

Лекция №15 Трубопроводный транспорт твердых и сыпучих материалов

Трубопроводы уже давно применяются для транспортировки твердых и сыпучих материалов на различных предприятиях, т.е. на короткие расстояния. При этом в одних случаях несущей средой является воздух (пневмотранспорт), а в других - вода (гидротранспорт).

Пневмотранспорт (рисунок 1) применяют при подземной и открытой разработке месторождений для перемещения пылевидных или мелкозернистых полезных ископаемых (угля, фосфатов и др.). На обогатительных фабриках и металлургических заводах этот вид транспорта используется там, где не допускается присутствие людей: при перемещении руд, концентратов, реагентов или катализаторов, а также для подачи угольной пыли на коксохимические заводы и ТЭЦ. Устройства пневматического транспорта используют для разгрузки железнодорожных вагонов от муки, цемента, извести и других пылевидных или мелкозернистых материалов, увлажнение которых нежелательно или недопустимо.

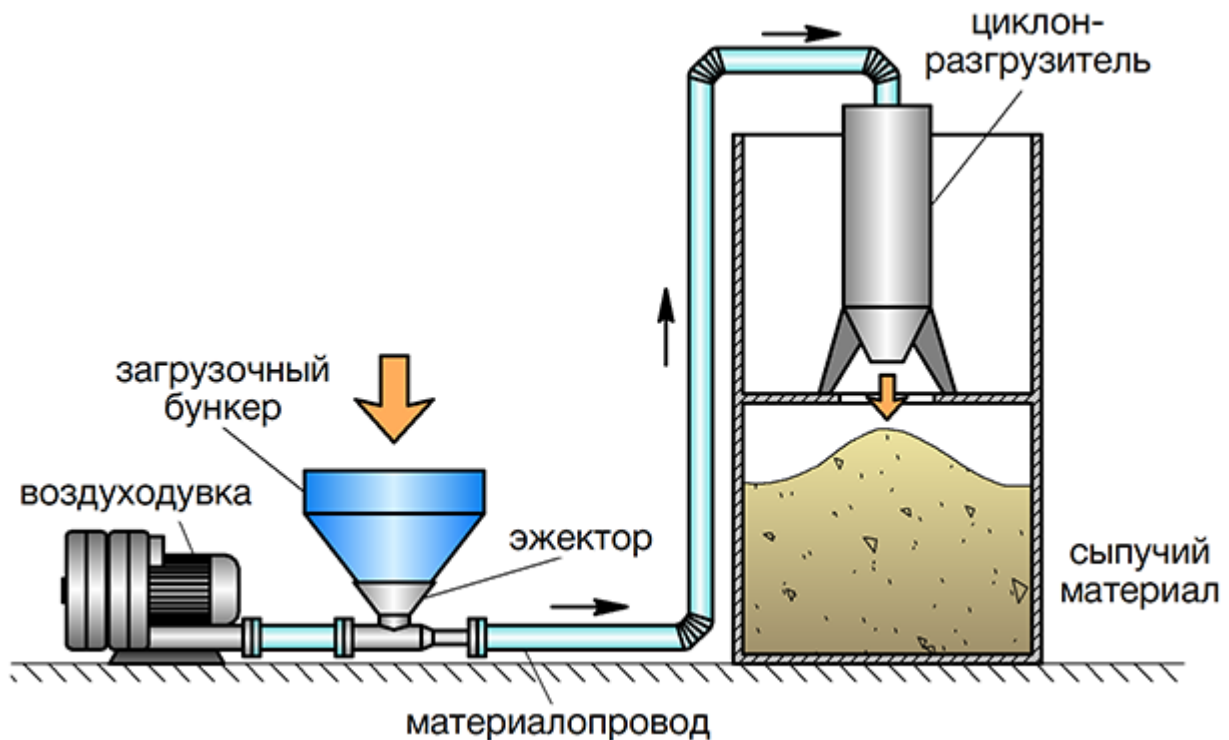


Рисунок 1. – Пневмотранспорт

Гидротранспорт песка и гравия широко используется для намыва оснований при строительстве зданий и сооружений, расположенных на слабонесущих грунтах вблизи рек. Данный способ транспорта распространен на обогатительных фабриках с мокрым обогащением, где подача угля, руд или песков в различные обогатительные аппараты, отстойники и отвалы производится в потоке жидкости.

