

А.П.БАТАНОВ

ПОДЪЕМНО- ТРАНСПОРТНОЕ, ХВОСТОВОЕ И РЕМОНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

*Допущено Государственным комитетом СССР
по народному образованию в качестве учебника
для студентов вузов, обучающихся по специальности
«Обогащение полезных ископаемых»*



МОСКВА "НЕДРА" 1989

ББК 33.4

Б 28

УДК 622.7.002.5: [621.86/87 + 658.588.8] (075.8)

Рецензенты кафедра горной механики Свердловского горного института,
проф., д-р техн. наук *П. В. Семенча*

Батаногов А. П.

Б 28 Подъемно-транспортное, хвостовое и ремонтное хозяйство обогатительных фабрик: Учеб. для вузов. — М.: Недра, 1989. — 336 с.: ил.

ISBN 5-247-00847-2

Рассмотрены современное оборудование подъемно-транспортного, хвостового и ремонтного хозяйства и правила его эксплуатации. Изложены требования к проектированию, методика выбора насосов и воздухоуводов, методы расчета транспортных устройств, водо-, пульпо- и воздухопроводов. Приведены методы определения износа и дефектов машин и их деталей, подготовки оборудования к ремонту, восстановления изношенных деталей.

Для студентов горных и горно-металлургических вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых».

Б 2504000000—236
043(01)—89 326—89

ББК 33.4

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Батаногов Андрей Петрович

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ, ХВОСТОВОЕ И РЕМОНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Заведующий редакцией *Т. И. Королева*
Редактор издательства *О. И. Паркани*
Технические редакторы *В. Ю. Любимова, Л. Г. Лаврентьева*
Корректор *Л. В. Зайцева*

ИБ № 7639

Сдано в набор 04.04.89. Подписано в печать 05.07.89. Т-10347. Формат 60×90^{1/16}. Бумага типографская № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 21,0. Усл. кр.-отт. 21,0. Уч.-изд. л. 21,38. Тираж 3800 экз. Заказ 1021/1675-9. Цена 1 руб.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра».
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 11 Государственного комитета по печати СССР. 113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1.

ISBN 5-247-00847-2

© Издательство «Недра», 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие составлено применительно к программе курса «Подъемно-транспортное, хвостовое и ремонтное хозяйство обогатительных фабрик». Указанный курс объединяет существовавшие ранее курсы «Подъемно-транспортное и складское хозяйство обогатительных фабрик» и «Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик», а также включает новый раздел «Ремонтное хозяйство обогатительных фабрик».

Включение указанной дисциплины в программу подготовки специалистов по обогащению полезных ископаемых преследует цель ознакомить будущего инженера-обогапителя с основами теории, проектирования и эксплуатации транспортного, водо- и воздухоподающего оборудования, системами водо- и воздухо-снабжения, а также хвостового и ремонтного хозяйства обогатительных предприятий.

Многообразие вопросов, охватываемых курсом, не позволяет изложить их в данном учебнике с желаемой степенью детализации. Учебник освещает только основные принципиальные положения и дает сведения, отвечающие по содержанию и объему утвержденной программе. Более подробные сведения по отдельным разделам можно получить из технической и справочной литературы. В учебнике использованы по возможности новые разработки научно-исследовательских и проектных институтов, машиностроительных заводов и опыт передовых предприятий.

Основу настоящего учебника составил курс лекций, читаемый автором на кафедре горных машин и горной электромеханики Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени заочного политехнического института.

Критические замечания и рекомендации по дальнейшему улучшению учебника будут приняты автором с благодарностью.

Раздел I

ТРАНСПОРТ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАНСПОРТЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

§ 1. Роль и значение транспортных устройств

Важнейшее место в работе горного предприятия и, как правило, входящей в его состав обогатительной фабрики принадлежит проблеме дальнейшего развития и совершенствования транспортного оборудования как одного из основных звеньев технологического комплекса производственных процессов. Межцеховой и внутрицеховой транспорт требует применения разнообразных типов подъемно-транспортных машин и механизмов, обеспечивающих непрерывность и ритмичность технологических процессов обогатительных фабрик. В настоящее время подъемно-транспортное оборудование во все большей степени выполняет уже не вспомогательную роль в технологических процессах, а превращается в один из основных решающих факторов, определяющих эффективность работы современного горно-обогатительного комбината.

Процессы обогащения полезных ископаемых состоят из последовательно производимых операций обработки их в различных обогатительных машинах и аппаратах. Горную массу и продукты обогащения перемещают от одних машин и аппаратов к другим, из одного цеха (отделения) в другой транспортными устройствами. С помощью этих устройств доставляют также исходный материал шахт и горнорудных предприятий на обогатительные фабрики и отправляют продукты обогащения потребителям.

Транспортные операции в пределах цеха (отделения) обогатительной фабрики или перемещения материала между ними объединяют понятием внутри фабричный транспорт.

