

УДК 664,7: 621,8 (091)

ВОЗМОЖНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

Р.Б. КОКАМБЕКОВ

В статье представлена обзорная информация о существующих устройствах, позволяющих перемещать грузы с помощью пневмотранспорта при пониженных скоростях воздуха. К ним относятся системы аэрозольтранспорта для сыпучих материалов, перемещение грузов в виде капсул и поршней. Показано, что недостатком капсульного транспорта является необходимость возврата под загрузку контейнеров (капсул). В литературе уже имеются сведения о возможности транспортирования волокнистых материалов без использования каких бы то ни было оболочек.

С ростом производства встает необходимость перемещать сырье, полуфабрикаты и готовую продукцию как между отдельными машинами внутри цеха, между цехами, так и между предприятиями. Процесс перемещения может осуществляться разными видами транспорта, в том числе механическим и пневматическим.

Достоинствами пневматического транспорта являются: исключение потерь груза при транспортировании, улучшение санитарно-гигиенических условий работы и техники безопасности, герметичность транспортных систем, возможность приспособлять их к различным производственным ситуациям, совмещение технологических и транспортных процессов; монтаж трубопроводов произвольной конфигурации, возможность.

К недостаткам, свойственным пневмотранспорту, можно отнести его высокую по сравнению с механическими транспортными установками непрерывного действия энергоемкость и значительные трудности при решении вопросов очистки отработанного воздуха [1]. Естественно в таких условиях стремление снизить скорости воздуха в материалопроводах, снизив тем самым энергоемкость пневмотранспортной системы и уменьшив количество отработанного воздуха, подаваемого на очистку.

Вельшов Г. предлагает различать два вида пневмотранспорта: пневмотранспорт с летящими частицами (обычный пневмотранспорт, транспорт с повышенными скоростями воздуха, транспорт полетом) и пневмотранспорт сплошным потоком (со значительным

содержанием твердых частиц, транспорт с пониженными скоростями воздуха, аэрозоль-транспорт) (рис 1) [2]. При обычном пневмотранспорте (рис 1а), когда скорости воздуха больше скоростей трогания и взвешивания частиц транспортируемых грузов, отдельные частицы могут перемещаться в сторону относительно основного направления перемещения. При транспорте же сплошным потоком (рис 1б) движение «в сторону» ограничено соседними частицами, и они принудительно перемещаются вперед вдоль трубопровода.

Особым видом пневмотранспорта является перемещение вагонеток, пакетов (патронов) с почтой, снопов и небольших порций соломы (рис 1в). В этом случае достаточно обеспечить скорость воздуха в горизонтальной трубе большую, чем скорость трогания. В установках аэрозольтранспорта (сплошным потоком) сыпучий груз перемещается в результате давления воздуха, движущегося с незначительной скоростью. Такой режим транспортирования снижает износ материалопровода и уменьшает расход энергии [3]. Скорость несущей среды при этом режиме значительно ниже, чем при транспортировании полетом (5...8 против 20...23 м/с), а концентрация намного больше ($\mu=100...200$ против 30 при насыпной плотности $800\div 2000$ кг/м³).

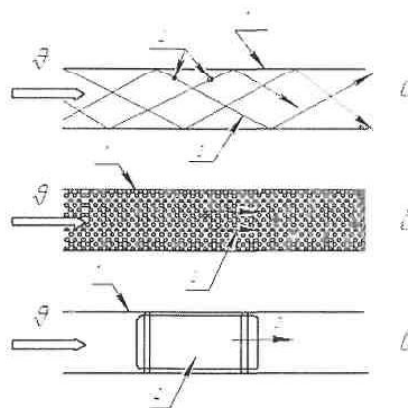


Рис. 1. Виды пневмотранспорта:
1- труба, 2- частицы, 3- скорость частицы;
а- обычный пневмотранспорт;
б- пневмотранспорт сплошным потоком;
в- пневмотранспорт штучный (пакетов, патронов, капсул, снопов и т. д.)

В этом случае порозность сыпучего материала в трубопроводе может быть близкой к порозности в насыпи [4].

