and has demonstrated high performance in laboratory conditions.

To study the threshing processes, a prototype of the device was manufactured and installed in the Dvina-4M flax harvester instead of the serial comb stripping device. The tests of the machine-tractor unit consisting of Belarus-820 + Dvina-4M (r) + 2PTS-4 were carried out on August 3–11. The experiments were carried out at the yellow and brown ripeness stages of flax.

The methodology for conducting production tests of a flax harvester with a rotary beater assumed changing the adjustable parameters within the range: radial clearance – 0.007 ... 0.012 m, the multiplicity of impacts of the beaters on a fragment of the flax tape – 1.27, 1.36 and 1.49.

To assess the effect of flax moisture on the quality parameters of harvesting, based on the measurement results, a dependence of the physiological maturity of flax and the moisture content of seed pods and flax stems was constructed.

Based on the research results, patterns were obtained in the change in the purity of threshing, the degree of damage to seeds and stems from the thickness of the flax stalk tape threshed by the rotary beater installed in the flax harvester "Dvina-4M", as well as patterns in the change in the purity of threshing and the degree of damage to flax stems from the radial clearance in the phase of yellow and brown ripeness of flax at different rotor speeds.

Key words: flax, rotary beater, threshing, tow, flax strip, combine technology, process improvement.

Введение

Преобладающей технологией уборки семенных посевов льна по-прежнему остается комбайновая. На ее долю приходится более 60 % площадей, убираемых на посевные цели. Реализация комбайновой технологии уборки льна в Республике Беларусь осуществляется льнокомбайнами прицепными ЛК-4А и «Двина 4М», а также самоходным льнокомбайном Палессе LS35 [1, 2, 3]. Процесс отделения семян от стеблей льна в этих сельскохозяйственных машинах осуществляется однобарабанными гребневыми очесывающими аппаратами с присущими данному типу устройства недостатками: повышенное повреждение и отходом стеблей в путанину, защемлением стеблей в межзубовом пространстве, обрыв и выдергивание их из зажимного транспортера, снижение степени очеса семян при повышении растянутости ленты льна. Они также отличаются низкой эффективностью при работе на короткостебельном льне [2, 4]. Решение проблемы повышения качества получаемой льнопродукции и повышения эффективности проведения уборочных работ возможно путем внедрения научно обоснованных способов и технических средств механизации.

Большой вклад в создание технических средств и разработку рациональных технологий уборки льна внесли отечественные ученые и конструкторы П. П. Казакевич, М. М. Боярченко, Н. Н. Быков, М. М. Ковалев, Б. С. Петухов, А. Л. Потарин, Б. Ф. Слоневский, В. И. Соснов, В. И. Сизов, В. Я. Тихомирова, В. Г. Черников, И. А. Юриц и др. М. И. Шлыковым [5] установлены основополагающие зависимости для расчета параметров и режимов работы однобарабанного гребневого очесывающего аппарата. Г. А. Хайлис, Б. П. Можаров и В. Н. Бухаркин занимались вопросами определения ширины «активной» зоны очеса [6, 7, 8], обеспечивающей выделение всех семян и коробочек. Работа В. С. Астахова, С. В. Курзенкова, О. В. Гордеенко [9] посвящена определению растянутости ленты льна, Б. П. Можаровым [10] впервые была введена новая характеристика процесса очеса – удельное число прочесов, характеризующее чистоту очеса гребневым аппаратом независимо от его конструкции. Работы П. Ф. Прибыткова [11] и П. К. Шрамко [12] посвящены выбору оптимального соотношения скорости зажимного транспортера и очесывающего барабана.

Цель исследований – изучение качества работы льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом в условиях производства. Сравнение результатов работы роторно-бильного аппарата в лабораторных условиях с результатами в производственных условиях.