Схемы транспорта определяются: способами обогащения полезного ископаемого, глубиной обогащения, характеристикой обогащаемого материала, высотными отметками отделений (цехов) фабрики и районом ее расположения, производительностью фабрики.

Основные требования, предъявляемые к внутрифабричному транспорту: производственные — обеспечение бесперебойной высокопроизводительной работы обогатительного оборудования, соответствие пропускной способности транспортных звеньев существующим и перспективным грузопотокам по ним, обеспечение надежной и бесперебойной работы сопрягаемых технологических звеньев, минимальные потери качества и сохранения сортности транспортируемого продукта в процессе его транспортирования, маневренность, простота управления и обеспечение комфортных условий для обслуживающего персонала; безопасности — обеспечение безопасности труда; экономические — обеспечение при максимальной производительности минимальных капитальных и эксплуатационных затрат; экологические — обеспечение охраны окружающей среды.

§ 2. Характеристика транспортируемых материалов и грузов

На обогатительных фабриках основными грузами являются горная масса и продукты обогащения, в том числе сыпучие грузы, которые транспортируются навалом и носят название насыпных, или навалочных.

Характеристика и способы транспортирования мокрых продуктов обогащения рассмотрены в гл. 19, 20.

Насыпные грузы состоят из однородных по составу, перемещаемых в больших объемах кусков, частиц или зерен и характеризуются следующими основными показателями: крупностью (кусковатостью), плотностью, углом естественного откоса, крепостью, абразивностью, влажностью.

Крупность. Горная масса и продукты обогащения, транспортируемые на обогатительных фабриках, представляют собой разнородный по крупности материал: очень крупный (размер куска более 600 мм), крупнокусковатый (300—600 мм), среднекусковатый (100—300 мм) и мелочь (менее 100 мм).

Разница в крупности исходного материала и продуктов обогащения может быть значительной (от 1500 до 0,05 мм.).

Плотностью ρ [т/м³] сыпучего материала называют массу 1 м³ разрыхленного груза. Масса материала в разрыхленном состоянии меньше массы его в сплошном массиве. В зависимости от плотности навалочные грузы разделяют на тяжелые ($\rho > 1,1$ т/м³), средние ($\rho = 0,6 \div 1,1$ т/м³) и легкие ($\rho < 0,6$ т/м³).

Угол естественного откоса насыпного груза — угол между боковой поверхностью конуса разрыхленной горной массы и горизонтальной плоскостью. Этот угол для данного материала остается постоянным и в значительной мере зависит от влажности: для влажного материала угол естественного откоса больше, чем для сухого. Следует различать угол естествен-

ного откоса в покое и в движении. Как правило, угол естественного откоса в движении составляет 0,35—0,7 угла естественного откоса в покое. Угол естественного откоса в движении для руд черных и цветных металлов равен 30—35°.

Крепость горных пород характеризует относительную сопротивляемость породы разрушению. Крепость определяется коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова и изменяется от 0,5 до 20.

Абразивность — свойство транспортируемого материала истирать соприкасающиеся с ним элементы транспортных устройств. Истирающая способность зависит от крепости, размеров и формы частиц. По абразивности горные породы подразделяют на неабразивные (опилки, щепа), малоабразивные (бурый, каменный уголь), абразивные (железная руда, антрацит), высокоабразивные (полиметаллические руды, железные руды с включением кварцита).

Влажность насыпных материалов определяется соотношением (в процентах) массы воды и твердых частиц. Влажность зависит от способности материала поглощать воду. Влажная горная масса подвержена слеживанию, уплотнению.

§ 3. Грузопотоки и составные звенья транспорта

На обогатительных фабриках можно выделить следующие основные грузопотоки: приемный, технологический, отгрузочный, вспомогательный.

Приемный — грузопоток поступающей на обогатительную фабрику горной массы, доставляемой внешним транспортом (железнодорожным, автомобильным, конвейерным, трубопроводным и т. д.). Его составные звенья — транспортирующие машины и механизмы, приемные устройства. Технологический — грузопоток горной массы, перемещаемой в процессе обогащения. Его составные звенья — межцеховой и внутрицеховой транспорт (гравитационный, гидро- и пневмотранспорт, конвейерный и т. д.). Отгрузочный — грузопоток обогащенных полезных ископаемых, концентратов и хвостов обогащения. Его составные звенья — погрузочные устройства, склады, транспортирующие машины и механизмы. Вспомогательный — грузопоток людей, оборудования и материалов. Его составные звенья — лифты, грузоподъемные механизмы, погрузчики, автокары и т. д.

Транспортным устройствам обогатительных фабрик присущи следующие особенности: разнообразные и большие грузопотоки; стационарная установка технологического и транспортного оборудования и его взаимозаменяемость; тяжелые и в ряде случаев особо тяжелые условия эксплуатации; высокая запыленность и нередко взрывоопасность окружающей среды.