Зенз считает [2], что при определенных условиях сплошной поток материала может нарушиться, в результате чего возникают отдельные порции материала и транспорт становится неустойчивым. В отличии от Зенза профессор Шваб В.А. [5] доказывает, что сплошной поток сыпучего материала неизбежно будет распадаться на отдельные порции – пробки, которые устойчиво транспортируются. Поэтому Шваб В.А. предлагает организовать пробки искусственно, еще на стадии ввода материала в трубу, т. е. практически осуществлять пробковый транспорт сыпучего материала. Для обеспечения такого режима были предложены разные технические решения.

Особо следует остановиться на контейнерном пневмотранспорте, когда по трубе перемещаются капсулы (контейнеры) [1]. В качестве контейнеров могут выступать пакеты, в которые можно вложить до четверти листа формата А4, как это было в национальной библиотеке в Алматы используемые для пересылки заказов в от кафедр до хранилища, пачки денег в банке. Отдельные листы бумаги можно транспортировать даже без контейнеров. Для пересылки более крупных корреспонденций используются самые разнообразные патроны (контейнеры). По краям патронов установлены уплотнительные кольца, например, из войлока, кожи, фетра и т.п., препятствующие перетечкам воздуха между стенкой трубы и патроном. Применяется этот вид транспорта и для перемещения фильтров диаметром 8 мм от фильроделательных машин к сигаретным станкам по круглым трубкам диаметром 10 мм длиной в сотни метров и пачек сигарет, перемещаемых от сигаретных станков к упаковочным машинам по нагнетательным трубам из оргстекла прямоугольного сечения 80×40 мм на расстояния, измеряемые метрами. Фильтры и пачки сигарет перемещаются как штучный груз без каких либо контейнеров. В этом случае между стенками трубы и капсулой имеется зазор. Могут быть контейнеры, перемещающие разные виды грузов в вагонетках (капсулах), или поездах из нескольких вагонеток (емкость каждой капсулы измеряется тоннами руды, породы) на расстояния в сотни километров по трубам диаметром до 1,5 м.

Основные принципы контейнерного транспорта были изложены Героном Александрийским [6]. Этот великий инженер в первом столетии в своем трактате «Пневматика» описал принципы и составляющие компоненты, которые до сих пор лежат в основе пневмотранспорта.

Первые схемы контейнерного трубопроводного пневмотранспорта были предложены в Англии в 40-х гг. 19 века, а затем во Франции были построены так называемые "атмосферические" дороги, на которых рельсовые или колёсные экипажи приводились в движение поршнем, перемещавшимся в трубопроводе с продольной щелью под действием нагнетания или отсасывания воздуха [7]. Низкая экономичность, конструкционное несовершенство, а также нерешённая проблема безопасности пассажиров – всё это привело к отказу от этого вида транспорта, и в дальнейшем развитие получило лишь пневматическое транспортирование капсул в трубопроводах малого диаметра - пневмопочта (1853 г.).

Пневмопочта стала применяться в некоторых больших городах для рассылки писем из одной части города в другую по подземным трубам при посредстве пневматических машин (воздушных насосов)[8]. Устроена она была впервые в Лондоне в 1853 году, затем в Париже, Вене и Берлине (1876)[6]. В Лондоне первая линия соединяла Лондонскую фондовую биржу и Главный телеграф и имела протяжённость трубопроводов 100 м. При этом трубы были расположены звездообразно, так что различные станции находились в непосредственном сообщении только с центральной главной станцией. В Париже и Вене трубы были расположены кругообразно, чем достигалась возможность прямого сообщения между многими отдельными станциями. Дальнейшее своё развитие пневматическая почта получила в Германии благодаря инициативам Генриха фон Стефана, генерального почтмейстера Германской империи. В Берлине первоначально была устроена, как более дешёвая, кругообразная сеть, но затем постепенно к 1884 году она была преобразована в звездообразную, допускающую, вообще, более быструю передачу посылок, чем первая. К 1900 году в Берлине, включая сюда и предместья Шарлоттенбург, Риксдорф и Шёнеберг, общая длина чугунных труб (внутренним диаметром 65 мм, внешним 74 мм), закопанных на глубине 1,25 м, составляла уже более 118 км. Сеть эта соединяла 53 станции. Через каждые четверть часа с 7 часов утра до 10 часов вечера по трубам между станциями ежедневно пересылалось от 5 до 10 цилиндрических капсул с письмами. Длина каждой такой алюминиевой капсулы была 15 см. Капсулы были закрыты только с одной стороны. После того как посылка была вложена в капсулу, на неё надевался кожаный чехол 11 см длины. Так как капсулы не вплотную подходили к стенкам трубопровода, то в трубу за ними вкладывался ещё особый *поршень*, состоявший из деревянного цилиндра (11 см длины), покрытого кожей и снабженный на

одном конце кожаны́м кольцом. Кольцо это плотно прилегалo к стенкам трубы и герметически её закрывало.