Основная часть

Для подтверждения установленных при проведении лабораторных исследований интервалов варьирования параметров роторно-бильного аппарата [13, 14], разработанного с учетом результатов лабораторных исследований, были проведены его производственные испытания. Для этого был переоборудован льноуборочный комбайн «Двина-4М» – вместо серийного гребневого очесывающего аппарата установлен роторно-бильный аппарат, имеющий следующие конструктивные параметры: радиус ротора 0,35 м, радиус защитного кольца, 0,12 м, количество бичей 12 шт., ширина торцевой поверхности бича 0,055 м, продольный угол наклона боковой поверхности бича 0,21 рад (12°), поперечный угол наклона передней поверхности бича, 1,39 рад (80°), поперечный угол наклона боковой поверхности бича 0,47 рад (27°).

Методика проведения производственных испытаний льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом, предполагала изменение регулируемых параметров в пределах: радиальный зазор – 0,007...0,012 м, кратность воздействий бичами на фрагмент ленты льна – 1,27, 1,36 и 1,49.

Испытания проводили на поле урочища Петруки ОАО «Дворецкий льнозавод» Дятловского района 3–11 августа 2021 г. На момент начала опытов лен находился в стадии желтой спелости. В таблице 1 приведены основные характеристики условий испытаний опытного образца льнокомбайна с роторно-бильным аппаратом.

Таблица 1. Условия испытаний

Характеристика	Значение
Культура, сорт (репродукция)	Лен-долгунец, Ласка (1 р)
Рельеф, град	Уклон не более 10
Фаза спелости льна	Желтая
Спелость коробочек по семенам, %:	
– зеленые	14
– желтые	21
– бурые	65
Влажность, %:	
– стеблей	22,2
– коробочек	14,5
– сорняков	55,6
Полегание стеблестоя, балл	4,5
Высота зоны расположения коробочек в стеблестое над поверхностью поля, см	13,2
Высота расположения зоны коробочек, см	68,7
Общая длина стебля, см	73,9
Засоренность культуры сорняками, %	3,04
Густота стеблестоя, шт/м ²	1606
Диаметр стебля, мм	1,25
Скорость ветра, м/с	До 0,5

Состав агрегата – трактор «Беларус-820» + льнокомбайн «Двина-4М» с роторно-бильным аппаратом + прицеп 2ПТС-4,5.

Полевые испытания опытного образца льноуборочного комбайна проводили после настройки параметров и режимов работы рабочих органов в соответствии со значениями, полученными путем теоретических и лабораторных исследований [15].

Испытания проведены на соответствие машины введенным в действие 5 марта 2008 г. требованиям ТУ ВУ 300079094.006–2007 на комбайн льноуборочный «Двина-4М».

Лента льна, уложенная на поле льноуборочным комбайном с роторно-бильным аппаратом, соответствовала предъявляемым требованиям (растянутость не превышала 1,1–1,15).

Влияние влажности и спелости льна на качественные показатели устройств для отделения семян от стеблей льна отмечается многими исследователями [2, 10, 11, 12, 15, 16]. Наступление желтой спелости у сорта Ласка произошло 29 июля, при этом в стеблестое льна содержалось 17 % зеленых, 56 % желтых и 28 % бурых коробочек. 6 августа отмечено начало фазы полной спелости льна-долгунца. Количество бурых коробочек в стеблестое льна достигло 88 %, желтых – 11 % и зеленых – 1 % соответственно.

В процессе созревания льна средняя влажность стеблей раннеспелого и позднеспелого сортов мало отличалась [17]. При этом средняя влажность стеблей $W_{лс}$ и коробочек $W_{лк}$ уменьшалась по параболическим кривым (рис. 1).

