

Д. Т. Н. С. Я. Давыдов¹, Д. Т. Н. Н. П. Косарев¹, Д. Т. Н. Н. Г. Валиев¹,
К. Т. Н. Д. И. Симисинов, Д. Т. Н. Г. Г. Кожушко², Д. А. Панов³

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

³ ЗАО «РОСМАШИНЖИНИРИНГ», г. Екатеринбург, Россия

УДК 621.674:666.123.22

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМОВИНТОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

Приведен анализ работы пневмовинтовых насосов на Березниковском содовом заводе для перемещения легкой соды по заданной трассе и использования сопловой секции для увеличения надежности работы насосов. Предложены конкретные рекомендации для увеличения пропускной способности и надежности работы пневмовинтовых насосов. Дана оценка по замене на длинных трассах винтовых насосов на камерные.

Ключевые слова: пневмовинтовой насос (ПВН), производительность, легкая сода, транспортный трубопровод, сжатый воздух, сопла, модернизация.

Пневмовинтовые насосы (ПВН) непрерывного действия предназначены для подачи по трубопроводу сухих пылевидных или мелкозернистых материалов при помощи сжатого воздуха. Пневмовинтовые насосы используют в качестве питателей пневмотранспортных установок внутризаводского транспорта цемента на цементных заводах, заводах железобетонных изделий и домостроительных комбинатах. Они широко применяются на предприятиях химической, металлургической, стекольной, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности в пневмосистемах для транспортирования кальцинированной соды, сульфата натрия, глинозема, хлористого калия, фосфатов, золы, каменноугольной пыли, порошкообразных руд, удобрений и многих других материалов. Конструкция выпускаемых в настоящее время в России ПВН обеспечивает приведенную дальность транспортирования 230–430 м, в том числе 30 м по вертикали [1–3].

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются 4 основных типоразмера этих насосов производительностью от 10 до 100 т/ч. Первоначально конструкция отечественных ПВН в точности повторяла конструкцию насосов фирмы «Fuller», США, а в дальнейшем конструкция основных рабочих органов отечественных насосов была модернизирована, что значительно улучшило эксплуатационные показатели, а также долговечность и надежность этих машин.

Пневматические винтовые насосы в нормальных условиях эксплуатации и при квалифицированном обслуживании работают надежно в течение многих лет. В среднем долговечность таких

насосов составляет более 10 лет. К числу быстроизнашивающихся деталей ПВН в первую очередь относится быстроходный напорный шнек, долговечность которого в зависимости от типа применяемых электродов составляет 50–1000 ч непрерывной работы. Значительно меньше изнашиваются бронева гильза и тарелка обратного клапана. Долговечность сальниковой набивки в последних конструкциях уплотнения вала шнека составляет в среднем 300–350 ч непрерывной работы. Для обеспечения оптимальных сроков службы быстроизнашивающихся деталей необходимо систематически проверять состояние соответствующих узлов.

Износ шнека определяется путем периодического замера зазора между шнеком и гильзой. При увеличении этого зазора до 5 мм шнек должен быть заменен новым, а изношенный шнек восстанавливается наплавкой его витков электродами ВСН-6. При отсутствии таких электродов могут применяться электроды Т-590 или Т-620, но в этом случае долговечность шнека уменьшится почти в 2 раза. Наплавка должна выполняться квалифицированным сварщиком. Наплавленный шнек на специально приспособленном токарном станке обрабатывается на требуемый диаметр. Периодичность профилактического ремонта и восстановления шнека устанавливается в процессе эксплуатации насоса. Износ гильзы определяется путем замера ее диаметра. Допускается износ 3–4 мм на сторону, а вместе со шнеком — не более 6 мм. Время перенабивки сальника уплотнения вала определяется визуально путем наблюдения за работой насоса. При обнаружении легкого пыления сальник должен быть подтянут и в