В последние годы резко возрос интерес к транспортировке твердых и сыпучих материалов по трубопроводам на относительно большие расстояния. Это обусловлено тем, что во многих случаях существуют устойчивые

однонаправленные грузопотоки угля, руды, щебня и других материалов. Вместо увеличения пропускной способности существующих или строительства новых автомобильных и железных дорог, по которым к тому же в одну сторону транспорт будет совершать порожний пробег, в этих условиях более целесообразно использовать трубопроводы.

К настоящему времени определились три основных способа дальнего трубопроводного транспорта твердых и сыпучих материалов: гидротранспорт, капсульный гидротранспорт (КПГ) и контейнерный пневмотранспорт (КПТ)

Гидротранспорт

Сущность данной технологии состоит в том, что частицы транспортируемых материалов (уголь, руда и т.д.) перекачиваются в потоке жидкого носителя, в основном, воды.

Хотя технология транспорта угольной пульпы по трубопроводам была запатентована еще в девяностые годы прошлого века, первый углепровод длиной 600 м был построен в 1913 г. в Англии: он соединял причал для разгрузки угля на р. Темзе с котельной. В 1944 г. в США был построен углепровод длиной 27 км. В 1955 г. во Франции построили трубопровод длиной 9,5 км для транспорта тонко измельченного угля от месторождения Мербеллах до ТЭЦ в г. Карлинг. В конце 50-х годов в США был введен в эксплуатацию углепровод Кадис-Истлейк диаметром 254 мм, длиной 174 км и производительностью около 1,1 млн.т/год. Содержание угля в пульпе первоначально составляло 50 % по весу, а затем было доведено до 60 %.

Сейчас в различных странах мира эксплуатируется свыше 100 трубопроводов, по которым осуществляется гидротранспорт каменного угля, железного и медного концентрата, известняка, фосфатов и других грузов. О динамике развития гидротранспорта за рубежом можно судить по таким цифрам. В 1978 г. объем трубопроводного транспорта угля и руды за рубежом составил 12 млн.т/год, в 1980 - 50 млн.т/год, а в 1989 г.- 300 млн.т/год.

В нашей стране по трубопроводам транспортируется около 80 млн.т угля в год. С 1966 г. в Кузбассе эксплуатируется два трубопровода длиной по 10 км для транспорта кускового угля от гидрошахт Инская и Юбилейная. Действуют трубопроводы для транспорта железнорудного концентрата, в числе которых концентратопровод “Лебединский горнообогатительный комбинат - Оскольский электрометаллургический комбинат” длиной 26 км. На Норильском горно-металлургическом комбинате эксплуатируется система для транспортирования по трубопроводу концентрата полиметаллических руд.

Принципиальная схема дальнего гидротранспорта твердых и сыпучих материалов аналогична той, что применяется при транспортировке нефти. В начале трубопровода размещается головная насосная станция, на территории которой находятся комплекс по приготовлению пульпы, а также насосы для ее закачки в трубопровод. Через определенные расстояния по трассе располагаются промежуточные насосные станции, служащие для восполнения энергии, затраченной потоком на преодоление сил трения и разности нивелирных высот. На конечном пункте размещается станция обезвоживания, где транспортируемый материал отделяется от жидкости, после чего сдается

потребителю.

Особенностями гидравлического транспорта твердых и сыпучих материалов являются возможность оседания взвешенных частиц и абразивный износ внутренней поверхности труб.

Предотвращение оседания частиц достигается введением ограничений на их максимальный размер и поддержанием достаточных скоростей перекачки. В этом случае поперечные турбулентные пульсации скорости удерживают частицы во взвешенном состоянии.

Максимально допустимый размер твердых частиц пульпы зависит от их плотности (таблица 1). Рекомендуемая же скорость перекачки пульпы, обеспечивающая удержание потоком основного количества частиц, равна 1,5...2 м/с. Дальнейшее увеличение скорости, хотя и повышает удерживающую способность потока, ограничивается увеличением абразивного износа труб. Уменьшение износа труб достигается применением различных внутренних покрытий.