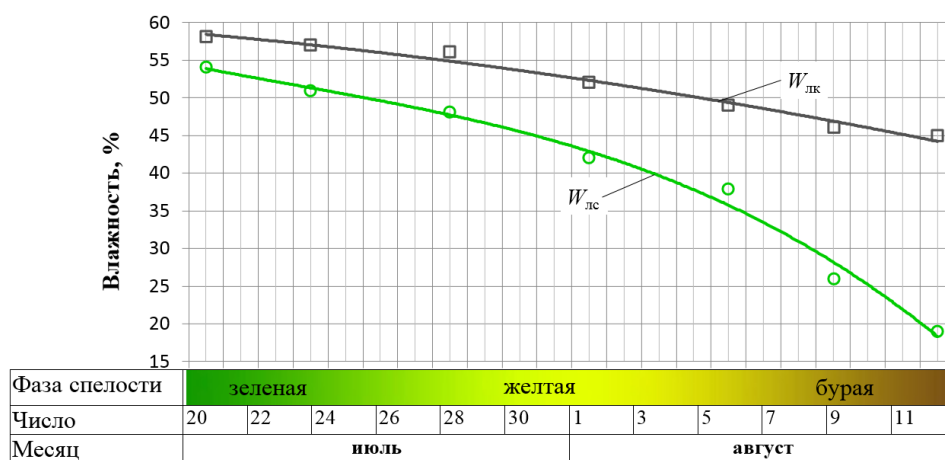


Рис. 1. Зависимости влажности льна от фазы спелости

Средняя влажность коробочек льна изменялась более существенно, что особенно заметно в конце желтой и бурой спелости. При проведении эксперимента у сорта Ласка средняя влажность коробочек уменьшалась с 54,5 % в фазе зеленой спелости до 17 % в фазе бурой спелости.

В процессе полевых испытаний исследовали качественные показатели работы обмолачивающего аппарата в желтой (рис. 2) и бурой (рис. 3) фазах спелости льна.

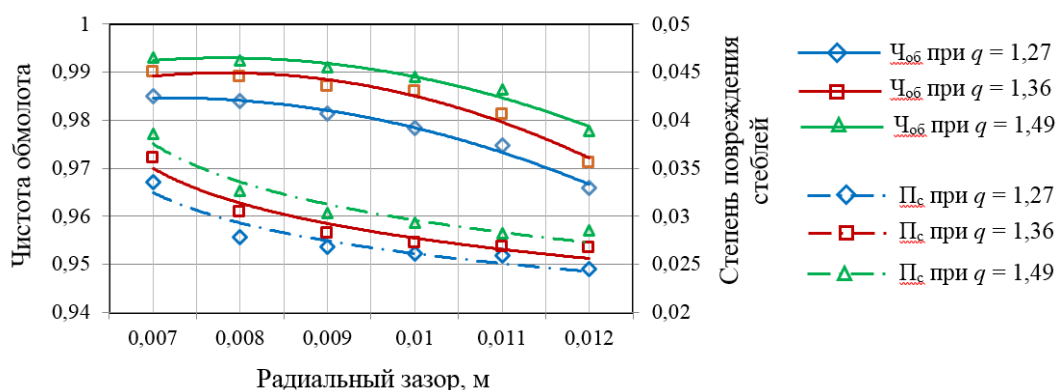


Рис. 2. Зависимости чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от радиального зазора в фазе желтой спелости льна

Исследование влияния радиального зазора на параметры оптимизации в фазе желтой спелости льна при различной окружной скорости ротора показали, что увеличение зазора с 0,007 до 0,012 м приводит к снижению чистоты обмолота и степени повреждения стеблей. Это обусловлено уменьшением силового воздействия рабочих органов на обрабатываемый материал в молотильном пространстве. При кратности воздействий бичей на фрагмент ленты льна $q = 1,27$ рациональное значение зазора

находится в диапазоне $0,008...0,01$ м, при кратности воздействий $q = 1,36$ – в диапазоне $(9...11) \cdot 10^{-3}$ м, при кратности воздействий $q = 1,49$ – в диапазоне $0,01...0,012$ м соответственно.

Исследование влияния радиального зазора на параметры оптимизации в фазу бурой спелости льна при различной окружной скорости ротора (рис. 4) показали, что при кратности воздействий $q = 1,27$ рациональное значение радиального зазора находится в диапазоне $(7,6...11,0) \cdot 10^{-3}$ м, при кратности воздействий $q = 1,36$ – в диапазоне $(8...12) \cdot 10^{-3}$ м, при кратности воздействий $q = 1,49$ – в диапазоне $(9...12) \cdot 10^{-3}$ м. Что также связано с уменьшением силового воздействия рабочих органов на обрабатываемый материал в молотильном пространстве.