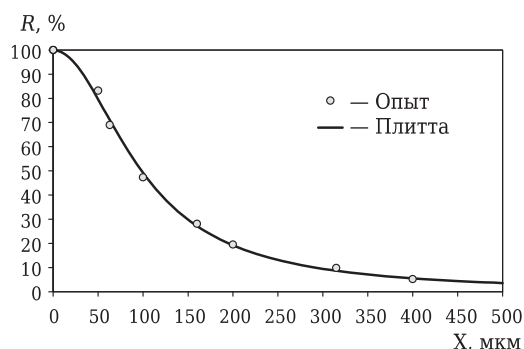


Рис. 1. Кривая полных остатков

дальнейшем набивка сальника должна быть заменена. При износе тарелки обратного клапана, не имеющей резиновой прокладки, тарелка должна быть проверена совместно с седлом на станке и обработана соответственно износу. Если резиновая прокладка имеется, при износе она заменяется.

В последние годы в связи с освоением новых составов износостойчивых наплавов, а также значительным улучшением конструкции напорного шнека для снижения его износа предел дальности подачи может быть увеличен до 500–800 м.

Недостатком известных устройств пневмотранспорта является то, что при повышении давления в смесительной камере возрастают сопротивление перемещению напорным шнеком материала и перетекание воздуха через шнек в загрузочную камеру. При обратном движении смеси материала и газа происходит забивание сопел. В этом случае уменьшается надежность работы всей системы пневмотранспорта. Дополнительная продувка пневмотранспортной установки требует значительного количества сжатого воздуха.

На Березниковском содовом заводе были проведены опытно-промышленные испытания пневмотранспортной системы по линии ПВН № 6 для

повышения ее производительности на 20 % и более. При транспортировании легкой соды марки Б из отделения кальцинации цеха № 1 в отделение по производству кальцинированной соды марки А на заводе использовали ПВН отечественных и зарубежных конструкций, которые работали с частыми остановками и не давали желаемой производительности по материалу. Гранулометрический состав легкой соды, мас. %: крупнее 0,315 мм 10,5, 0,2–0,315 мм 9,0, 0,16–0,2 мм 7,4, 0,1–0,16 мм 21,3, 0,063–0,1 мм 20,9, 0,045–0,063 мм 14,8, мельче 0,045 мм 16,2. Технические параметры пневмотранспорта приведены ниже:

Давление подводимого сжатого воздуха, МПа.	0,35
Температура подводимого сжатого воздуха, °С	15
Диаметр транспортного трубопровода, мм	250
Температура загружаемой соды, °С	160
Плотность частиц соды, кг/м ³	1606
Насыпная плотность соды, кг/м ³	550
Температура двухфазного потока в установившемся режиме, °С.	130
Нормативная производительность по материалу, т/ч	15
Допустимое предельное давление в камере ПВН, МПа	0,15
Длина транспортного трубопровода, м	280
Высота подъема транспортного трубопровода, м	40
Производительность по перекачиваемому материалу, т/ч	5,4–7,4

По данным гранулометрического ситового анализа максимальная крупность частиц легкой соды достигает 0,5 мм. Гранулометрический состав и интегральная кривая распределения частиц по размерам показаны на рис. 1 и приведены в таблице.

После вскрытия и тщательного обследования одного из насосов ПВН на промышленном предприятии была дана рекомендация на изменение

Гранулометрический состав соды

Сита, X _с , мкм	Среднее X _{ср} , мкм	Остаток R, %	Фракция r, %	Проход D, %	Аппроксимации кривой полных остатков R = f(X)		
					Плита	Розина – Раммлера	норм.-логарифм.
400	450	5,20	5,20	94,80	5,54	1,81	4,29
315	358	9,82	4,62	90,18	8,68	5,30	7,83
200	258	19,54	9,72	80,47	19,22	19,69	19,66
160	180	28,12	8,59	71,88	27,19	29,67	28,04
100	130	47,32	19,20	52,68	49,13	51,76	49,45
63	82	69,00	21,68	31,01	71,07	69,73	70,69
50	57	83,21	14,21	16,80	79,67	76,58	79,55
0	25	100,00	16,80	0,00	100,00	100,00	100,00
Показатель крутизны кривой P					2,021	1,303	0,024
Средний размер X ₅₀ , мкм					98,284	104,010	98,860
Среднеквадратичное отклонение S					22,436	98,496	25,537