Таблица 1

Рекомендуемые параметры пульпы

Материал	Плотность твердых частиц, т/м ³	Максимальный размер твердых частиц, мм	Средняя весовая концентрация твердых частиц в пульпе, %
Каменный уголь	1,4	2,20	50
Известняк	2,7	0,30	70
Медный концентрат	4,3	0,23	55
Железный концентрат	5,0	0,15	60

Для перекачки пульпы по трубопроводам применяются центробежные грунтовые, песковые и поршневые насосы, в которых уплотнения и детали способны противостоять определенное время абразивному и коррозионному воздействию перекачиваемой среды.

Грунтовые насосы (типа ГР) выполняют с деталями проточной части из износостойкой стали и облицовкой рабочих колес резиной. Насосы этого типа развивают напор от 10 до 100 м и подачу от 50 до 8000 м³/ч. От насосов, применяемых при перекачке нефти и нефтепродуктов, они отличаются меньшим числом лопаток, большими расстоянием между дисками и диаметром (до 1050 мм) рабочего колеса.

Песковые насосы (типов П, ПБ) рассчитаны на подачу от 5 до 1500 м³/ч и напор от 7,5 до 65 м при перекачке измельченных руд, песчаных и других смесей. Как и у грунтовых насосов, их кавитационный запас равен 2...8 м.

Поршневые насосы выполняют одинарного и двойного действия, с одним или несколькими цилиндрами. При перекачке пульпы наиболее слабым местом этих насосов являются всасывающие и нагнетательные клапаны.

Технология гидротранспорта постоянно совершенствуется. Так в Австрии мелкоизмельченный уголь транспортируют с водой, маслом и небольшим количеством присадок. В процессе движения по трубопроводу вода вымывает породу, а уголь с маслом и присадками образует гранулы. Теплотворная способность гранулированного угля на 20 % выше, чем негранулированного.

С тем, чтобы исключить затраты на отделение жидкости-носителя в Англии угольный порошок транспортируют в смеси с 50 % топочного мазута. Смесь подается к топкам без разделения и сжигается после распыления форсунками. В США для аналогичных целей используется смесь, состоящая из 50 % угля, 40 % мазута и 10 % воды. Ультразвуковая обработка смеси предотвращает выпадение осадка.

Наиболее прогрессивные технические решения планируется использовать и при расширении сети пульповодов в нашей стране. Для их отработки построен опытно-промышленный углепровод Белово-Новосибирск диаметром 426 мм, протяженностью 260 км и производительностью 2,7 млн.т/год. Трубопровод имеет три перекачивающие станции и рассчитан на давление 10 МПа.

Технология предусматривает приготовление, транспортирование и прямое сжигание в котлах электростанций нового вида жидкого топлива - водо-угольной суспензии, содержащей около 70 % по массе тонко измельченного угля с химическими добавками, обеспечивающими достаточную текучесть и длительную стабильность суспензии. При такой технологии требуется меньшее количество воды, уменьшается абразивный износ оборудования, обеспечивается возможность хранения суспензии подобно однородным жидкостям при сжигании.

В дальнейшем планируется построить углепровод Кузбасс-Урал-Поволжье-Центр диаметром 1420 мм, где также будет применена данная технология. Согласно предварительным расчетам, транспортировка по нему 60...70 млн.т кузнецкого угля в год потребует в 1,5 раза меньших капиталовложений, чем строительство новой железной дороги, и в 12 раз меньшего количества обслуживающего персонала.

Расчет гидротранспортных установок состоит в том, что по заданным объемной или массовой производительности, характеристике груза (его плотности, гранулометрическому составу и др.), длине и конфигурации трубопровода определяют: необходимую для обеспечения транспортного процесса скорость движения несущей среды (воды); потребное количество воды; диаметр трубопровода; сопротивления движению смеси на различных участках трубопровода и потребный напор или давление для их преодоления; мощность двигателя насосного агрегата.

Для разных групп характерны различные гидромеханические процессы при перемещении в потоке несущей среды.

Группы крупности насыпных грузов:

- кусковые ($a > 40$ мм);
- крупнозернистые ($a = 6-40$ мм);
- мелкозернистые ($a = 2-6$ мм);
- грубодисперсные ($a = 0,15-2$ мм);

- тонкодисперсные ($a < 0,15$ мм).