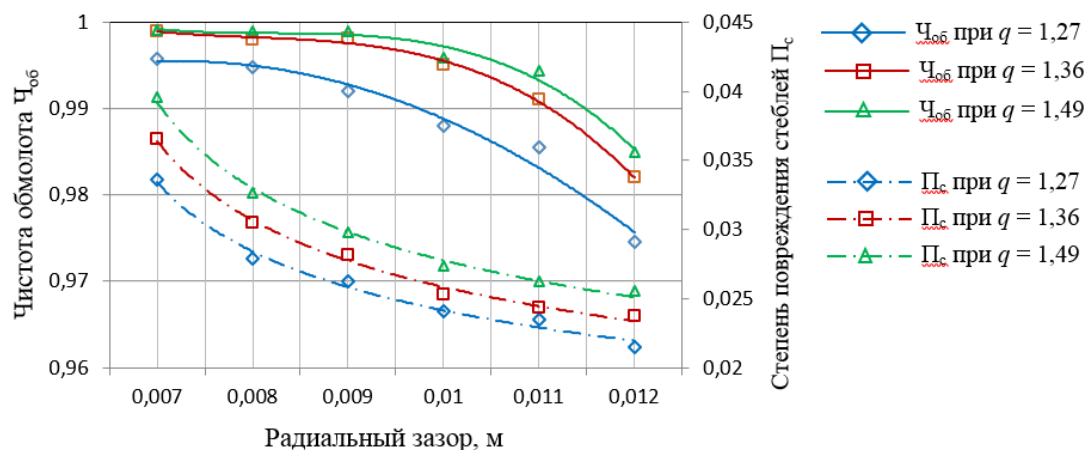


Рис. 3. Зависимости чистоты обмолота и степени повреждения стеблей льна от радиального зазора в фазе бурой спелости льна

Из вышеизложенного следует, что спелый лен лучше поддается обмолоту и при кратности воздействий $q = 1,27...1,36$ в диапазоне изменения радиального зазора $(7,6...12) \cdot 10^{-3}$ м чистота обмолота не превышает допустимых регламентом значений. В фазе желтой спелости уменьшение чистоты обмолота ниже $0,98$ наблюдается при кратности воздействий $q = 1,27$ при зазоре больше $10 \cdot 10^{-3}$ м.

Влияние радиального зазора на степень повреждения стеблей более существенно в фазе бурой спелости, чем в фазе желтой спелости. Это обусловлено тем, что по мере созревания льна стебли становятся более жесткими, а корковый и древесный слои хрупкими, что при изгибе стебля приводит к заламам.

Изменение окружной скорости ротора оказывает существенное влияние на качественные показатели процесса обмолота. Ее увеличение приводит к увеличению кратности воздействия бичами на фрагмент ленты льна и, соответственно, повышает вероятность непосредственного воздействия рабочих органов на стебли и семенные коробочки льна, что положительно сказывается на чистоте обмолота и отрицательно – на степени повреждения стеблей. Таким образом, производственные испытания позволили подтвердить рациональные значения параметров роторно-бильного аппарата при обмолоте лент льна, полученные в ходе лабораторных исследований.

Получаемый после льноуборочного комбайна семенной ворох со значительным содержанием пуганины представляет собой связанную массу, трудноразделимую из-за пронизывающих ее прочных стеблей. У такого вороха практически полностью отсутствует сыпучесть. После выгрузки из транспортных средств при перемещении по плоскости он сохраняет форму емкости, из которой выгружен [18]. Все это затрудняет его дальнейшую переработку.

Оборудованный роторно-бильным аппаратом льноуборочный комбайн «Двина-4М» обеспечивал получение однородного вороха с низким содержанием пуганины, который имел значительно меньшую влажность и представлял собой малосыпучий, но легкоразделимый материал [15].