трассы и использование аэроднища [5] в камере смешения этого насоса, которое способствует интенсивному аэрированию сжатым воздухом транспортируемого материала. Камера смешения ПВН была оборудована модернизированной сопловой вставкой. Вместо одиннадцати цилиндрических сопел диаметром 10 мм были установлены в камере десять сверхзвуковых сопел диаметром 12 мм. Камера смешения ПВН рассматривалась как эжекторное устройство, из которого сыпучий материал направляется в трубопровод. Движущей силой эжекторного устройства является струя воздуха, вытекающая из активного сопла. Для получения максимальной тяги использованы сопла с высокой скоростью истечения (звуковые и сверхзвуковые). Схема модернизированной сопловой секции показана на рис. 2.

Сопловая секция состоит из трубопровода 1 подвода сжатого воздуха, распределительного патрубка 2, несущей панели-фланца 3, сопловых труб 4, 5 и сопел 6, расположенных в два ряда по высоте по 5 шт. в каждом, перегородки 7. Функциональные особенности предлагаемой конструкции показаны на рис. 3. Сопловая секция позволяет повысить разгонное воздействие на транспортируемый материал за счет увеличения длины сопловых труб и разделения их на две секции по высоте. При этом верхний ряд сопел придает начальный импульс падающему от шнека материалу. Затем нижний ряд, отделенный горизонтальной перегородкой от верхнего и имеющий большую длину труб, придает дополнительный импульс материалу и направляет его в транспортный трубопровод. Перегородка препятствует быстрому смешению струй из сопел верхнего и нижнего рядов и потере энергии.

Сверхзвуковые сопла могут быть профилированными (например, в виде сопла Лавала) или коническими. Потери давления в сопле составляют незначительную часть общих потерь, поэтому наибольшее распространение в эжекторных устройствах имеют конические сверхзвуковые сопла [4], так как они более просты в изготовлении. На рис. 4 показано сверхзвуковое коническое сопло. Газ в сечении 1–1 имеет параметры торможения, в узком сечении 2–2 — критические параметры. В выходном сечении 3–3 газ имеет параметры, соответствующие сверхзвуковому режиму течения.

Наиболее часто при работе ПВН в зазор между шнеком и гильзой попадают инородные предметы (остатки мелющих тел, гвозди, болты и т. п.), встречающиеся в поступающей цементной массе. Это неизбежно приводит к заклиниванию шнека и остановке насоса. Необходимо срочно выключить электродвигатель и удалить заклинившийся предмет. Не менее часто встречаются случаи за-