Критерием для установления скорости потока служит критическая скорость $v_{кр}$, т. е. наименьшая скорость, при которой груз не скапливается в трубопроводе. Кроме того, для наклонных трубопроводов исходной величиной при назначении скорости может служить для гидротранспорта скорость осаждения частиц или кусков в воде (так называемая гидравлическая крупность). Гидравлическая крупность определяется обычно временем, при котором равномерно движущаяся под действием силы тяжести частица в сосуде с водой проходит определенный отрезок пути. Для обеспечения нормального режима транспортирования скорость потока для максимального по размеру куска должна быть

$$v \geq (1,1 \dots 1,2) v_{кр}.$$

Вместе с тем она не должна быть излишне большой во избежание непроизводительного увеличения расхода энергии, повышенного износа трубопровода и измельчения перемещаемого груза. Кроме того, нормальный режим транспортирования зависит от относительного количества воды, определяющего концентрацию смеси, которую обычно выбирают по имеющимся опытным данным.

Различают объемную и массовую концентрации смеси. Первой обычно пользуются при расчетах установок гидротранспорта, а второй – пневмотранспорта.

Под объемной концентрацией гидросмеси понимают отношение объемной производительности установки V , м³/ч, к расходу гидросмеси $V_г$, м³/ч, за тот же период времени:

$$s = \frac{V}{V_г} = \frac{V}{V + V_в} = \frac{\rho_г - \rho_в}{\rho - \rho_в} < 1,$$

где $\rho_г, \rho_в, \rho$ – плотность транспортируемого груза, воды и гидросмеси соответственно, т/м³, $V_в$ – расход воды, м³/ч.

Установив, согласно опытным данным, концентрацию смеси и диаметр трубопровода, определяют скорость смеси $v_{кр}$. Затем проверяют выполнение условия $v > v_{кр}$ по расходу гидросмеси.

$$v = \frac{4V_г}{3600\pi D^2} \geq v_{кр}$$

где $V_г$ – расход гидросмеси, м³/ч;

D – диаметр трубы, м;

v – скорость транспортирования, м/с.

Удельные потери напора (м/м) при движении смеси

$$H' = k_1 H_0 (1 + as),$$

где $k_1 = 1,1-1,5$ – коэффициент, учитывающий степень перемешивания смеси;

$a = (\rho_s - \rho_в) / \rho_в$ – соотношение плотностей частиц груза и несущей среды.

H_0 – удельные потери напора при движении чистой воды со скоростью, равной скорости гидросмеси, м/м;

$$H_0 = \frac{\xi v^2}{Dg},$$

где ξ – коэффициент гидравлических сопротивлений.

Зная характеристики потока смеси (скорость, концентрация) и диаметр трубопровода, определяют сопротивление движению. Оно состоит из сопротивления подъему на вертикальных или наклонных участках трубопровода и гидравлических потерь вдоль всего трубопровода и на отдельных участках (повороты, разветвления и пр.).

Местные (сосредоточенные) сопротивления приравнивают к линейным сопротивлениям на эквивалентной длине трубопровода и учитывают местные сопротивления введением коэффициента 1,05...1,1 при определении общего напора для гидротранспорта.

Если трубопровод имеет вертикальные участки высотой L_{Π} , то потребный напор для него больше на величину статического напора при подъеме H_{Π} . При движении смеси вниз он на столько же меньше, поэтому $H_{\Pi} = \pm L_{\Pi}$.

Дополнительные потери в трубопроводе составляют около 5%.

При расчете гидроустановок для транспортирования кусковых грузов критическая скорость

$$v = C_1 \sqrt{f a g s D},$$

где $C_1 = 8,5-9,5$ – эмпирический коэффициент;

f – обобщенный коэффициент трения груза о нижнюю стенку трубы.

Удельные потери напора при движении гидросмеси

$$H' = H_0 + f a s,$$

Для предотвращения скопления груза в трубопроводе максимальный размер кусков груза должен быть не более 1/3 диаметра трубы, концентрация должна составлять $s = 0,2-0,25$.