Объемная масса семенного вороха, полученного при уборке льна комбайном «Двина-4М» с роторно-бильным аппаратом, изменялась в пределах $138...166$ кг/м³ и в среднем составляла $152,9$ кг/м³, что на 9 % больше, чем у вороха, полученного при очесе гребневым аппаратом. Это свидетельствует о меньшем содержании в ворохе примесей и повышенном содержании семян.

В семенном ворохе, полученном при уборке льна комбайном «Двина-4М» с гребневым очесывающим аппаратом, содержалось 52...84 % семенных коробочек различной спелости и влажности, 2...9 % свободных семян и 12...45 % пуганины, мякоти и сорняков. Всего семян в ворохе содержалось 35...50 % от общей массы вороха.

В семенном ворохе, полученном при уборке льна комбайном «Двина-4М» с роторно-бильным аппаратом, содержалось 55...87 % семенных коробочек различной спелости и влажности, 11...16 % свободных семян и 4...23 % путанины, мякины и сорняков. Всего семян в ворохе содержалось 41...67 % от общей массы вороха.

Длина обрывков стеблей льна при очесе гребневым аппаратом составляла 20...170 мм, при этом 48 % обрывков стеблей имели длину 50...110 мм и 32 % – 110...150 мм.

Длина обрывков стеблей льна при обмолоте роторно-бильным аппаратом составляла 10–150 мм, 52 % обрывков стеблей имели длину 30...90 мм и 27 % – 90...120 мм.

Применение роторно-бильного аппарата по сравнению с гребневым очесывающим аппаратом позволило уменьшить процентное содержание путанины в структуре льняного вороха в среднем на 48,5 %, а общий объем льновороха снизить на 28,5...56,3 %. Объемная масса вороха, полученного при уборке роторно-бильным аппаратом, увеличилась на 9 % (с 140 до 152,8 кг/м³).

Среднее значения показателей сравнительной агротехнической оценки работы льноуборочного комбайна «Двина-4М» с серийным гребневым очесывающим аппаратом и с предлагаемым роторно-бильным аппаратом приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты сравнительных испытаний комбайнов «Двина-4М» с различными аппаратами для отделения семенной части

Показатели	Значение показателя		
	по ТУи ТНПА	по результатам испытаний	
		гребневый очесывающий аппарат	роторно-бильный аппарат
Скорость движения комбайна, км/ч	6...8	7,09	7,68
Ширина захвата, м	1,52	1,52	1,52
Производительность за час основного времени, га	1	0,8	0,8
Производительность за час сменного времени, га		0,5	0,54
Показатели качества выполнения технологического процесса			
Потери семян всего, %	Не более 4	3,81	2,57
В том числе:			
- под тербильным аппаратом		0,64	0,64
- от выноса с лентой		2,30	0,97
- от недоочеса		0,87	0,85
- от просыпания под очесывающим аппаратом		3,18	1,83
Чистота очеса (обмолота), %	Не менее 98	97,53	98,97
Потери стеблей всего, %		2,21	0,98
В том числе:			
- невытеребленными		0,24	0,24
- в виде отхода стеблей в путанину	Не более 3	1,97	0,74
Чистота тербления, %	Не менее 99	99,37	99,37
Состав льновороха по массе, %:			
- семенные коробочки целые и разрушенные		48,02	65,05
- семена свободные		1,67	7,93
- путанина		37,67	19,4
- сорняки		1,82	1,35
- прочие примеси		12,50	14,2
Характеристика ленты льна, после обработки:			
- растянутость ленты	Не более 1,2	1,15	1,15
- степень повреждения стеблей, %		3,00	1,86
- открытый излом стебля с разрывом волокна		0,84	0,92
- обрыв технической длины		2,15	1,56

Как видно из табл. 2, все показатели работы льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом соответствуют техническим условиям ТУ ВУ 300079094.006–2007 на льнокомбайн [15] «Двина-4М».