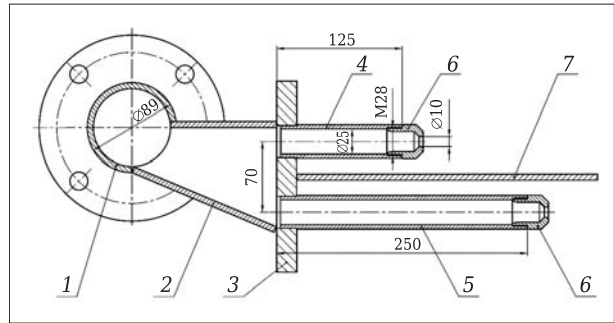


Рис. 2. Конструкция двухрядной сопловой секции

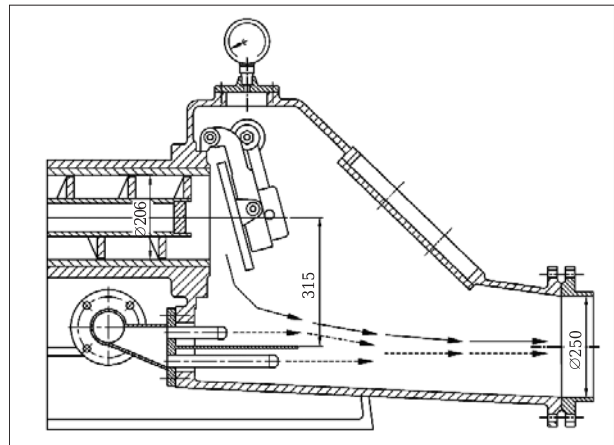


Рис. 3. Установка сопловой секции в камере ПВН

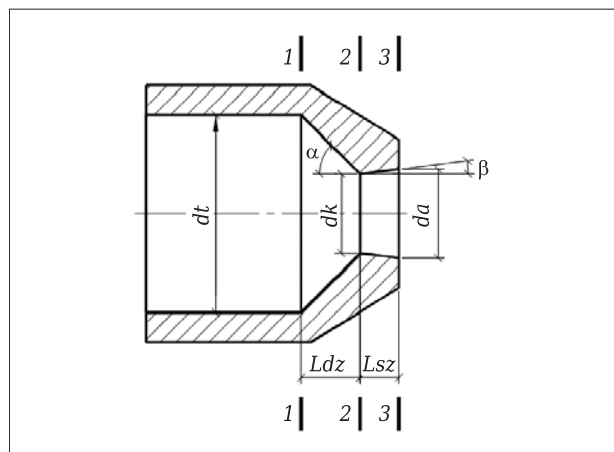


Рис. 4. Схема сверхзвукового конического сопла

купорки транспортного трубопровода вследствие неравномерной подачи цемента в смесительную камеру или перерывов в подаче сжатого воздуха. Обнаруживается это быстрым ростом рабочего давления в смесительной камере, фиксируемым манометром. Необходимо немедленно остановить напорный шнек и продуть трубопровод до получения минимального давления в смесительной камере ($0,2\text{--}0,3 \text{ кг/см}^2$).

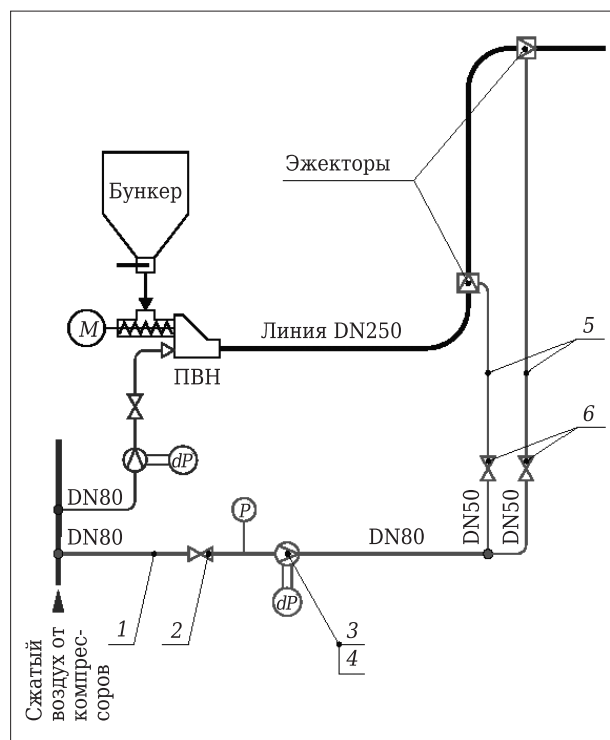


Рис. 5. Схема установки эжекторов: 1 — воздуховод DN80; 2 — шаровый кран DN80 PN10; 3 — расходомерная диафрагма DN80; 4 — дифференциальный манометр; 5 — воздуховод DN50; 6 — шаровый кран DN50 PN10

Кроме того, при недостаточно квалифицированном обслуживании насосов и несвоевременных профилактических ремонтах шнека, гильзы и обратного клапана, а также несвоевременной перенабивке сальника могут быть случаи вынужденной остановки работы машины. Схема установки эжекторов показана на рис. 5. Установка сверхзвуковых сопел в виде эжекторов № 1 и 2 по трассе показана на рис. 6.

