

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ И ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

8.1 Назначение и общее устройство установок гидравлического транспорта

Установки гидравлического транспорта (рис. 8.1) служат для перемещения насыпного груза по трубам и желобам в струе жидкости (воды) [3]. Смесь груза с водой называется гидросмесь или пульпа. Принцип действия гидравлических транспортных установок заключается в передаче энергии движущейся воды частицам насыпного груза и перемещении их с большой скоростью.

Гидротранспортные установки разделяют на напорные и безнапорные. По желобам (каналам) пульпа перемещается самотеком в сторону движения. По трубопроводам пульпа перемещается самотеком или под напором с помощью насоса: в горизонтальном направлении, вниз или вверх.

Гидротранспорт применяется в котельных ТЭС (для уборки золы, шлака); на металлургических заводах (для уборки шлаков); в горной промышленности (подъем на поверхность угля, руды и подача в шахты закладочного материала); на обогатительных фабриках; в химической промышленности; в строительстве (перемещение размытого струей воды грунта).

Преимуществами гидротранспортных установок являются: компактность трубопроводов; герметичность; высокая производительность; большая длина транспортирования по сложной трассе; простота технического обслуживания; возможность создавать любую по очертаниям трассу; автоматизация процесса транспортирования; обеспечение загрузки и разгрузки в любой точке трассы.

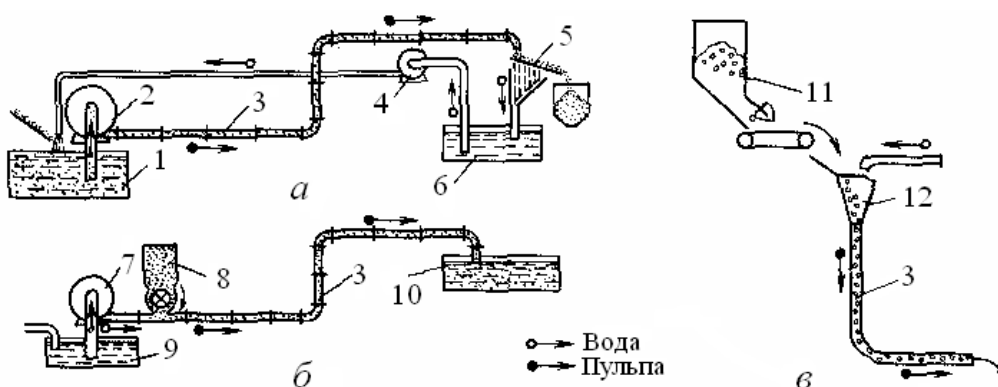


Рис. 8.1. Схемы гидротранспортных установок:

- а* – с пульпонасосом; *б* – с водяным насосом и питателем; *в* – самотечная;
1 – водопровод; 2 – пульпонасос; 3 – пульпопровод; 4 – насос для чистой воды;
5 – водоотделительный грохот; 6 – резервуар для пульпы; 7 – водяной насос;
8 – бункер с питателем; 9 – резервуар для воды; 10 – резервуар для пульпы;
11 – бункер для породы; 12 – смесительная воронка

К недостаткам относятся: ограничение ассортимента транспортируемых грузов (по гранулометрическому составу); повышенный износ трубопровода; увеличенный расход энергии; потребность в больших количествах воды и опасность ее замерзания в зимних условиях; повышенная влажность в закрытых помещениях.

8.2 Механическое оборудование установок гидравлического транспорта

Загрузочные устройства (питатели) служат для подачи насыпного груза в трубопровод, который находится под высоким давлением. Загрузочные устройства не должны при работе пропускать воду из трубопровода, по принципу действия выполняются камерными (наибольшее применение) и бескамерными.