Заключение

Разработана методика проведения производственных испытаний льноуборочного комбайна с роторно-бильным аппаратом, позволяющая определять качественные показатели (чистота обмолота, степень повреждения стеблей и потери семян) его работы при изменении параметров в пределах:

- радиальный зазор – 0,007...0,012 м;
- кратность воздействий бичами на фрагмент ленты льна – 1,27, 1,36 и 1,49.

По результатам агротехнической оценки чистота обмолота у опытного образца составила в среднем для трех режимов работы 98,97 %, что отвечает требованиям ТУ ВУ 300079094.006–2007. Этот

показатель получен при работе машины при средней скорости 7,09 км/ч и кратности воздействий $q = 1,49$. При этом степень повреждения стеблей, влияющая на выход длинного волокна, составила 2,5 %. Практически все потери семян происходили из-за просыпания под очесывающим аппаратом, что обусловлено состоянием стеблестоя и недостаточной герметичностью камеры очеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ механизированных технологий уборки и первичной переработки льна / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2. – С. 137–141.
2. Цайц, М. В. Отделение семенной части от стеблей льна роторно-бильным аппаратом при комбайновой уборке: дис. ... канд. техн. наук / Цайц Максим Валерьевич. – Горки, 2024. – 239 с.
3. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 267–271.
4. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 174–180.
5. Шлыков, М. И. Льноуборочный комбайн (теория, расчет, конструкция) / М. И. Шлыков. – М.: Машгиз, 1949. – 300 с.
6. Бортник, С. А. Выделение кормовых материалов из отходов льноводства на стационарных молотилках: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. / С. А. Бортник. – Горки, 1992. – 195 с.
7. Льноуборочные машины / Г. А. Хайлис [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
8. Хайлис, Г. А. Элементы теории и расчет льноуборочных машин / Г. А. Хайлис. – М.: Машгиз, 1963. – 149 с.
9. Астахов, В. С. Анализ формирования растянутости ленты льна-долгунца при уборке комбайновой технологией / В. С. Астахов, С. В. Курзенков, О. В. Гордеев // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2. – С. 180–186.
10. Можаров, Б. П. Исследование, обоснование и разработка аппаратов для обмолота льна-долгунца: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Б. П. Можаров. – М.: ВИС-ХОМ, 1968. – 128 с.
11. Прибытков, П. Ф. Экспериментальные исследования процесса очеса льна у комбайна ЛК-7: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П. Ф. Прибытков – Л.: Пушкин, 1952. – 177 с.
12. Шрамко, П. К. Изыскание способов снижения выхода путанины в работе очесывающего аппарата в системе льно-комбайна ЛК-7: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П. К. Шрамко. – Л.: Пушкин, 1955. – 167 с.
13. Патент № 2788696 С1 Российская Федерация, МПК A01F 11/02, A01D 45/06. Устройство для отделения семенных коробочек и семян льна от стеблей: № 2022116274; 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».
14. Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: пат. 21293 Респ. Беларусь, МПК А 01D 45/06 (2006.01) / В. Е. Круглень, В. И. Коцуба, П. Д. Сентюров, А. Д. Сентюров, М. В. Цайц, Г. А. Райлян, И. Л. Подшиваленко; заявитель УО «Белорус. гос. с.-х. акад.» – № а 20130044; заявл. 14.01.13; опубл. 25.05.17 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 4(117). – С. 57.
15. Татарниев, К. В. Повышение эффективности технологии уборки льна-долгунца путем оптимизации параметров и режимов работы очесывающего аппарата: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / К. В. Татарниев. – Тверь – Сахарово, 2008. – 149 с.
16. Еругин, А. Ф. Обоснование процессов, средств вымолота и очистки семян льна в селекции и семеноводстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А. Ф. Еругин. – Торжок, 1990. – 235 с.
17. Ковалев, М. М. Технологии и машины для комбинированной уборки льна долгунца: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / М. М. Ковалев. – Тверь, 2010. – 615 с.
18. Алексеенко, А. С. Досушивание льновороха на двухъярусной карусельной сушилке с рыхляще-перемешивающим устройством: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А. С. Алексеенко. – Горки, 2009. – 215 с.