

АНАЛИЗ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОРОХА ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

В. С. АСТАХОВ, В. В. АЗАРЕНКО, С. В. КУРЗЕНКОВ, О. В. ГОРДЕЕНКО, В. И. КОЦУБА

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: kozuba1975@mail.ru*

(Поступила в редакцию 06.06.2022)

Существенным недостатком в процессе уборки льна комбайном является повышенное содержание путанины в ворохе. При уборке в фазе ранней желтой спелости льноворох содержит до 60 % путанины влажность, которой достигает до 80 %. Это приводит к повышенному расходу топлива на сушку, дополнительному загрязнению окружающей среды, снижению посевных качеств семян и затягиванию сроков уборки. На сушку вороха расходуется до 60 % топлива от всего объема, затрачиваемого на уборочные операции.

Предполагаемая сепарация вороха на комбайне предусматривает сбор и отдельную транспортировку путанины и льновороха. В связи с этим разработка устройств, осуществляющих отдельную транспортировку путанины и мелкого льновороха в тракторный прицеп, является актуальной задачей.

Приведенный в статье анализ конструкций для сбора и перемещения материалов, сходных по физико-механическим свойствам к вороху льна, показал, что наиболее эффективным является всасывающе-нагнетательный пневмотранспортер. Установлено, что вопросы теории движения вороха в пневмоустановках рассматривались однобоко, склоняясь к использованию установок нагнетательного типа и в основном применительно к транспортированию несепарированного льновороха. При этом процесс перемещения мелкого льновороха пневматическим способом оказался практически не изученным. При выборе пневмотранспортирующего устройства для льноуборочного комбайна следует учитывать, что пневмотранспортер должен органично вписываться в существующую схему комбайна с роторным сепаратором, иметь малую энерго- и металлоемкость, и низкие динамические нагрузки, перемещать мелкий льняной ворох с минимальными потерями при любых условиях уборки. Наиболее перспективным рабочим органом для сбора и транспортировки мелкого льновороха являются пневмоустановки смешанного типа, которые сочетают преимущества как всасывающих, так и нагнетательных вентиляторов.

Ключевые слова: *ворох льна, транспортирующее устройство, пневмотранспортер, радиальный вентилятор, нагнетательный поток, пневмоустановка.*

A significant disadvantage in the process of harvesting flax with a combine is the increased content of entangled flax in a heap. When harvested in the phase of early yellow ripeness, flax heap contains up to 60 % of entangled flax, the moisture of which reaches up to 80 %. This leads to increased fuel consumption for drying, additional environmental pollution, reduced sowing qualities of seeds and delays in harvesting. Up to 60 % of fuel from the total volume spent on harvesting operations is consumed for drying the heap.

The proposed separation of the heap on the combine provides for the collection and separate transportation of mud and flax heap. In this regard, the development of devices that carry out separate transportation of mud and small flax heap into a tractor trailer is an urgent task.

The analysis in the article of structures for collecting and moving materials similar in physical and mechanical properties to a heap of flax showed that the most effective is a suction-pressure pneumatic conveyor. It has been established that the issues of the theory of heap movement in pneumatic installations were considered one-sidedly, tending to the use of injection-type installations and mainly in relation to the transportation of unseparated flax heap. At the same time, the process of moving a small flax heap in a pneumatic way turned out to be practically unexplored. When choosing a pneumatic conveying device for a flax harvester, it should be taken into account that the pneumatic conveyor must organically fit into the existing scheme of a combine with a rotary separator, have low energy and metal consumption, and low dynamic loads, move a small flax heap with minimal losses under any harvesting conditions. The most promising working bodies for collecting and transporting small flax heaps are mixed-type pneumatic plants that combine the advantages of both suction ventilators and blowers.

Key words: *flax heap, conveying device, pneumatic conveyor, radial fan, discharge flow, pneumatic installation.*

Введение

В настоящее время в Беларуси механизированная уборка льна-долгунца на семенные цели осуществляется преимущественно с применением льноуборочных комбайнов ЛК-4А, «Двина-4М» или КЛС-3,5 и подборщиков-очесывателей фирм DEPORTERE и NECANY 2008.