Камерные питатели обеспечивают цикличную подачу груза, бескамерные – непрерывную. Цикл работы камерных питателей состоит из времени наполнения камеры, ее освобождения и маневрирования поочередно закрывающимися и открывающимися затворами. Управление затворами двух рядом стоящих секций камерных питателей выполняется таким образом, что в период, когда выпускная камера одной секции заполняется грузом, вторая разгружается в трубопровод [3].

Пульпонасосы используются центробежные и поршневые (при перемещении неабразивных грузов). Преимуществом поршневых насосов является создание высоких давлений; недостатками – быстрый износ, большие габаритные размеры, пульсирующее действие, способствующее выпадению частиц твердых фракций в трубопровод. По конструкции и принципу действия центробежные насосы почти не отличаются от насосов для воды.

Используются одноступенчатые (основной тип), двух- и многоступенчатые насосы (достаточно редкое применение).

Основные требования, предъявляемые к пульпонасосам: транспортирование крупных (до 100 мм) кусков груза; высокая износостойкость; удобство обслуживания и ремонта. Для увеличения срока службы быстроизнашивающихся элементов пульпонасосов применяют специальные стали и материалы, армирование навулканизированной резиной.

8.3 Назначение и общее устройство установок пневматического транспорта

Установки пневматического транспорта служат для перемещения насыпных и штучных грузов по трубам или желобам в струе сжатого или разреженного воздуха [3]. Установки для насыпных грузов перемещают пылевидные, порошкообразные, зернистые и кусковые материалы, а установки для штучных грузов предназначены для транспортирования по трубам отправок (пневмопочта), производственной документации и мелких грузов, уложенных в патроны. Движение воздуха в трубопроводе создается нагнетательными или вакуумными насосами.

Установки, транспортирующие насыпной груз во взвешенном состоянии в потоке воздуха, разделяют на всасывающие (вакуумные), нагнетательные (напорные) и комбинированные (рис. 8.2).

Всасывающие установки используются там, где требуется забирать насыпной груз из нескольких пунктов и передавать его в один приемный пункт, например, при выгрузке зерна из барж в приемный склад (несколько сопел засасывают зерно сразу из многих отсеков трюма). Во всасывающих установках грузы перемещаются под действием разреженного воздуха, груз поступает в трубопровод через всасывающее сопло, а в конечном пункте шлюзуется из камеры с разреженным воздухом во внешнее пространство. Машинная часть всасывающих установок (воздушный насос и отделительное устройство) расположена с той стороны трубопровода, в которую происходит транспортирование груза.

Нагнетательные установки удобны в тех случаях, когда груз, получаемый из одного пункта, необходимо распределить по нескольким приемным точкам. В нагнетательных установках груз перемещается в струе сжатого воздуха. Груз поступает в трубопровод с помощью питателей в находящийся под давлением трубопровод, при этом «переносная» способность струи выше, чем во всасывающих установках из-за перепада давления и большей скорости струи. Нагнетательные установки применяются для трудно перемещаемых грузов, при транспортировании на большие расстояния или на подъем. Машинная часть расположена с той стороны трубопровода, от которой происходит транспортирование груза.