Промышленный пневмотранспорт различных штучных грузов, а также сыпучих грузов, заключенных в оболочку (капсулы или контейнеры), называют пневматическим трубопроводным транспортом контейнеров ПТТК [9]. Этот вид транспорта может быть использован, например, для механизированной доставки проб теххимического контроля, служебной документации, для массовых перевозок зерна, муки, комбикормов и других сыпучих грузов.

Исходной базой для технологического проектирования систем ПТТК являются теоретические основы газодинамического расчета систем ПТТК и методы решения возникающих при этом задач. Разработанные методы являются органическим соединением широко развитых методов расчета неустановившегося движения газа в магистральных трубопроводах и методов математического описания движения системы материальных тел и позволяют учесть все конкретные особенности реальных систем ПТТК, как например, характеристики воздушной станции, перетоки газа через составы контейнеров, коэффициенты трения ходовой части составов. На основе этих исследований и разработок в 1971 г. сданы в опытно-промышленную эксплуатацию первые системы ПТТК [6]. Одна из них была спроектирована Московским специальным конструкторским бюро «Транс-

прогресс» при участии СКВ «Транснефтеавтоматика» и построена на Московском заводе «Старт». Она служит для внутривозовского транспортирования штучных грузов по трубопроводу диаметром 180 мм из производственных цехов на склад готовой продукции.

Подвижной состав для перемещения сыпучих грузов может состоять как из отдельных контейнеров (рис 2) [10], так из составов контейнеров.

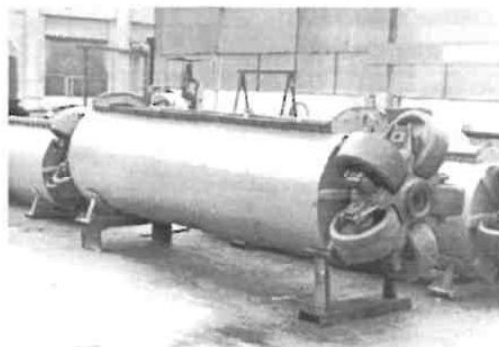


Рис. 2. Контейнер ПТТК Транспрогресс.

Основные технические данные некоторых типов контейнеров системы «Транспрогресс» приведены в табл.1 [10].

Таблица 1. Основные технические данные некоторых типов контейнеров системы «Транспрогресс». [10]

Показатели	КТП 1-13	ВС 1	ВС 3	ВС 5	ВБ 3
Транспортируемый материал	Песок, щебень		Уголь, порода		Бытовые отходы
Условный проход транспортного трубопровода, мм	1000	1200	1000	1200	1200
Грузоподъемность, кг	2500	4500	2500	4000	1500
Полезный объем кузова, м ³	1,23	2,42	1,2	2,0	1,42
База, мм	2900	3870	2900	3870	3870
Габаритные размеры (длина X диаметр)	3280X990 3280X990	4320X1170	3220X970	4320X1170	4270X1170

Другая система «Лило-1» (табл. 2) [11, 12] с трубопроводом диаметром 1020 мм для доставки щебня от карьера до завода железобетонных изделий сооружена в поселке Шулавери, недалеко от Тбилиси, по проекту группы специалистов СКВ «Транснефтеавтоматика» и института «Грузипроводхоз» Министерства мелиорации и водного хозяйства Грузинской ССР.

На базе проверенных на системе «Лило-1» технических решений выполненных опытно-конструкторских и экспериментальных работ спроектированы системы ПТТК (табл. 1) для

перевозки инертных строительных материалов (песка, щебня) в районе Волгограда, Тбилиси («Лило-2») и Тульской области, а также для транспортирования бытовых отходов из Ленинграда [9].

Также известны системы ПТТК «Бумеранг» кольцевого и челночного транспортирования (табл. 2), Транспорт контейнеров в этом случае осуществляется при скоростях воздуха больших, чем скорость трогания. И его можно отнести к системам с повышенными скоростями воздуха.