При расчете гидроустановок для транспортирования грубодисперсных грузов по полному расчетному напору H_p (м) и производительности V (м³/ч) выбирают насосный агрегат и рассчитывают необходимую мощность двигателя

$$N = \frac{k_3 H_p V \rho_t}{367 \eta},$$

где $k_3 = 1,1-1,2$ – коэффициент запаса;

$\eta = 0,7-0,9$ – КПД насосного агрегата.

$$H_p = H_{\Pi} + H_m,$$

где H_{Π} – статический напор при подъеме;

H_m – дополнительные местные потери.

Контейнерный гидротранспорт

В данном случае твердые и сыпучие материалы транспортируются не

непосредственно в потоке жидкости, а в специальных устройствах - контейнерах.

Контейнеры плывут в трубопроводе или скользят по его нижней образующей.

Контейнерный гидротранспорт предпочтительнее в первую очередь при транспортировке материалов, состоящих из крупных фракций. Так, при транспортировании песка крупностью 0,05 мм энергозатраты при применении контейнерного гидротранспорта и гидротранспорта практически одинаковы, при крупности песка 0,2 мм - они меньше в 6 раз, а при крупности 2 мм - меньше в 17,5 раз.

Кроме того, достоинством данной технологии перекачки является то, что грузы не требуют измельчения перед транспортировкой, не происходит загрязнения несущей среды транспортируемым материалом и наоборот, грузов несущей средой.

Первоначально для транспортировки грузов использовались контейнеры жесткой конструкции. Однако их можно применять лишь на трубопроводах, не имеющих участков с меньшим внутренним диаметром, крупных поворотов, неполнопроходной арматуры и других элементов, характерных для трубопроводных магистралей.

В последние годы для транспортировки различных грузов по существующим трубопроводам используются эластичные оболочки - контейнеры из резиновых, резинотканевых и синтетических материалов. Такие оболочки, в отличие от жестких капсул, которые обязательно надо возвращать к началу трубопровода, могут предназначаться для однократного использования.

СКБ "Транснефтеавтоматика" предложило использовать для КГТ полиэтиленовые оболочки-контейнеры. Применительно к транспортировке битума система КГТ выглядит следующим образом. На нефтеперерабатывающем заводе действует автоматическая линия, предназначенная для изготовления полиэтиленовых оболочек-контейнеров и затаривания их битумом. Далее загруженные оболочки-контейнеры по канатной дороге, пневмопроводу или с помощью других транспортных средств доставляются к специальному узлу, через который они партиями вводятся в действующий нефтепродуктопровод в автоматическом режиме. Надежный контроль за количеством введенных в НПП оболочек-контейнеров обеспечивается ультразвуковой аппаратурой.

Для пропуска партий оболочек-контейнеров через промежуточные насосные станции используется устройство, аналогичное применяемому при пропуске очистных устройств.

Узел приема оболочек-контейнеров в конце нефтепродуктопровода предусматривает отдельный прием несущего нефтепродукта в резервуарный парк и непрерывное поступление и очистку оболочек-контейнеров от несущего нефтепродукта.

Вопрос об освобождении от битума и дальнейшей судьбе оболочек-контейнеров решен просто - битум расплавляется вместе с полиэтиленовой оболочкой-контейнером в битумоплавильных котлах. Качество битума от этого не только не страдает, а, наоборот, улучшается: повышаются его вязкость и

температура размягчения.

Контейнерный пневмотранспорт

Почти 200 лет назад перепад давления воздуха начали использовать для доставки по трубам конторских документов и почтовых отправок. Такой способ доставки называли пневмопочтой.

В 1840 г. в Англии была построена первая 2-х километровая дорога, на которой 5-тонная тележка развивала скорость 72 км/ч, а в 1843 г. между Кингстауном и Далки (Ирландия) открылось регулярное движение 60-тонных составов по дороге в виде туннеля длиной 2,8 км. Тяговое усилие создавалось за счет перепада давления воздуха: с одной стороны туннель соединялся с атмосферой, с другой - со стороны станции прибытия - создавалось разрежение. На этой дороге был поставлен рекорд скорости по тогдашним временам - 135 км/ч.

В последующем подобные, как их называли, “атмосферические” дороги были также построены во Франции, а максимальная дальность транспортировки достигала 33,6 км. Однако из-за многочисленных недостатков, а также невозможности решения ряда конструктивных проблем дороги вскоре были закрыты.