Применяемые в Беларуси льнокомбайны не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к ним современным сельскохозяйственным производством, особенно это относится к очесывающе-транспортирующему модулю, на котором происходят значительные повреждения стеблей и семенных коробочек. Общие невозвратимые потери семян для льнокомбайна ЛК-4А составляют в среднем 6,63 %, при его работе на короткостебельном льне – до 24,2 %, на полеглом стеблестое – до 60 %. Очесывающе-транспортирующий модуль комбайнов ЛК-4А и «Двина-4М» формирует ворох льна с содержанием стеблей в виде путанины до 70 % от общей массы и не обеспечивает распределения вороха в прицепе [1, 2, 3].

Выгрузной ленточный транспортер ЛК-4А и «Двина-4М» подает ворох и сбрасывает его в переднюю часть прицепа, не разравнивая. При работе без помощника комбайнера простои льноуборочного агрегата из-за остановок для разравнивания вороха достигают 18–20 % от времени чистой работы, поэтому для разравнивания вороха обычно задействованы люди, что является грубым нарушением правил техники безопасности [3, 4].

С целью исследований возможных способов транспортирования вороха льна и рабочих органов транспортирующего действия проведем анализ физико-механических свойств вороха льна как объекта транспортирования, а также анализ пневмотранспортирующих устройств [5].

Основная часть

Исследования перемещения компонентов вороха льна воздушным потоком в горизонтальных и наклонных пневмопроводах выполнены И. В. Барановым. Материал для проведения опытов был отсортирован и состоял из однородных частиц – семенных коробочек льна (влажность $W = 14\%$, скорость витания $v_{\text{вит}} = 8$ м/с) или семян льна ($W = 10\%$, $v_{\text{вит}} = 5,2$ м/с). Движение семенных коробочек в трубе снимали при средних скоростях воздуха 11,5; 15,5; 17,0; 19,0 и 24,5 м/с, а семян льна – при скоростях 11,5 и 23,0 м/с с помощью видеокамеры СКС-1М-16. При этом массовая концентрация аэро-смеси составляла $\mu_m = 0,1-0,3$.

Анализ экспериментальных данных позволил И. В. Баранову установить следующее:

1. Частицы материала движутся прямолинейно, параллельно стенкам трубы, совершая лишь незначительные колебания в вертикальной плоскости.
2. Частицы движутся с различными скоростями, причем, как правило, располагающиеся ближе к продольной оси трубы, частицы имеют большую скорость, чем находящиеся у стенок или на стенках.
3. При движении частицы вращаются как вокруг вертикальных, так и горизонтальных осей.
4. Неравномерность распределения скоростей движения компонентов вороха объясняется переменным значением скорости воздуха вдоль поперечного сечения материалопровода [6].

Анализируя эксперименты автора по пневматическому транспортированию компонентов вороха, прослеживается узкая направленность данных исследований. В своих работах [6, 7, 8] И. В. Баранов не учитывал, что семенные коробочки льна после их очеса механизмом гребневого типа в большинстве представляют собой тела шарообразной формы с осями различной длины. В результате скорость витания коробочек льна оказалась заниженной. Это позволяет сделать вывод о целесообразности более детальной классификации компонентов льновороха с целью получения достоверных данных для практических расчетов.

С. Г. Порфирьевым, В. Г. Мозгуновым, В. И. Смирновым и др. авторами был разработан льноуборочный комбайн (рис. 1), совмещающий очес семенных коробочек аппаратом щелевого типа и подачу вороха в бункер пневмотранспортером нагнетательного типа [9].