Исследования, проведенные на промышленном предприятии, позволили предложить следующую модернизацию ПВН (рис. 7) с учетом ближайших прототипов [1–6]. Пневмовинтовой насос сыпучих материалов содержит приемную 1 и смесительную 2 камеры, соединенные между собой кожухом 3 с расположенным внутри него напорным шнеком 4. Обратный клапан 5 установлен в смесительной камере 2. Регулируемое сопло 6 для подвода сжатого воздуха размещено на кожухе 3 между концом приводного шнека 4 и обратным клапаном 5 смесительной камеры 2. Второе регулируемое сопло 6 смонтировано на транспортном трубопроводе 7. Регулируемое сопло 6 содержит конфузную обечайку 8 на опорном фланце 9. Поверх обечайки 8 установлена конусная насадка 10. Внутренняя поверхность конусной насадки 10 снабжена внутренней кольцевой выточкой 11, сообщающейся с воздухоподводящим трубопроводом магистрали 12 подачи сжато-

го воздуха. При этом конусная насадка 10 имеет внутреннюю конфузную поверхность 13. Кольцевой зазор 14 образован поверхностями обечайки 8 и поверхностью 13 конусной насадки 10. На воздухоподводящем трубопроводе магистрали 12 установлен клапан 15. На выходе конусной насадки 10 поверхность 13 выполнена со смещенной осью 16 вниз на величину δ относительно оси 17 обечайки 8 с образованием серповидного зазора 14. Толщина серповидного зазора 14 может быть отрегулирована винтовым устройством 18. Для исключения попадания частиц материала в клапан 15 и магистраль 12 подачи сжатого воздуха кольцевая выточка 11 снабжена пористой перегородкой 19 с малым сопротивлением для прохода сжатого воздуха (например, беспровальной металлической сеткой). Пористая перегородка 19 является аэрирующим устройством.

Пневмовинтовой насос работает следующим образом. Транспортируемый сыпучий материал поступает в приемную камеру 1 и подается напорным шнеком 4 в кожух 3. Попадая в конфузную насадку 10 регулируемого сопла 6, расположенный после последнего витка шнека 4 сыпучий материал спрессовывается до образования пробки. Эта пробка из сыпучего материала обеспечивает надежное уплотнение между приемной и смесительной камерами 1 и 2. Кроме того, спрессованный материал не позволяет проникнуть сжатому воздуху в обратную сторону в случае образования противодавления в пневмотранспортном трубопроводе.

После выхода из регулируемого сопла 6 спрессованный материал подхватывается многочисленными струями сжатого воздуха из серповидного щелевого отверстия 14 и подается через смесительную камеру 2 в транспортный трубопровод 7. Многочисленные струи сжатого воздуха образуются в результате наличия в кольцевой выточке 11 пористой перегородки 19. Струи сжатого воздуха хорошо аэрируют транспортируемый материал. При обратном движении материаловоздушной среды в случае возникновения противодавления в транспортном трубопроводе 7 пористая перегородка второго сопла 6 не пропускает частицы материала в магистраль 12. В этом случае сопло 6, установленное на кожухе 3, перекрывается обратным клапаном 5.