§ 4. Классификация транспортных средств

Транспортные средства, применяемые на обогатительных фабриках, классифицируют по принципу действия, способу перемещения материала, характеру приложения движущей силы, способу передачи движущей силы. По принципу действия — непрерывного и периодического действия. Установки непрерывного действия характеризуются непрерывным перемещением грузов по заданной трассе без остановок для загрузки и разгрузки. Перемещаемый груз располагают сплошным слоем на несущем элементе машины — ленте или полотне или отдельными порциями в непрерывно движущихся последовательно расположенных на небольшом расстоянии один от другого ковшах, коробах и других емкостях. В этом случае одновременно происходит рабочее (с грузом) и обратное (без груза) движение грузонесущего элемента машины. Непрерывность перемещения груза, отсутствие остановок для загрузки и разгрузки и совмещение рабочего и обратного движения грузонесущего элемента способствуют высокой производительности машин непрерывного действия, что очень важно для современных обогатительных фабрик с большими грузопотоками. К установкам непрерывного действия относят конвейеры различных типов, устройства пневматического и гидравлического транспорта и им подобные транспортные машины.

Установки периодического действия характеризуются периодической подачей грузов, перемещением их отдельными порциями, обусловленными грузоподъемностью машины. Загружают и разгружают такие установки при их остановке и лишь иногда во время перемещения. К установкам периодического действия относят грузоподъемные краны всех типов, лифты, средства напольного транспорта (тележки, погрузчики), подвесные рельсовые и канатные дороги (периодического действия), скреперы и другие подобные машины.

По способу перемещения материала — на непрерывно движущемся элементе в виде сплошной ленты или настила (ленточные, пластинчатые и цепенесущие конвейеры); в непрерывно движущихся рабочих элементах в виде ковшей, коробов и т.п. (ковшовые конвейеры, элеваторы); скольжение под действием сил инерции или перемещение микробросками (в качающихся инерционных и вибрационных конвейерах); волочение по неподвижному желобу (в скребковых конвейерах); под действием силы тяжести по неподвижному желобу (в гравитационных установках); в водной или воздушной среде под действием струи воды или воздуха по желобам (для воды) или трубам (в гидро- и пневмотранспортных установках).

По характеру приложения движущей силы — с тяговым элементом (лента, цепь, канат); без тягового элемен-

та (винтовые, качающиеся, вибрационные конвейеры, вращающиеся трубы).

По способу передачи движущей силы — с помощью механического привода (электрического, гидравлического, пневматического); гравитационные устройства, в которых груз перемещается под действием собственной силы тяжести; пневматические и гидравлические устройства, в которых движущей силой служит поток воздуха или струя воды.

К вспомогательному транспортному оборудованию относят перегружатели, питатели, бункерные затворы, опрокидыватели и др.

Глава 2

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И РАСЧЕТА КОНВЕЙЕРНЫХ УСТАНОВОК

§ 5. Производительность конвейерных установок

Производительность* — количество груза (в тоннах или кубических метрах), транспортируемого в единицу времени (час, смену, сутки). Различают объемную V [м³/ч] производительность и массовую Q [т/ч]. Они связаны между собой зависимостью $Q = \rho V$, где ρ — насыпная плотность груза, т/м³.

При транспортировании сыпучего груза непрерывным потоком производительность Q конвейера

$$Q = 3,6 qv, \quad (1)$$

где q — распределенная погонная масса груза, кг/м; v — скорость перемещения груза, м/с. Часовая производительность зависит от погонной массы и скорости перемещения. Следовательно, при заданной v производительность определяется допустимым значением q , которое ограничивается или вместимостью грузонесущего органа или силовыми факторами (пределами мощности приводного электродвигателя или прочности тягового органа). Погонная масса груза

$$q = 1000 F\rho, \quad (2)$$

где F — площадь поперечного сечения груза, м².

Подставив в формулу (1) значение q из формулы (2), получим выражение для определения производительности конвейера:

$$Q = 3600 Fv\rho. \quad (3)$$

* Более правильный термин — «пропускная способность». В тексте оставлен термин «производительность» в связи с тем, что он повсеместно применяется в технической литературе.

При перемещении груза по желобу формула (3) приобретает вид

$$Q = 3600 F_0 v_p \Psi, \quad (4)$$

где F_0 — площадь поперечного сечения желоба, м^2 ; Ψ — коэффициент заполнения желоба.

В расчетах по заданной производительности Q определяют площадь поперечного сечения F груза на конвейере, а затем по найденной площади — ширину грузонесущего органа (ленты или пластин).

Определение производительности по силовым факторам производят методом подбора: задаваясь значениями производительности, производят тяговый расчет и проверяют мощность электродвигателя и запас прочности тягового органа. Останавливаются на той производительности, для которой погонная масса q соответствует пределу прочности тягового органа или пределу мощности привода.