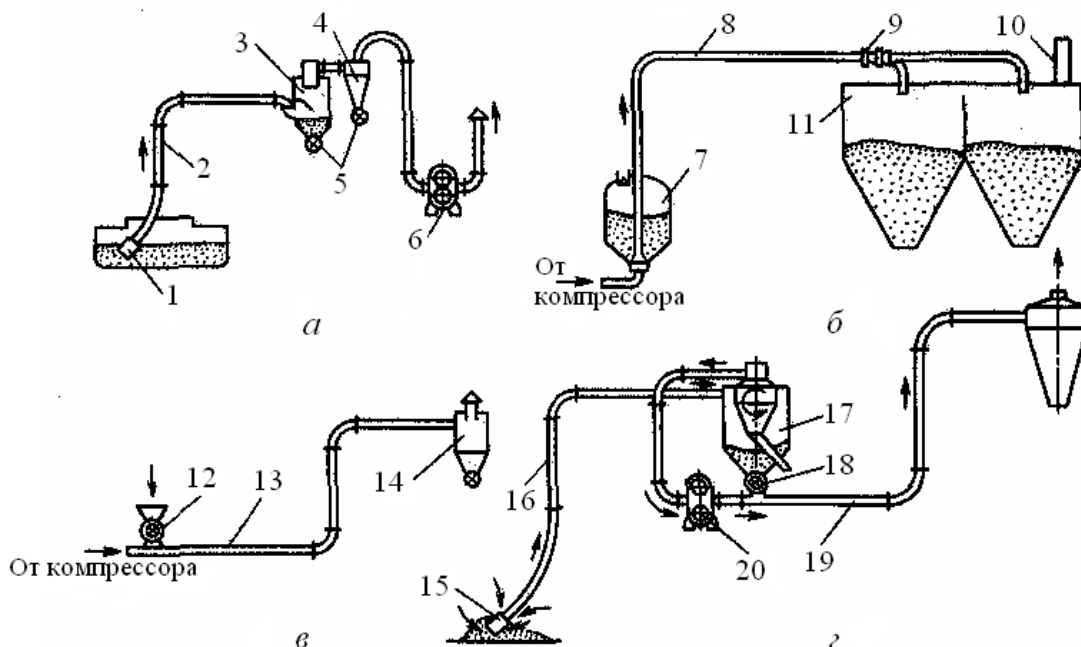


Рис. 8.2. Схемы пневмотранспортных установок:

- а* – всасывающей; *б* и *в* – нагнетательных высокого давления;
- г* – всасывающе-нагнетательной; 1, 15 – сопло; 2, 8, 13, 16, 19 – трубопровод;
- 3 – приемный резервуар-отделитель; 4 – пылеуловительный циклон;
- 5, 18 – шлюзовые затворы; 6, 20 – воздуходувная машина; 7 – камерный питатель;
- 9 – переключатель; 10 – фильтр; 11 – бункер; 12 – питатель; 14, 17 – отделитель

Пневмоустановка комбинированного типа забирает груз из нескольких загрузочных мест и подает одновременно в несколько приемных пунктов. Грузы перемещаются под действием разреженного воздуха и в струе сжатого воздуха. Машинная часть расположена в промежуточной точке трубопровода. Пневмоустановки комбинированного типа наиболее удобны для разветвления трубопроводов с обеих сторон.

Движущаяся по трубопроводу с большой скоростью струя воздуха образует с мелкофракционным грузом достаточно однородную аэросмесь, заполняющую сечение трубопровода. Частицы груза перемещаются скачкообразно во взвешенном состоянии и скольжением по нижней стенке трубы [2].

Пневмотранспортные установки для насыпных грузов по принципу действия разделяют на транспортирующие груз в потоке воздуха во взвешенном состоянии и транспортирующие груз методом аэрации, т. е. насыщения воздухом сыпучего тела, приобретающего при этом свойства жидкости и текущего по наклонному желобу под действием силы тяжести [3].

В качестве воздуходувного оборудования в нагнетательных системах используют компрессоры, воздуходувки и вентиляторы, в вакуумных (всасывающих) – вакуум-насосы и вентиляторы.

Пневмотранспорт широко используется в строительстве, сельском хозяйстве, различных отраслях промышленности, при проведении перегрузочных операций на железнодорожном транспорте, в морских и речных портах, на транспортных перегрузочных узлах комплексах.

Установки пневматического транспорта предназначены для перемещения цемента, мелко- и среднекускового угля, измельченной породы, зерна, соли и других сухих порошкообразных и мелкокусковых грузов.

Основными параметрами пневмотранспортных установок являются: производительность – до 100 т/ч и длина транспортирования от 100 м до нескольких километров.