Наличие серповидного щелевого отверстия 14 позволяет пропускать сжатый воздух в большей степени по нижней внутренней части трубопровода, предохраняя его стенку от абразивного износа. В этом случае уменьшается расход сжатого воздуха и увеличивается дальность подачи материала. Возможность регулирования толщины серповидного зазора отражается также как на энергозатратах, так и на дальности транспортирования. Регулируемое сопло 6 предназначено для создания пробки из спрессованного материала,

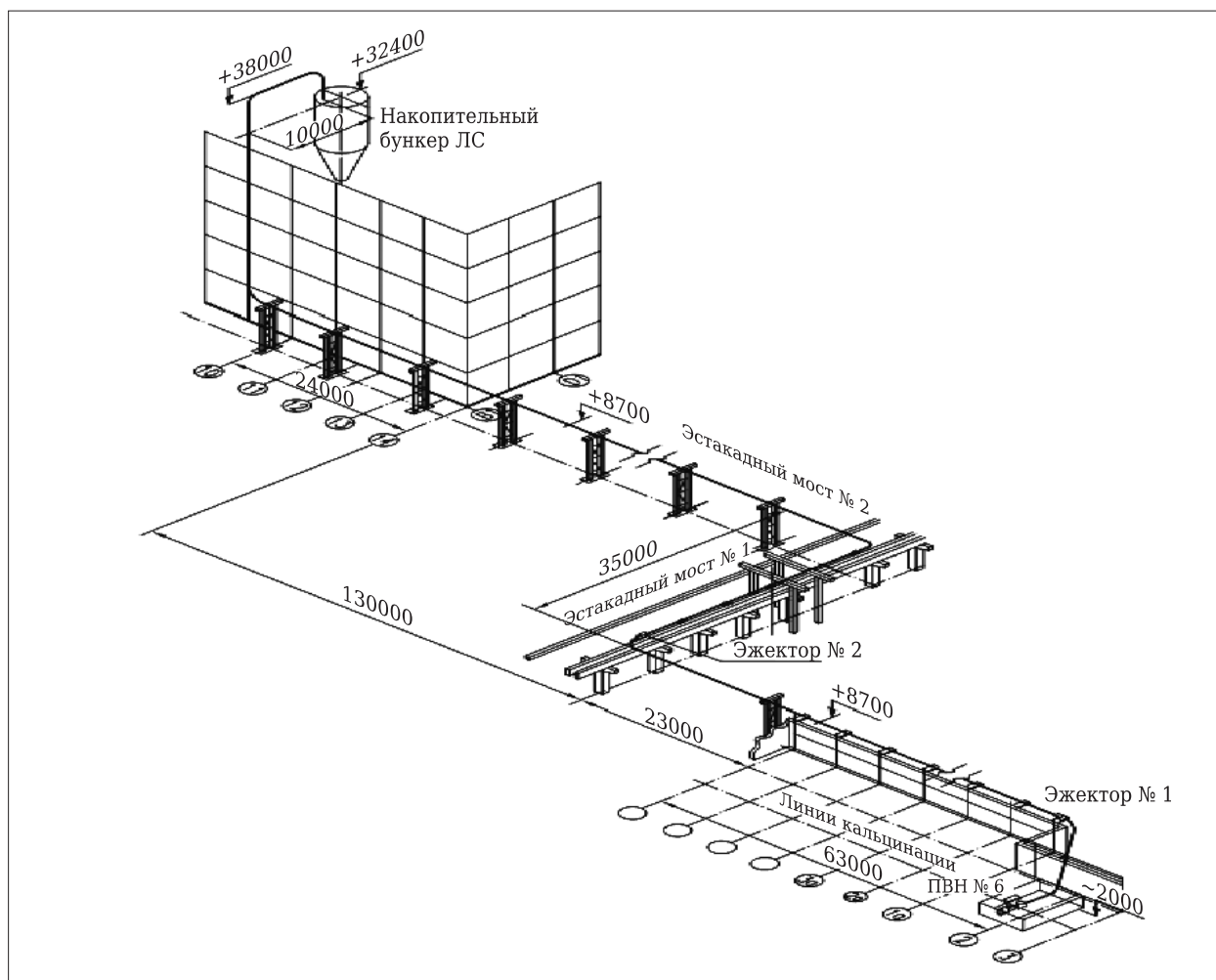


Рис. 6. Схема транспортной линии ПВН № 6

подвода основного материалонесущего сжатого воздуха, аэрации транспортируемого материала и его перемещения по трубе, защиты от попадания материала в воздухоподводящую трубу при возникновении противодействия в транспортном трубопроводе.