§ 6. Определение сопротивлений на конвейере и мощности привода

Перемещение груза, расположенного на грузонесущем органе, связано с преодолением возникающих при этом сопротивлений. Усилие, необходимое для преодоления сопротивлений при транспортировании груза, называют силой тяги (тяговым усилием). Силы сопротивления движению тягового органа подразделяют на распределенные по длине конвейера и сосредоточенные в отдельных пунктах его. При движении груза с постоянной скоростью распределенные сопротивления состоят: из вредных сопротивлений при движении ленты по роликоопорам на прямолинейных участках; сопротивления от продольной составляющей силы тяжести ленты и груза или одной только ленты (на порожняковой ветви), сопротивления при перемещении цепей и груза по желобу (в скребковом конвейере). К сосредоточенным относят: сопротивления при огибании лентой барабанов на концевых станциях и отклоняющих барабанах; сопротивления на погрузочных и разгрузочных пунктах; сопротивления на концевых звездочках (в скребковом конвейере) и др. При ускоренном или замедленном движении кроме перечисленных выше статических возникают динамические сопротивления, зависящие от движущихся масс и ускорений.

Для определения тягового усилия находят значения каждого действующего сопротивления и суммируют их; по найденному тяговому усилию и скорости движения тягового органа определяют мощность электродвигателя.

При определении необходимого тягового усилия пользуются методом «обхода контура». Обходя последовательно контур тя-

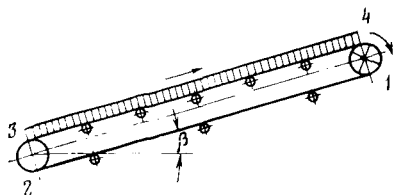


Рис. 1. Схема к расчету конвейеров

гового органа (ленты, цепи, каната и т. п.) от точки сбега с привода к точке набегания на него, определяют и складывают (алгебраически) все действующие на участках конвейера распределенные и сосредоточенные сопротивления, тем самым получая общее сопротивление на конвейере.

Рассмотрим схему наклонного конвейера (β — угол наклона) (рис. 1) с двумя прямолинейными и двумя криволинейными участками. Отметим точками 1—4 сопряжения прямолинейных и криволинейных участков контура, образуемого тяговым органом (1 — точка схода тягового органа с приводного барабана; последующие точки 2—4 нумеруют в направлении движения тягового органа). При расчетах следует руководствоваться следующими правилами. Силы (силы трения, продольная составляющая силы тяжести при подъеме груза), направленные в сторону, противоположную движению (препятствующие движению), принимают со знаком «плюс»; силы, действующие в направлении движения (способствующие движению), принимают со знаком «минус».

Тяговый орган в точке 1 имеет натяжение $S_1(H)$. В точке 2 натяжение S_2 равно сумме натяжения в точке 1 и сопротивления $W_{1-2}(H)$ на участке 1—2, т. е. $S_2 = S_1 + W_{1-2}$. Натяжение в точке 3 $S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_1 + W_{1-2} + W_{2-3}$. Натяжение в точке 4 $S_4 = S_3 + W_{3-4} = S_1 + W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4}$ или, обозначив $W_{1-4} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4}$, получим $S_4 = S_1 + W_{1-4}$.

В конвейерах с большим числом прямолинейных и криволинейных участков (с большим числом точек сопряжений) натяжение тягового органа в n -й точке равно натяжению в первой точке, сложенному с алгебраической суммой сопротивлений на всех участках конвейера от первой до n -й точки, т. е.

$$S_n = S_1 + W_{1-n}.$$

Тяговое усилие W_0 с учетом сопротивления W_{1-4} на приводном барабане

$$W_0 = S_4 - S_1 + W_{4-1}.$$

Тяговое усилие при n точках с учетом последнего выражения

$$W_0 = S_n - S + W_{n-1} = S_1 + W_{1-n} - S_1 + W_{n-1} = \Sigma W. \quad (5)$$

Методика расчета сопротивлений на прямолинейных и криволинейных участках изложена при рассмотрении соответствующих транспортных устройств.

Тяговое усилие имеет знак «плюс» для установок горизонтальных и наклонных с подачей груза вверх, а также вниз при малых углах наклона.

Мощность N [кВт] электродвигателя

$$N = k_1 W_0 v / (1000 \eta_m), \quad (6)$$

где k_1 — коэффициент запаса мощности; η_m — КПД передаточно-го механизма.

§ 7. Привод транспортных средств

Привод предназначен для приведения в движение тягового и грузонесущего элементов конвейера или непосредственно рабочих элементов в машинах, не имеющих тягового элемента.