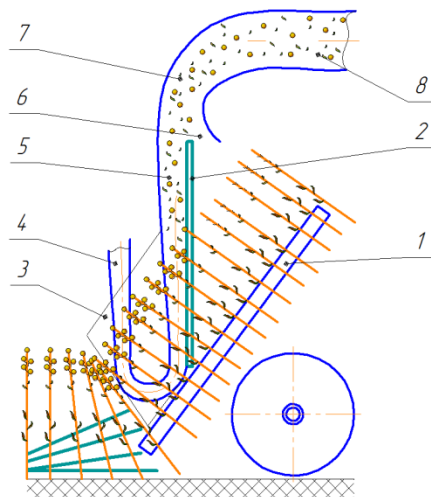


Рис. 1. Схема теребильно-очесывающей секции льноуборочного комбайна с очесывающим аппаратом щелевого типа:

- 1 – теребильно-зажимной ручей; 2 – очесывающее устройство; 3 – направляющий козырек; 4 – воздуховод;
5 – приемник вороха; 6 – эжекционное окно; 7 – отвод; 8 – материалопровод

Особенностью комбайна является очес стеблей непосредственно в воздушном потоке за счет того, что очесывающая камера является частью пневмотранспортера.

В. И. Смирнов продолжил и развил основные идеи И. В. Баранова, который исследовал смешанную и нагнетательную схемы пневматического транспортирования льновороха. Он принял за оптимальный вариант – нагнетательную схему пневмоустановки. По его мнению, основным достоинством такой схемы является отсутствие разрушения семенных коробочек и повреждения льносемян [9]. Такой вывод был основан на том, что семенные коробочки в нагнетательной схеме пневмоустановки не подвержены механическому воздействию, так как не проходят через рабочее колесо вентилятора. В то время как в смешанной схеме с использованием вентилятора бокового всасывания степень разрушения семенных коробочек достигает 3,6–10,6 % и потеря всхожести семян составляет 1,75–3,70 % [6]. Однако В. И. Смирновым не был исследован процесс повреждения семенных коробочек и семян льна при их движении по материалопроводу, особенно в отводах, где такие явления имеют место (при $R_{от} < 1 > 5$ м). Следовательно, вывод автора о том, что семенные коробочки разрушаются при прохождении через вентилятор и не разрушаются в трубопроводе является спорным, а отсутствие в производстве вентиляторов-сепараторов для перемещения легкоповреждаемых материалов не позволяло провести полное исследование смешанной схемы пневмотранспорта в соответствии с агротехническими требованиями.

К существенным недостаткам нагнетающих пневмоустановок, ограничивающих круг их применения, относятся: сложность конструкции загрузочных устройств, дополнительный привод шлюзового затвора и повышенные требования к герметичности пневмосистемы [10].

Исследованию конструкций вентиляторов бокового всасывания посвящены работы С. Б. Ерофеева, Х. А. Зияева, В. Г. Бережного, Н. А. Артыкова и других исследователей.

В принципиальных схемах вентиляторов и пневмосепараторов предусмотрены специальные устройства, частично предохраняющие материал от соприкосновения с лопатками рабочего колеса [11].

В пневмотранспортной системе хлопкоуборочной машины СХМ-48 применялся радиальный вентилятор с сепарирующим диском (рис. 2, а). В этом вентиляторе сепарирующий диск 1 предотвращает удары транспортируемого материала о лопасти 2. При работе вентилятора хлопок, попадая из всасывающего воздуховода на сепарирующий диск, отбрасывается к стенкам корпуса 3 и далее воздушным потоком, перемещается в бункер хлопкоуборочной машины [6]. К существенным недостаткам этого вентилятора следует отнести низкий коэффициент полезного действия, забивание поверхности сепарирующего диска, повреждение хлопковых семян, обусловленное большой скоростью удара транспортируемого материала о сепарирующий диск. На использование данной конструкции накладывается ограничение – линейные размеры перемещаемых частиц должны быть больше, чем диаметр отверстий сепарирующего диска, что сильно сужает круг применения данного типа вентилятора.

Для предотвращения соприкосновения материала с рабочим колесом в конструкции вентилятора бокового всасывания машины ХВС-1,2 использовался вход по касательной (рис. 2, б). Такое исполнение входного отверстия позволило материалу из всасывающего патрубка 6 перемещаться по инерции в спиральном корпусе 5, минуя рабочее колесо 2 и, смешиваясь с воздушным потоком, переноситься к нагнетательному патрубку 4. В этой конструкции велика паразитная циркуляция воздуха, следовательно, вентилятор имеет низкий КПД.