К преимуществам относятся компактность и герметичность системы; отсутствие потерь груза; сложная конфигурация трассы; высокая надежность; удобство и простота технического обслуживания из-за сосредоточения основного оборудования в одном месте; обеспечение разветвленных грузопотоков; возможность сопряжения с технологическим процессом. Недостатками являются высокая энергоемкость; интенсивное изнашивание трубопроводов (особенно на участках поворотов); ограничение ассортимента транспортируемых грузов.

8.4 Механическое оборудование установок пневматического транспорта

Загрузочные устройства (питатели) служат для подачи насыпных грузов в нагнетательный трубопровод. Используются камерные и бескамерные питатели. Камерные питатели выполняются одно- и двухкамерными. У однокамерного питателя, работающего с подачей воздуха вверх, транспортный трубопровод вертикально по оси камеры. В нижней конической части каме-

ры расположены пористые плитки, через которые проходит сжатый воздух, аэрируя нижние слои лежащего в камере груза. Аэрированный материал под давлением воздуха поступает в трубопровод и движется по нему вверх. Камерные питатели не имеют вращающихся в сыпучей среде деталей и поэтому могут применяться при транспортировании абразивных материалов [3].

Отделители служат для отделения насыпного груза от аэросмеси и располагаются в конечном пункте, а в комбинированных системах и в промежуточных пунктах установки.

Отделители представляют собой резервуар, в котором скорость струи воздуха резко уменьшается, груз выпадает из струи, собирается на дне резервуара и выпускается через затвор. Для более эффективного отделения частиц груза внутри резервуара устанавливаются направляющие поверхности из листовой стали, ударяясь о которые, струя аэросмеси изменяет свое направление. Способствуя выпадению из нее частиц груза.

Воздуходувные машины выполняют центробежными или поршневыми в зависимости от давления и условий работы.

Центробежные машины разделяют на вентиляторы и турбомашин; поршневые машины представляют собой с вращательным движением рабочего органа (ротационные) и с возвратно-поступательным движением поршня. Действие центробежных машин основано на центробежном принципе, при котором кинетическая энергия струи воздуха превращается в потенциальную энергию давления.

8.5 Расчет гидро- и пневмотранспортных установок

Исходными данными для расчета являются:
объемная или массовая производительность;
характеристика груза;
длина и конфигурация трубопровода.

По заданным исходным данным определяют основные параметры, обеспечивающие устойчивый режим транспортирования груза: скорость движения несущей среды (воды, воздуха); необходимое количество воды или воздуха; диаметр трубопровода; сопротивления движению смеси на различных участках трубопровода и напор или давление для их преодоления; мощность двигателя насосного или воздуходувного агрегата.

При определении скорости, напора или давления несущей среды основными параметрами являются крупность частиц и плотность груза. 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).

Расчет для тонкодисперсных, грубодисперсных и кусковых грузов имеет существенные отличия.

8.5.1 Расчет установок напорного гидротранспорта

При расчете гидроустановок для тонкодисперсных грузов критическая скорость [3]

$$u_{кр} = n\sqrt{agD}, \quad (8.1)$$

где $n = 1 - 1,5$ – эмпирический коэффициент, учитывающий влияние степени перемешивания смеси;

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

Концентрация тонкодисперсных грузов составляет $s = 0,2-0,5$. Выбранный диаметр трубы проверяют по условию

$$u = 4V_r / (3600 \pi D^2) \geq u_{кр}, \quad (8.2)$$

где V_r – расход гидросмеси, м³/ч;

D – диаметр трубы, м;

u – скорость транспортирования, м/с.

Удельные потери напора (м/м) при движении смеси

$$H' = k_1 H_0 (1 + a s), \quad (8.3)$$

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

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

$$H_0 = \xi u^2 / (D g), \quad (8.4)$$

где ξ – коэффициент гидравлических сопротивлений.

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

Дополнительные потери в трубопроводе составляют около 5%.

При расчете гидроустановок для транспортирования кусковых грузов критическая скорость

$$u = C_1 \sqrt{f a g s D}, \quad (8.5)$$

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

f – обобщенный коэффициент трения груза о нижнюю стенку трубы.