Основные части приводов конвейеров: электродвигатели, редукторы, приводные и направляющие барабаны (звездочки), соединительные муфты, тормозные устройства и т.п. Тяговое усилие может передаваться трением (фрикционные приводы) или зацеплением. Фрикционные приводы применяют для канатов, лент и круглозвенных цепей. Они бывают одно-, двух- и трехбарабанные. Приводы с передачей тягового усилия зацеплением подразделяют на угловые со звездочкой или кулачковым блоком (устанавливают на повороте трассы конвейера на 90° или 180° и иногда на прямолинейных участках) и прямолинейные (гусеничные) со специальной приводной цепью с кулачками (устанавливают на прямолинейных участках).

Гусеничный привод по сравнению с угловым имеет преимущества: меньший диаметр приводной звездочки, а следовательно, при одних и тех же тяговом усилии и скорости конвейера меньшие крутящий момент и размеры механизмов; возможность установки на любом горизонтальном участке трассы конвейера и, следовательно, большие возможности для наиболее выгодного расположения привода. Недостатки гусеничного привода — сложность его устройства и более высокая стоимость.

По числу приводных барабанов приводы разделяют на одно- и двухбарабанные. При относительно небольшой мощности двухбарабанные приводы могут иметь один общий электродвигатель; на мощных приводах устанавливают отдельные электродвигатели для обоих барабанов.

Электродвигатели соединяют с редукторами обычно муфтами скольжения — гидравлическими, порошковыми, электромагнитными, упругими. Применение муфт скольжения способствует более равномерной нагрузке на приводные барабаны и ленту при установившемся движении, а также снижению динамических нагрузок в пусковой период.

§ 8. Общие сведения

Принцип действия гравитационного транспорта основан на движении насыпных и штучных грузов по наклону или вертикали под действием силы тяжести.

Основные достоинства гравитационного транспорта: простота, большая производительность, отсутствие электромеханического оборудования, возможность использования транспортных устройств для накопления материалов. Недостатки: измельчение материалов, значительный износ транспортных устройств, зависимость от свойств материала и климатических условий.

На обогатительных фабриках гравитационный транспорт применяют для передачи материалов с верхних этажей на нижние, загрузки бункеров, подводки материала к технологическим агрегатам, направления потока сыпучего материала на погрузочных и перегрузочных пунктах. Транспортирование производится по открытым или закрытым металлическим желобам, трубам, винтовым и каскадным спускам (рис. 2).

Направляющие желоба предназначены для направления потока насыпных материалов на погрузочных и перегрузочных пунктах.

Транспортирующие желоба, являющиеся самостоятельными транспортными устройствами, предназначены для спуска потока насыпных материалов на относительно небольшие расстояния. Для транспортирования пылящих материалов применяют закрытые желоба круглого и прямоугольного сечения.

Требования, предъявляемые к желобам и трубам: поперечные размеры их должны соответствовать кусковатости материала и обеспечивать заданную производительность; прочность конструкции; износостойкость и сопротивляемость ударам кусковатого материала; соблюдение заданной скорости движения материала.

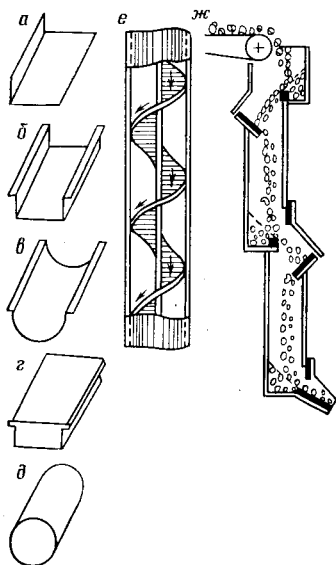
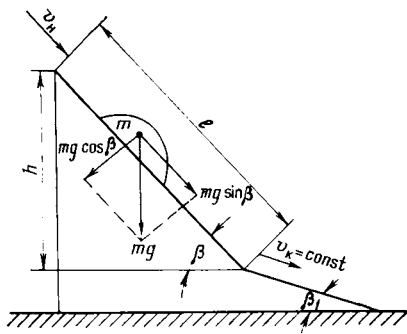


Рис. 2. Устройства гравитационного транспорта:

а — однобортный лист; б, в — открытые желоба; г — закрытый желоб; д — труба; е — винтовой спуск; ж — каскадный спуск

Рис. 3. Схема самотечного спуска



Для спуска материала на относительно большую высоту при отсутствии места для установки транспортирующего желоба, который обеспечивал бы движение груза с допустимой скоростью, устраивают вертикальные винтовые (спиральные желоба) или каскадные спуски. Винтовые спуски применяют также для сохранения груза от дробления (сортовой уголь, брикеты и др.) при загрузке бункеров.