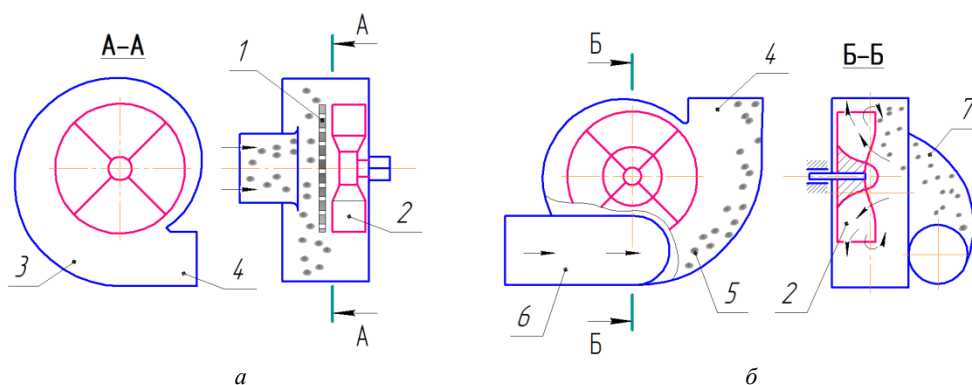


Рис. 2. Радиальный вентилятор с сепарирующим диском (а) и радиальный вентилятор с касательным входом (б):
1 – сепарирующий диск; 2 – лопасть; 3 – стенка корпуса; 4 – нагнетательный патрубок; 5 – спиральный корпус;
6 – всасывающий патрубок; 7 – касательный вход

При этом требуется отметить, что возможность соприкосновения части пневмосмеси с лопатками рабочего колеса в вентиляторах СХМ-48М и ХВС-1,2 полностью не исключена. Кроме того, материал ударяется о стенку спирального корпуса на участке поворота к нагнетательному патрубку. Поэтому повреждение семян в машине СХМ-48М составляет 1,32 %, а в ХВС-1,2 – 2,5 % [12, 13].

Вентилятор, схема которого приведена на (рис. 3, а), состоит из спирального корпуса 1, ведомого колеса 2, имеющего центральное отверстие с диаметром, равным входному диаметру рабочего коле-

са, на котором консольно закреплены лопатки 3, и заднего ведущего колеса 4 с обтекателем 5. Диски с помощью болтов крепятся на определенном расстоянии друг от друга.

При работе вентилятора воздух через межлопаточные каналы нагнетается к выходному патрубку. Материал, сохраняя прямолинейное движение, по инерции проходит через центральное отверстие диска, скользя по обтекателю. Центробежная сила откидывает его в свободное пространство корпуса и вместе с воздухом выносит наружу. Исследования показали, что надежная транспортировка материала обеспечивается при скорости ($v \geq 20-25$ м/с) и массовой концентрации пневмосмеси ($\mu_m = 0,3$). Повреждаемость семян хлопка не превышает 2% и максимальный КПД вентилятора составляет ($\eta_{max} = 0,5$) [14]. К основным недостаткам данного вентилятора относят соударение отсепарированного материала о болты крепления дисков, зависание хлопка при длительном режиме работы.

Аналогичное назначение имеет вентилятор с лопатками «двойного профиля» (рис. 3, б). Воздушный поток в вентиляторе равномерно распределяется по всей поверхности лопаток. Материал, вследствие большого удельного веса, сначала перемещается в осевом направлении, затем он движется к заднему диску колеса и, скользя по поверхности плавного обтекателя, попадает в каналы, образованные загнутыми назад лопатками 3. После этого материал выбрасывается в спиральный корпус 1 и вместе с воздушным потоком направляется в нагнетательный патрубок 7.