Удельные потери напора при движении гидросмеси

$$H' = H_0 + f a s. \quad (8.6)$$

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

$$N = \frac{k_3 H_p V \rho_r}{367 \eta}, \quad (8.7)$$

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

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

$$H_p = H_{\text{ст}} + H_{\text{м}}, \quad (8.8)$$

где $H_{\text{ст}}$ – статический напор при подъеме;

$H_{\text{м}}$ – дополнительные местные потери.

8.5.2 Расчет установок самотечного гидротранспорта

При расчете самотечных установок гидротранспорта и трубопроводного транспорта определяют параметры потока, необходимый уклон и поперечные размеры желоба (трубы).

Основная формула для расчета (формула Шези) [2]

$$v = C \sqrt{R i} \quad \text{или} \quad i = \frac{v^2}{C^2 R}, \quad (8.9)$$

где C – коэффициент Шези, зависящий от шероховатости поверхности и гидравлического радиуса R

$$R = D / 4, \quad (8.10)$$

где D – диаметр желоба.

Для открытого желоба прямоугольного сечения шириной B при глубине потока h гидравлический радиус

$$R = \frac{Bh}{B+2h}. \quad (8.11)$$

Значения минимальных уклонов i пульпопровода зависят от вида и кусковатости транспортируемых грузов и внутренних поверхностей каналов и находятся в пределах 0,015–0,0625.

При расчете по заданному объему перемещаемого груза V' (м³/ч) и коэффициенту разрыхления $k_p > 1$ определяют расчетный объем $V = V' / k_p$; за-

тем выбирают скорость гидросмеси v , геометрические размеры сечения желоба и его гидравлический радиус R .

В зависимости от относительной шероховатости пульпопровода определяют коэффициент C и необходимый уклон i желоба, который обычно зависит от рельефа местности. При большом уклоне рекомендуется использовать желоба с повышенной шероховатостью.

8.5.3 Расчет установок пневмотранспорта

Исходные данные:

производительность Q (т/ч) или V (м³/ч);

длина и конфигурация трубопровода;

физико-механические свойства транспортируемого груза.

В системах пневмотранспорта массовая концентрация аэросмеси в зависимости от характеристики транспортируемого груза и конфигурации трассы трубопровода достигает $\mu = 8-25$, при транспортировании аэрированными потоками $\mu = 60-150$.

Для предупреждения завалов должна учитываться крупность частиц груза и выполняться условие

$$D \geq 3 a, \quad (8.12)$$

где a – размер типичных частиц груза.

Скорость воздуха в трубопроводе как в системе всасывания так и в системе нагнетания возрастает от начального пункта к конечному, поэтому расчет проводится по начальному участку трубопровода.

Критическая скорость

$$u_{кр} = C_2 \sqrt{\mu a g D}, \quad (8.13)$$

где $C_2 = 0,1 - 0,35$ – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств груза.

При этом необходимо выполнение условия $u \geq u_{кр}$.

Потери давления в трубопроводе возникают из-за сопротивления движению аэросмеси по горизонтальным участкам, на закруглениях поворотных участков, инерционные потери p_d , при подъеме на вертикальных или наклонных участках p_p , в загрузочном устройстве p_m .

Полное давление в транспортной системе

$$p = p_n + p_d + p_p + p_m. \quad (8.14)$$

Расход воздуха (для одной установки)

$$V'_в = k_2 V_0, \quad (8.15)$$

где $k_2 = 1,1-1,15$ – коэффициент, учитывающий потери воздуха в воздухопроводе;

V_0 – необходимый расход воздуха, м³/с.

Необходимая мощность двигателя

$$N_{\text{м}} = \frac{k L V}{1000\eta}, \quad (8.16)$$

где $L_{\text{м}}$ – теоретическая работа воздуходувной машины;

$\eta = 0,65-0,85$ – КПД воздуходувной машины.