§ 9. Основы теории гравитационного транспорта

Определим условия скольжения груза вниз по наклонной плоскости под действием силы тяжести. Для трогания с места груза массой m (рис. 3) необходимо, чтобы продольная составляющая силы тяжести была больше силы трения, т. е.

$$mg \sin \beta > mg f_0 \cos \beta,$$

где β — угол наклона плоскости; f_0 — статический коэффициент трения скольжения между грузом и плоскостью (или коэффициент трения скольжения в покое).

Разделив обе части неравенства на $mg \cos \beta$, получим

$$\operatorname{tg} \beta > f_0.$$

Из этого выражения может быть определен предельный угол наклона β_0 , при котором находящийся на наклонной плоскости груз сохраняет еще состояние покоя:

$$\operatorname{tg} \beta_0 = f_0.$$

При $\beta > \beta_0$ груз начинает двигаться под действием собственной силы тяжести. Для того чтобы поддерживать начавшееся движение груза, требуется меньший угол наклона ($\beta_1 < \beta_0$), так как коэффициент трения скольжения в движении f меньше коэффициента трения в покое f_0 . Чтобы движение осуществлялось с постоянной скоростью, необходимо, чтобы продольная состав-

ляющая силы тяжести и сила трения были равны между собой, т. е.

$$mg \sin \beta_1 = mgf \cos \beta_1, \text{ или } \operatorname{tg} \beta_1 = f.$$

Угол наклона, при котором груз движется вниз по наклонной плоскости под действием собственной силы тяжести с постоянной скоростью, называется углом трения движения. Этот угол можно определить, зная значение коэффициента трения в движении f , определяемое опытным путем. Коэффициент трения f колеблется от 0,25—0,3 (для антрацита) до 0,95—1 (для угольной пыли) при транспортировании по стальным листам. Если груз движется по желобу прямоугольной или скругленной формы, то следует учитывать сопротивление трения по боковым стенкам желоба. Меньшие значения f относятся к сухому и крупному материалу, большие — к влажному и мелкому, для транспортирования которого требуется больший угол наклона желобов.

Размеры желоба (ширина и высота бортов или диаметр) зависят от крупности материала: ширина желоба $B \geq 5a$, где a — размер наиболее крупных кусков.

Если желоб является самостоятельным транспортным устройством, то поперечные размеры его определяются также и в зависимости от требуемой производительности. Площадь F (м²) поперечного сечения желоба

$$F = Q / (3600 v \rho \Psi),$$

где Q — часовая производительность, т/ч; v — скорость перемещения груза, м/с; ρ — насыпная плотность груза, т/м³; Ψ — коэффициент заполнения желоба (для желобов $\Psi = 0,5 \div 0,6$; для труб $\Psi = 0,35 \div 0,5$).

Скорость движения груза по желобам ограничивается. Например, на углеобогащительных фабриках для предохранения материала от излишнего переизмельчения принимают: для угля крупнее 50 мм и плитного $v = 0,75 \div 1$ м/с; для угля крупностью 10—50 мм $v = 1 \div 1,75$ м/с; для мелкого угля, штыба и породы $v = 2 \div 2,2$ м/с.

При проектировании и эксплуатации самотечных транспортных устройств требуется определить основные их параметры, связанные между собой следующими зависимостями.

Работа силы тяжести груза, затрачиваемая на преодоление силы трения и приращение кинетической энергии при скольжении груза массой m с коэффициентом трения f по наклонной плоскости под углом β на длине l при разности уровней в начальной и конечной точках $h = l \sin \beta$ и скорости в этих точках v_n (начальная) и v_k (конечная) (см. рис. 3), определяется по формуле

$$mgh = mgl f \cos \beta + m(v_k^2 - v_n^2)/2.$$

При заданных скоростях v_n и v_k в начальной и конечной точках и разности уровней между ними h , угол β , под которым должна быть расположена наклонная плоскость, находят из равенства

$$\operatorname{tg} \beta = 2ghf / (2gh + v_n^2 - v_k^2).$$

При известных начальной скорости v_n и угле наклона β конечная скорость

$$v_k = \sqrt{2gh(1 - f \operatorname{ctg} \beta) + v_n^2}.$$

При $v_k = v_n$, т.е. при движении с постоянной скоростью, $\operatorname{tg} \beta_0 = f$. Для ускоренного движения ($v_k > v_n$) $\beta > \beta_0$, для замедленного движения ($v_k < v_n$) $\beta < \beta_0$.

§ 10. Устройство гравитационных установок

Желоба изготавливают из листовой стали прямоугольного или полукруглого сечения. Рабочая поверхность желобов подвержена интенсивному истиранию движущимся материалом. Наличие в транспортируемом материале кислых вод способствует возникновению коррозии и выходу из строя желобов. Срок службы стальных желобов и труб при транспортировании угля составляет в зависимости от его крупности 4—5 мес. Срок изнашивания желобов при транспортировании руды и породы еще меньше. Для увеличения срока службы днища и стенки желобов футеруют стальными съемными листами, плитами из хромоникелевого чугуна или марганцовистой стали, специальным каменным литьем из диабазы или базальта, термически обработанным листовым стеклом, резиной.