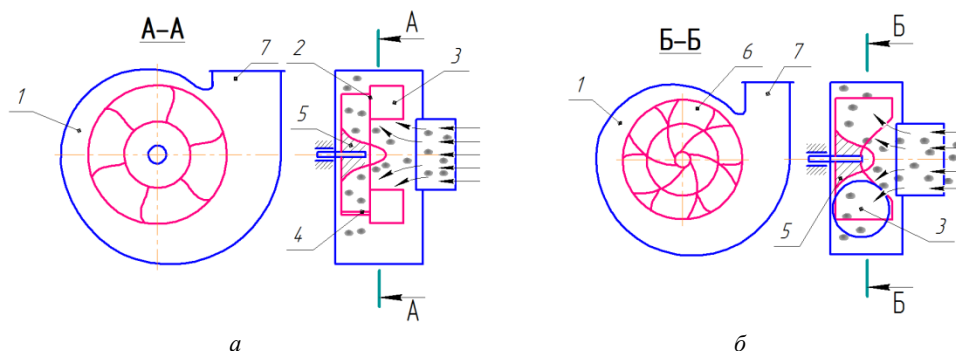


Рис. 3. Радиальный вентилятор с консольными лопатками (а) и радиальный вентилятор с лопатками «двойного» профиля (б):

1 – спиральный корпус; 2 – ведомое колесо; 3 – лопатка; 4 – ведущее колесо; 5 – обтекатель; 6 – рабочее колесо; 7 – нагнетательный патрубок

Лопатки загнуты назад под углом ($\beta_2 = 25^\circ$), что позволило при скорости воздуха ($v = 37$ м/с) снизить повреждение хлопковых семян на 1%. Вентилятор имеет относительно высокий КПД [13].

Однако в настоящее время влияние массовой концентрации пневмосмеси на механическую повреждаемость семян при $\mu_m > 0,1$ не изучено. Основным недостатком вентилятора является конструктивная сложность изготовления лопаток «двойного» профиля.

Для перемещения частиц, которые нельзя подвергать механическому воздействию или вызывающих значительный износ лопаток и дисков рабочих колес, используют «смерчевой» вентилятор (рис. 4, а). Рабочий процесс вентилятора протекает следующим образом. Перед вращающимся колесом 2 в основной части спирального корпуса 1 возникает интенсивное круговое течение воздуха, аналогичное атмосферному вихрю-смерчу. Благодаря круговому течению основная часть воздуха, следовательно, и различных примесей, проходит через вентилятор, мимо рабочего колеса. Исследования с чайными листьями показали, что не все листья увлекались смерчевым потоком, большая часть их проходила через рабочее колесо вентилятора [12, 14].

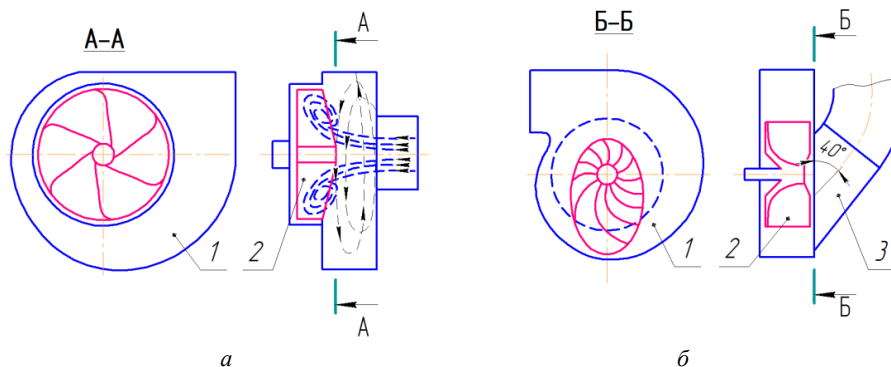


Рис. 4. Смерчевой вентилятор (а) и радиальный вентилятор с угловым эллиптическим входом (б):

1 – спиральный корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – колено

Одним из усовершенствований конструкции радиального вентилятора было применение углового эллиптического входа (рис. 4, б). Принцип работы вентилятора заключается в следующем. Материал из-за большого (в 80–100 раз) удельного веса по сравнению с воздухом сохраняет в колесе 3 прямое движение, вдоль стенки трубы, попадает в спиральный корпус 1, минуя колесо 2, что снижает повреждаемость семян хлопка в пневмотранспортной системе машины 14XB-2,4 до 2,58–3,61%, а в машине ХН-3,6 до 1,09 % [10].

Недостатком этой конструкции является большое количество колен во всасывающей части пневмосистемы, что значительно увеличивает аэродинамическое сопротивление материалопровода. Применение эллиптического входа усложняет конструкцию всасывающего патрубка и увеличивает габариты пневмоустановки.