Таким образом, при установке регулируемого сопла перед обратным клапаном и по длине транспортного трубопровода уменьшаются энергозатраты на перемещение транспортируемого материала, увеличивается производительность пневмотранспорта и дальность подачи материала, уменьшается абразивный износ транспортного трубопровода, повышаются надежность и стабильность работы пневмотранспорта. Однако на длинных трассах все-таки винтовые насосы необходимо заменять на камерные.

Экспансия иностранных производителей на рынке оборудования для промышленности РФ не нуждается в специальных комментариях. Декларируемые иностранными производителями технические характеристики оборудования, как правило, подкупающе действуют на потенциального клиента и сулят определенные выгоды. Одной из

декларируемых фирмами-поставщиками выгод является снижение энергозатрат от внедрения нового оборудования. Экономический анализ затрат на приобретение и эксплуатацию ПВН фирмы «IBAU», Германия, и пневмокамерного насоса (ПКН) российского производства со встроенными энергосберегающими устройствами (ВЭУ) [7–14], которые успешно были внедрены на предприятиях России, показал следующее:

- замена ПВН на ПКН с ВЭУ позволяет в течение 1 года окупить затраты за счет экономии электроэнергии, которая ранее тратилась на привод шнека, и сократить потребление сжатого воздуха на транспортировку сыпучих материалов. При этом не требуется менять диаметры транспортных трубопроводов;
- ПКН с ВЭУ экономичнее ПВН, так как не имеет электромеханических устройств для проталкивания перекачиваемого продукта в смешительную камеру;
- трудозатраты персонала на обслуживание ПКН значительно ниже, чем ПВН. Нормы амортизационных отчислений на капитальный ремонт ПКН ниже, чем для ПВН, в 2,4 раза;

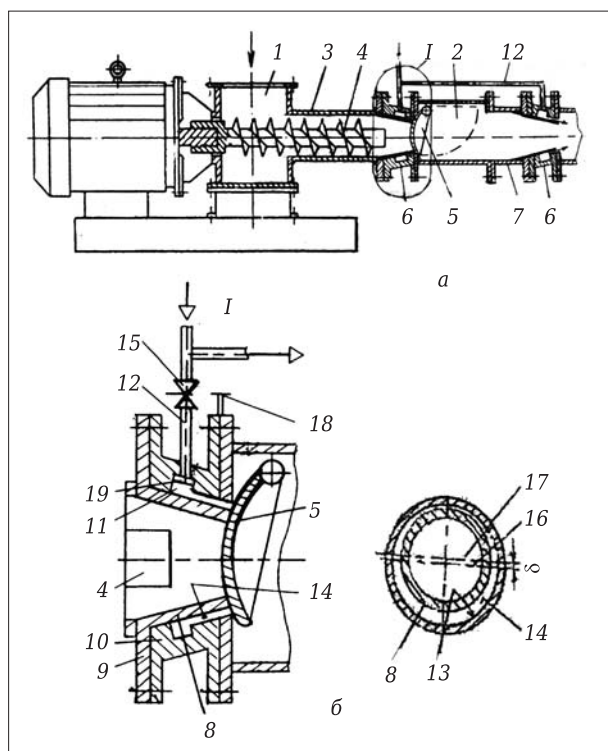


Рис. 7. Модернизированный ПВН сыпучих материалов: *а* — общий вид ПВН; *б* — серповидное щелевое отверстие

— ПКН имеет более высокий коэффициент использования в сравнении с ПВН прежде всего из-за отсутствия быстро изнашиваемых узлов: шнека, гильзы, обратного клапана и электромеханического привода;

— режим пневмотранспорта плотного слоя с минимальным удельным расходом воздуха возможен только при использовании пневмотранспортных насосов с высоким давлением воздуха — ПКН;

— при одинаковой производительности насосов по материалу ПВН имеет расход воздуха в 2 и более раз выше, чем ПКН, при работе ПКН в режиме плотного слоя — в 4–5 раз;

— основная причина неэффективной работы ПВН — рабочее давление часто более 0,15 или 0,1 МПа, хотя обычно декларируется 2 МПа. Это вызвано проходом сжатого воздуха сквозь клапан и винт в противоположную сторону. ПКН использует рабочее давление компрессора практически полностью, в камере может быть давление от 0,4 до 0,6 МПа.