Увеличению срока службы желобов при транспортировании абразивных материалов способствует наваривание на рабочую поверхность желобов поперечных стальных полос. В процессе эксплуатации углубления между ними заполняются мелкими фракциями материала, образующими постель, защищающую желоб от износа и повреждений.

Винтовые спуски изготавливают из листовой стали; форма желобов в сечении — прямоугольная, косоугольная или скругленная. Винтовая образующая желоба имеет минимальный угол подъема на периферии и максимальный у центра. Такая конструкция определяет характерное свойство спирального спуска — саморегулирование в известных пределах скорости движения груза.

В *каскадном спуске* внутри трубы прямоугольного сечения укреплены с обеих сторон в шахматном порядке полки, по которым груз, постепенно пересыпаясь, падает с замедленной скоростью. Слой груза, остающийся на полках, предохраняет их от быстрого изнашивания.

Широко применяются винтовые и каскадные спуски в бункерах для предохранения от измельчения угля и других хрупких материалов.

Преимущества винтовых спусков: простота конструкции, высокая производительность, отсутствие движущихся частей. Недостатки: истирание груза и желоба, возможность образования пробок при резко изменившихся условиях транспортирования.

При закрытом внизу выпускном отверстии винтовой спуск можно использовать в качестве промежуточного накопителя груза. Рекомендуемая скорость движения груза — 2,5—3 м/с.

Глава 4

ЛЕНТОЧНЫЕ КОНВЕЙЕРЫ

§ 11. Общие сведения

Ленточные конвейеры относятся к наиболее распространенным транспортирующим машинам непрерывного действия, применяемым на обогатительных фабриках. Они предназначены для транспортирования горной массы, продуктов обогащения, сухих хвостов, других сыпучих материалов и штучных грузов.

Конвейеры классифицируют по следующим основным признакам:

- по назначению — общего назначения; подземные; карьерные; специальные;

- по конструктивному исполнению — стационарные, передвижные;

- по типу приводных устройств и числу приводов — с одним и двумя ведущими барабанами, одно- и многоприводные;

- по форме поперечного сечения ленты — с плоской и желобчатой;

- по способу разгрузки — на концевом барабане и с промежуточной разгрузкой;

- по виду трассы — прямолинейные, криволинейные (в профиле или плане);

- по типу ленты — с прорезиненной, стальной цельнопрокатной и проволочной лентой, ленточно-канатные и ленточно-цепные.

Конвейеры общего назначения, получившие широкое распространение на обогатительных фабриках, подразделяют: на распределительные — для загрузки бункеров, сортировочных и обогатительных агрегатов; сборочные — для сбора материала из ряда последовательно расположенных ячеек или от нескольких конвейеров; передаточные — для связи между отдельными обогатительными аппаратами и цехами.

Ленточными конвейерами можно транспортировать практически все насыпные грузы обогатительных фабрик, за исключением весьма липких.

Таблица 1

Рекомендуемая скорость v [м/с] ленты
при транспортировании насыпных грузов

Материал	Ширина ленты, мм							
	400— —500	650	800	1000	1200	1400	1600	2000
Пылевидный и порошкообразный, сухой, пылящий	1	1	1	1	1	1	1	1
Хрупкий, кусковатый, крошение которого снижает его качество	1,25	1,6	1,6	1,6	2	2	2	2
Зернистый	1,6	2,5	3,15	4	4	4	5	5
Кусковой размером $a_{ср}$, мм								
≤ 80	1,6	2	2,5	3,15	4	4	5	5
≤ 160	1,6	1,6	2	2,5	2,5	3,15	4	4
160—350	—	—	1,6	1,6	2	2,5	3,15	3,15
≤ 500	—	—	—	—	2	2	2,5	3,15

Угол наклона конвейера зависит от силы трения между лентой и транспортируемым материалом. Рекомендуется принимать следующие предельные значения угла наклона конвейера, градус:

железная руда	15	известняк	18
рядовой кокс	15	каменная соль (кусовая) .	18
апатит	16	каменный уголь (рядовой) .	18
бурый уголь (сухой)	16	глина (кусовая, влажная) .	24

Значения предельного угла наклона зависят от состояния груза — его влажности, размеров кусков, а также от наклона боковых роликов при желобчатой ленте (может повышаться на 5—15°).

Длина конвейера зависит от прочности материала ленты и колеблется в широких пределах — от нескольких десятков до нескольких тысяч метров.

Скорость движения ленты принимают в зависимости от свойств транспортируемого груза и ширины ленты (табл. 1).