Сегодняшний интерес к контейнерному пневмотранспорту объясняется тем, что перевозка некоторых массовых грузов традиционным транспортом стала обходиться в несколько раз дороже, чем их добыча или производство. Активные исследования в области КПТ для грузовых и пассажирских перевозок ведут фирмы Японии, США, ФРГ, Великобритании. Ведущее место в мире по созданию систем КПТ занимает наша страна. Подтверждением этому являются две системы КПТ, построенные в Японии по отечественной лицензии. По одной из них, имеющей диаметр 1000 мм и длину 3,2 км, транспортируется щебень в количестве 2 млн.т/год, а по другой - диаметром 600 мм и протяженностью 1,5 км - перемещают гашеную известь.

Система КПТ представляет собой комплекс сооружений, обязанных транспортными трубопроводами, по которым в потоке газа (воздуха), создаваемого воздуходувными или вакуумными станциями, движутся одиночные или объединенные в составы контейнеры.

В состав сооружений систем КПТ входят:

- погрузочные и разгрузочные станции;
- головные и промежуточные воздуходувные станции;
- линейные сооружения.

В зависимости от характера транспортируемого груза различают погрузочные (разгрузочные) станции сыпучих материалов (песок, щебень, уголь, руда и др.), бытовых отходов, крупных штучных и жидких грузов. Они отличаются составом сооружений и способами погрузки-выгрузки. Так, **на станциях погрузки сыпучих материалов** используются бункера-наполнители, конвейерные устройства для непрерывной подачи грузов, дозаторы, **на станциях погрузки бытовых отходов** - опрокидывающаяся платформа для перегрузки отходов из автомобилей мусоровозов, бункера-наполнители, прессы

для уплотнения отходов в брикеты, питатель для перемещения мусора из бункера в загрузочную камеру пресса. Сыпучие материалы и жидкие грузы загружаются и разгружаются самотеком, а спрессованный мусор и штучные грузы - механическим путем.

Воздуходувные станции предназначены для создания потока воздуха в трубопроводах систем КПТ.

Станции разделяют на головные, устанавливаемые на концевых участках трубопровода, и промежуточные, расположенные в расчетных точках трассы трубопровода и соединенные с ним при помощи специальных шлюзовых устройств или эжекторов.

Воздуходувная станция состоит из группы воздуходувных агрегатов, установленных на соответствующих фундаментах, всасывающего и нагнетательного коллекторов, регулятора расхода воздуха, затворов и обратных клапанов.

В состав *линейной части систем КПТ* входят:

- транспортный трубопровод с байпасными устройствами, опорами, компенсаторами, полнопроходными запорными устройствами, стрелочными переводами, устройствами для ввода-вывода составов и воздухопереключающей арматурой;

- установки электрохимической защиты;
- линии технологической связи;
- вдольтрассовые дороги (на период строительства);
- переходы через естественные и искусственные препятствия.

В связи с особенностями работы систем КПТ к транспортным трубопроводам предъявляются повышенные требования. Так, их укладка “змейкой” в вертикальной и горизонтальной плоскости не допускается. Отклонение трубопровода от проектного положения не должно превышать в плане ± 20 мм, по вертикали ± 10 мм. При прокладке трубопровода на поворотах или с уклонами используют гнутые трубы с радиусом изгиба не менее 40 диаметров трубопровода при условии полного отсутствия гофр. Несовпадение кромок труб более, чем на 2 мм, не допускается.

Системы КПТ классифицируются по способу создания перепада давления, по виду подвижного состава, по конструкции ходовой части, по числу труб.

Перепад давления, необходимый для обеспечения движения контейнеров (около 10^4 Па), создается либо турбовоздуходувками, центробежными нагнетателями, компрессорами (напорная система), либо вакуум-насосами (вакуумная система), либо комбинировано (напорно-вакуумная система). Для перевозки грузов на расстояния свыше 5 км более перспективными являются напорные системы КПТ. Число воздуходувных станций зависит от производительности системы, рельефа местности, характеристики воздуходувных агрегатов. При равнинно-холмистом рельефе с уклонами не более 3 градусов и применении воздуходувных агрегатов, обеспечивающих избыточное давление до 10^5 Па, расстояние между станциями составляет от 5 до 15 км.