В 2011 г. в ОАО «Березниковский содовый завод» успешно проведена модернизация ПВН с увеличением производительности на 36 %. В 2012 г. компания «РОСМАШИНЖИНИРИНГ» совместно с компанией «RUD Ketten» (конвейеры, элеваторы) и ООО ЗПТО (пневмокамерные насосы) выполнила проект, успешно прошла экспертизу промышленной безопасности по модернизации трех транспортных линий в ОАО «Березниковский содовый завод» с учетом вышеуказанных рекомендаций.

Библиографический список

1. **Евтюков, С. А.** Пневмотранспортное оборудование в строительной индустрии и строительстве / С. А. Евтюков, М. М. Шапунов; под ред. С. А. Евтюкова. — СПб.: ДНК, 2005. — 360 с.
2. **Калинушкин, М. П.** Пневмотранспортное оборудование: справочник / М. П. Калинушкин [и др.]. — Л.: Машиностроение, 1986. — 286 с.
3. **Малевич, И. П.** Транспортировка и складирование порошкообразных строительных материалов / И. П. Малевич, В. С. Серяков, А. В. Мишин. — М.: Стройиздат, 1984. — 184 с.
4. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
5. **А. с. 509505 RU.** Пневматический винтовой насос для транспортирования порошкообразных материалов / М. А. Кошель, И. П. Малевич, В. В. Питулько, М. М. Шапунов. — № 2000947/27-11; заявл. 28.02.74; опубл. 05.04.76, Бюл. № 13.
6. **Пат. 2252908 RU.** Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов / Давыдов С. Я., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2003120338; заявл. 02.07.03; опубл. 27.01.05, Бюл. № 15.
7. **Давыдов, С. Я.** Пути повышения пропускной способности пневмотранспорта / С. Я. Давыдов, Г. Г. Кожушко, И. Д. Кащеев, В. А. Матафонова // Новые огнеупоры. — 2011. — № 4. — С. 26–30.
8. **Пат. 1437320 SU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Павлухин М. А., Бызов П. С., Вебер Г. А., Сидоренко С. П., Маричев В. Т., Бюл. № 42.
9. **Пат. 1676970 SU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Павлухин М. А., Сидоренко С. П., Маричев В. Т. — № 4725468; заявл. 01.08.89; опубл. 15.09.91, Бюл. № 34.
10. **Пат. 2083458 RU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Пономарёв А. В., Азенко Г. Г., Павлухин М. А. — № 94038134; заявл. 10.10.94; опубл. 10.07.97, Бюл. № 19.
11. **Пат. 2189931 RU.** Способ транспортирования сыпучих материалов с повышенной концентрацией в газовой смеси / Давыдов С. Я., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2000103119; заявл. 08.02.00; опубл. 27.09.02, Бюл. № 27.
12. **Пат. 2190569 RU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2000103120; заявл. 08.02.00; опубл. 10.10.02, Бюл. № 28.
13. **Пат. 2255889 RU.** Камерный питатель пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Катаев А. В., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2003120339; заявл. 02.07.03; опубл. 10.07.05, Бюл. № 19.
14. **Давыдов, С. Я.** Совершенствование пневмотранспорта порошкообразных материалов / С. Я. Давыдов, Г. Э. Вебер // Изв. вузов. Горный журнал. — 2000. — № 3. — С. 198–202. ■

Получено 13.12.12

© С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев, Н. Г. Валиев, Д. И. Симисин, Г. Г. Кожушко, Д. А. Панов, 2013 г.