На стационарных машинах для обеспечения высокой технологической и аэродинамической эффективности используются вентиляторы, исключающие повреждение перемещаемого материала (рис. 5). Применение в конструкциях этих вентиляторов полого вала позволяет отделять перемещаемый материал от воздушного потока благодаря аэродинамическим, инерционным и центробежным силам без механического воздействия [15]. Главным недостатком конструкции вентиляторов-сепараторов является большой габаритный размер по высоте, что не позволяет их применять на мобильных агрегатах. Использование полого вала в значительной степени усложняет элементы приводного устройства.

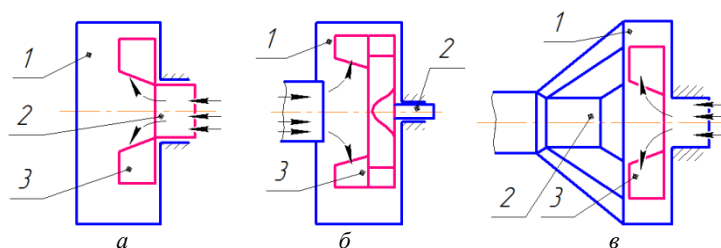


Рис. 5. Вентилятор-сепаратор (ВС-1) с поворотом потока на 90° (а), вентилятор-сепаратор (ВС-2) с поворотом потока на 90° (б) и прямоточный вентилятор с коническим переходником (в):
1 – корпус; 2 – пологий вал; 3 – рабочее колесо

Одним из наиболее простых и эффективных способов уменьшения повреждаемости материала является применение лопаток с эластичными накладками в сочетании с рационально подобранными геометрическими и кинематическими параметрами вентилятора. Исследованиями установлено, что эластичные рифленые накладки, прикрепленные к лопастям рабочего колеса только с одной стороны, снижают повреждаемость семян хлопка до 0,5 % [11].

Основным достоинством смешанной пневмоустановки является сочетание положительных качеств как всасывающих, так и нагнетающих систем [16].

Простота конструкции, компактность, небольшая масса, малый шумовой эффект и высокая производительность системы свидетельствует о целесообразности ее использования на уборочных машинах для перемещения мелкого льновороха. При сепарации грубого вороха на льнокомбайне в сборный бункер просыпаются коробочки, семена и мелкие примеси. Конструктивная схема бункера должна обеспечивать процесс поступления максимального количества мелкого вороха к входному окну вентилятора и органично вписываться в конструкцию комбайна.

Второй проблемой пневмотранспортирования льняного вороха является низкая сыпучесть и высокая склонность к сводообразованию в приемном бункере.

Процесс движения сыпучих материалов в различных конструкциях бункеров подробно рассмотрен многими исследователями [17, 18, 19]. Основной причиной перебоев являются образующиеся у выгрузного отверстия устойчивые своды, которые приводят к прекращению истечения сыпучего материала и к зависанию его в бункере [20].

Мелкие фракции льновороха по своим физико-механическим свойствам близок к сыпучим материалам. На многих сельскохозяйственных машинах (сеялках, машинах для внесения минеральных удобрений и т. д.) применяются различные типы механических побудителей: лопастные, шнековые, вибрационные и т. п. Основная их функция – разрушение свода возле выгрузного отверстия бункера [19]. Использование рационального типа активатора (сводоразрушителя) в сборном бункере на комбайне позволяет уменьшить его габаритный размер по высоте и создать благоприятные условия для

сбора мелкого льновороха возле входного окна вентилятора. Однако, теоретически этот вопрос практически не разработан [19].

Заключение

При выборе пневмотранспортирующего устройства для льноуборочного комбайна должны учитываться следующие условия: пневмотранспортер должен органично вписываться в существующую схему комбайна с роторным сепаратором, иметь малую энерго- и металлоемкость, и низкие динамические нагрузки, перемещать мелкий льняной ворох с минимальными потерями при любых условиях уборки (высокая влажность льновороха и повышенное содержание примесей).