Таблица 2. Ориентировочные технические параметры существующих систем пневматического транспортирования штучных грузов (капсул, составов)

Показатели и единицы измерения	ЛИЛО -1	Транспортная кольцевая система «Бумеранг»	Транспортная система «Бумеранг» челночного типа	из книги Александрова, с. 123
1. Диаметр трубы, м.	1,02/ 2200	1,22/3000	1,22/7180	1,2
2. Площадь поперечного сечения, м ²	0,817	1,168	1,168	1,13
3. Размеры грузов (диаметр) м.	1,0	1,2	1,2	1,19
4. Площадь миделевого сечения груза, f, м ²	0,785	1,13	1,13	1,111
5. Отношение площадей труб и миделя, F/f м	1,04	1,03	1,03	
6. Зазор на сторону, м.	0,01	0,008 зазоры закрыты манжетами	0,010 на сторону	
7. Площадь кольцевого зазора, м ²	0,032	0,03	0,038	0,1
8. Длина трассы, м.	22000	3000	7180	6000
9. Длина капсулы, м.	2,0	--	отдельный контейнер	
10. Длина состава, м.	20	---	68 (10 контейнеров)	--
11. Масса состава, кг	21000		78000	35000
12. Производительность ПС, кг/с	140		65,3; 87 194 (зависит от интервала подачи)	
13. Скорость воздуха u, м/с	5,4	--	3,8	
14. Скорость груза, ω	4,2		8÷10	
15. Отношение, ω/u	0,78	-	-	-
16. Расход воздуха L, м ³ /с	4,4	-	3,8	-
17. Массовая концентрация аэро-смеси, μ кг/кг	26,5	-	-	-
18. Интервал подачи, t, с.	150	45;30; 15	-	210
19. Длина воздушной пробки, м.	630	от 450 до 150	-	-
20. Количество капсул в материалопроводе, шт.	3,5	-	1 состава	-
21. Потери давления при перемещении капсул, кПа	110,8	-	≈ 60	-
22. Расход воздуха, создаваемого воздуходувкой, м ³ /с	-	-	3,8	-
23. Давление, создаваемое воздуходувкой, Па	-	-	≈ 70	-
24. Потребная мощность при КПД воздуходувки 0,7 кВт	≈700	-	≈370	-

Сравнение результатов наблюдений, литературных данных позволяет утверждать, что транспорт сыпучих грузов в виде пробок, контейнеров относится к транспорту с высокими концентрациями и низкими скоростями воздуха, и является также гораздо более экономичным, чем транспорт полетом. Расчеты показывают, что транспорт тех же сыпучих грузов в капсулах может рассматри-

ваться как транспорт с пониженными скоростями воздуха. Пневматический трубопроводный транспорт контейнеров имеет общий недостаток – необходимость возвращать пустые контейнеры на место загрузки. Поэтому появились предложения оборачивать грузы оболочкой из дешевых материалов, которые не нужно возвращать к месту загрузки.

Наряду с сыпучими есть группа материа-

лов, которые можно транспортировать в виде поршней без каких либо капсул (контейнеров). К ним относятся волокнистые материалы – хлопок, табак шерсть, пух и т. п. [1]. До настоящего времени эти материалы транспортируются полетом – при повышенных скоростях воздуха. Обычный пневмотранспорт (транспорт полетом, транспорт в рыхлом состоянии) таких материалов (хлопка) осуществляется при концентрациях 0,5 – 0,8, скоростях воздуха 10 – 15 м/с, при минимальных диаметрах трубопроводов 130 – 140 мм. При этом скорость витания таких материалов не превышает 6+8 м/с. Эти материалы просто всасываются в трубопровод и их транспорт осуществляется в рыхлом состоянии. Есть информация, что в уплотненных пробках волокнистый материал устойчиво транспортируется аналогично транспорту сыпучего груза [13]. Транспорт табака к сигаретным станкам организованным прерывистым потоком - в виде пробок длиной 0,5÷ 4,0 м возможен в трубах диаметром 75÷160 мм при скоростях воздуха 10÷14 м/с [1]. Транспорт аналогичных пробок шерсти и хлопка осуществляется при еще меньших скоростях. Снижение скорости транспортирующего воздуха в этом случае возможно при уплотнении материала (если это допустимо по технологическим показателям производства), т. е. организовать транспорт волокнистого материала в уплотненном состоянии.

Выводы

В настоящее время наиболее широко распространен, как более простой, пневмотранспорт с повышенными скоростями воздуха и с низкими концентрациями аэросмеси. Одним из основных недостатков этого вида пневмотранспорта является его высокая энергоемкость и значительные затраты на очистку большого количества отработанного воздуха. Предлагаю как альтернативу такому виду пневмотранспорта транспорт с пониженными скоростями воздуха и повышенными концентрациями аэросмеси.

К транспорту с пониженными скоростями воздуха относится транспорт сплошным потоком, а также можно отнести и транспорт грузов в контейнерах и капсулах. Но этот вид транспорта имеет общий недостаток – необходимо обеспечивать возврат пустых контейнеров. Этого недостатка может быть лишен пневмотранспорт волокнистых материалов в виде поршней, для организации которого не нужны ни капсулы ни контейнеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробов А.К. Аэродинамические свойства материалов, подлежащих пневматическому транспорту. – Алматы: Мектеп, 2010.

2. Вельшоф Г. Пневматический транспорт при высокой концентрации перемещаемого материала. – М.: Колос, 1964.

3. Зуев Ф.Г., Левачев Н.А., Лотков Н.А. Механизация погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ. – М.: Агропромиздат, 1988.

4. Зуев Ф.Г. Пневматическое транспортирование на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1976.

5. Шваб В.А. Теоретические исследования течений сжимаемой двухфазной среды непрерывной и поршневой структуры и механика сопротивления при турбулентном течении применительно к проблемам пневмотранспорта. дисс. канд. техн. наук. – Томск: 1976.

6. ↑ *The Pneumatics of Hero of Alexandria; From the Original Greek Translated for and Edited by Bennet Woodcroft Professor of Machinery in University College, London.* – London: Taylor Walton and Maberly, 1851.

7. Белов И.А. Булев Н.И. Гиневский А.С. и др. Введение в аэрогидродинамику контейнерного трубопроводного транспорта. – М.: Наука, 1986.

8. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Пневматическая почта.](http://ru.wikipedia.org/wiki/Пневматическая_почта)

9. Александров А.М. Контейнерный трубопроводный транспорт – М.: Машиностроение, 1979.

10. [http://transprogress.info/index.php?act=mkbsob.](http://transprogress.info/index.php?act=mkbsob)

11. Заверуха Л.П. Хайт М.Б. Результаты исследований работы высокопроизводительной трубопроводной пневмоконтейнерной линии системы «Бумеранг». Tehnikal univeriti of Budapest seientife society on tehnikal engineers – central material handling committee. IV international conference on pneumatic conveing. 30 th mai – 1st jine 1990/ Budapest. S. C22-1÷C22-4.

12. Заверуха Л.П. Бадаева О.С. Результаты исследований опытно-промышленной трубопроводной пневмотранспортной линии. Tehnikal univeriti of Budapest seientife society on tehnikal engeneers – central material handling committee. IV international conference on pneumatic conveing. 30 th – 1st jine 1990/ Budapest. S. C22-1÷C21-5.

13. Коробов А.К., Коробова-Кадье Н.К., Репп К.Р. Возможность снижения энергоемкости пневмотранспорта при перемещении резанного табака. // Табақревью. – 2009. – № 2. – С. 30-33.

Алматинский технологический университет

ТҰЖЫРЫМ

Бұл мақалада қолданыста бар, жүктерді өуе құбырлары арқылы жылдамдығы азайтылған жағдайда тасымалдау туралы жалпы шолу аппараты берілген. Оған жүктердің капсулалар және поршеньдік түріндегі тасымалдау, себілмелі заттарға арналған аэрозольтранспорт жүйесі жатады. Капсула көлігінің кемшілігі ретінде көрсетілген (капсулалар) контейнерлердің жүктеуіне қайтаруды қажеттілік болып табылады. Сөйкесті әдебиеттерде талшақта мате-

риалдарды қандай да болсын қабықсыз тасымалдау мүмкіндігі туралы ақпараттар бар болып табылады.

RESUME

In article the survey information on the existing arrangements is presented, allowing to move cargoes by means of pneumotransport at the lowered speeds of air. Systems concern to them aerosoltransportation for loose materials, moving of cargoes in the form of capsules and pistons.

It is shown that lack capsulation transport is the indispensability of return under loading of containers (capsules). In the literature already are available the information on a possibility of transportation of fibrous materials without use of any envelopes.