Наиболее перспективным рабочим органом для сбора и транспортировки мелкого льновороха являются пневмоустановки смешанного типа, которые сочетают преимущества как всасывающих, так и нагнетательных. Однако отсутствие в производстве современных вентиляторов, минимально повреждающих перемещаемый материал, не позволяет оснащать льноуборочные комбайны пневмотранспортерами смешанного типа.

Существенной проблемой также является сводообразование в приемном бункере пневмотранспортера. Обоснование рационального типа активатора (сводоразрушителя) позволит создать благоприятные условия для сбора мелкого льновороха возле входного окна вентилятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голод, Л. Е. Выращивание льна-долгунца. Проект Tacis FD RUS 9504 «Поддержка сельскохозяйственных структур на областном уровне» / Л. Е. Голод. – М., 1999. – 208 с.
2. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна: монография / В. А. Шаршунов [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 156 с.
3. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеев, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 267–271.
4. Зимин, Е. М. Влияние силы воздушного потока на перемещение зерновки в транспортном канале аэрожелоба / Е. М. Зимин, Е. П. Румянцев // Труды Костромской СХА; Кострома. Изд. КГСХА. – 1998. – Вып. 56. – С. 59–63.
5. Артемьев, В. Г. Основы совершенствования пружинно-транспортирующих рабочих органов и их использование в различных технологических процессах растениеводства и животноводства: автореф. дис... докт. техн. наук / В. Г. Артемьев. – Саратов, 1996 – 48 с.
6. Баранов, И. В. О движении льняного вороха и семян льна в пневмотранспортных трубопроводах / И. В. Баранов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1964. – №4. – С. 47.
7. Баранов, И. В. К расчету транспортирования льняного вороха пневматическим способом / И. В. Баранов // Тракторы и сельхозмашины. – 1963. – №6. – С. 30–32.
8. Баранов, И. В. Исследование процесса пневмотранспорта льняного вороха и его компонентов: автореф. дисс... канд. техн. наук / И. В. Баранов. – Москва, 1966. – 26 с.
9. Смирнов, В. И. Исследование процесса сбора и транспортирования вороха в льноуборочном комбайне с очесывающим аппаратом щелевого типа: автореф. дис... канд. техн. наук / В. И. Смирнов. – Ленинград-Пушкин, 1978. – 16 с.
10. Артыков, Н. А. Пневмотранспорт легкоповреждаемых материалов / Н. А. Артыков. – Ташкент: Фан, 1984. – 152 с.
11. Зияев, Х. А. Исследование и разработка центробежного вентилятора с лопатками нового типа для хлопкоуборочных машин: автореф. дис... канд. техн. наук / Х. А. Зияев. – Ташкент, 1967. – 20 с.
12. А.с. 638298 Вентилятор-сепаратор. / Латипов К.Ш., Артыков Н.А. и др. – Оpubл. в БНИ – №47, 1978. – 2 с.
13. А.с. 915823 Вентилятор-сепаратор. / Артыков Н.А. – Оpubл. в БНИ – №12, 1982. – 2 с.
14. Некоторые результаты исследования пневмотранспортных систем хлопкоуборочных машин 14XB-2,4 и ХН-3,6 / А. Г. Арзумянц, Н. Б. Барер, Э. А. Пилюганова [и др.]//Механизация хлопководства. – 1974. – №8. – С. 3–5.
15. Зильберман, П. Н. Новое в пневмотранспорте хлопкоуборочных машин / П. Н. Зильберман, Ю. К. Мелькумов // Механизация хлопководства. – 1961. – №10. – С. 13–16.
16. Разумов, И. М. Псевдооживление и пневмотранспорт сыпучих материалов / И. М. Разумов. – М.: Химия, 1972. – 240 с.
17. Алферов, К. В. Бункерные установки. Проектирование, расчет и эксплуатация / К. В. Алферов, Р. Л. Зенков. – М.: Машгиз, 1955. – 308 с.
18. Василенко, П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин П. М. Василенко / П. М. Василенко. – Киев: УАСН, 1960 – 283 с.
19. Гячев, Л. В. Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах / Л. В. Гячев. – М.: Машиностроение, 1968. – 184 с.
20. Венков, Р. Л. Механика насыпных грузов, (основы расчета погрузочно-разгрузочных и транспортных устройств) / Р. Л. Венков. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.