Преимущества ленточных конвейеров: высокая производительность, относительно большая длина транспортирования, простота конструкции, бесшумность в работе, небольшой удельный расход электроэнергии, возможность автоматизации, простота обслуживания. Недостатки: высокая стоимость, небольшой срок службы ленты и роликов, ограниченный угол наклона и кривизна (в плане) трассы, необходимость предварительного дробления крупнокускового материала.

§ 12. Устройство и основные элементы ленточного конвейера

Ленточный конвейер (рис. 4) состоит из тягового элемента 7 в виде бесконечной ленты, служащей одновременно несущим элементом, привода (на рис. 4 не показан), приводящего в движение барабан 9, натяжного устройства с барабаном 2 и грузом 1, роликовых опор 5 на рабочей ветви ленты и 6 на холостой ветви, отклоняющего барабана 8, загрузочного 3 и разгрузочного 10 устройств. Все элементы конвейера смонтированы на раме 4.

Сыпучий материал подается на движущуюся ленту через загрузочное устройство, разгружается (или перегружается) через разгрузочное устройство. Ветвь конвейерной ленты, на которой размещен транспортируемый материал, называют рабочей, грузовой или несущей, а ветвь, свободную от материала, — порожней. В поперечном сечении несущая ветвь имеет желобчатую (или плоскую) форму, порожняя — плоскую. Желобчатая форма придает ленте роликовой опорой, например трехроликовой.

Лента. Ленты изготовляют общего назначения и специальные: огнестойкие; неэлектризуемые; морозостойкие (до -55°C), теплостойкие (до 100°C). Ленты общего назначения работают при температуре от -25 до $+60^{\circ}\text{C}$. Классификация конвейерных лент по конструктивным признакам приведена на рис. 5 (сетчатые ленты показаны в плане).

Тканевые нарезные ленты (резинотканевые) состоят из прокладок 1, составляющих резинотканевый послойный тяговый каркас, защищаемый от повреждений и воздействия влаги и агрессивных сред верхней (рабочей) 2, нижней 3 и боковыми 6 обкладками, которые могут усиливаться слоем брекерной ткани 5. Толщина верхних обкладок — 1—10 мм, нижних — 1—3,5 мм. Между прокладками расположены слои резины 4. Прокладочную ткань (бельтинг) изготовляют из хлопка или синтетических материалов.

Завернутые ленты имеют повышенную устойчивость против расслоения бортов.

Кордовые ленты изготовляют из кордовой ткани, представляющей собой слой продольных шнуров (кордов), переплетенных в поперечном направлении тонкими нитями. Эти ленты прочнее тканевых, но более сложны в изготовлении.

Однопрокладочные ленты состоят из одного слоя кордов (с усиленным поперечным переплетением) или одного слоя толстой ткани. Они высокопрочны, не расслаиваются, хорошо противостоят ударам острогранных кусков материала.

Для увеличения производительности конвейеров применяют резинотканевую ленту с резиновыми гофрированными бортами высотой 60—300 мм. Наличие бортов увеличивает площадь се-

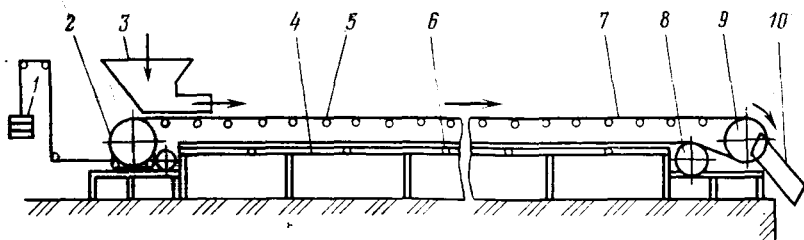


Рис. 4. Схема ленточного конвейера

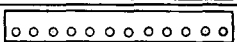
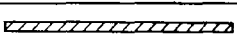
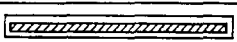
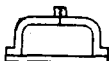
Конвейерные ленты	канатные	многослойные текстильные	нарезные	
			завернутые	
		кордовые		
		однопрокладочные		
		металлические	тросовые	
	без обкладок			
	с обкладками			
	сетчатые			
	трубчатые			

Рис. 5. Классификация конвейерных лент

чения груза и позволяет увеличить скорость транспортирования и угол наклона (на $2-3^\circ$) конвейера. Увеличить угол наклона конвейера до $35-40^\circ$ позволяет применение рифленой ленты, на верхней рабочей стороне которой методом горячей вулканизации прикреплены шевронные резиновые выступы высотой 5—40 мм. Угол наклона конвейера можно также увеличить, применяя ленты с поперечными выступами или поперечными перегородками.

Угол наклона конвейера оказывает существенное влияние на его длину. Так, при высоте подъема 30 м длина ленточного конвейера с гладкой лентой (при угле наклона 20°) составляет 82 м; с рифленой лентой (угол наклона 30°) — 52 м; с лентой, имеющей перегородки (угол наклона 50°), — 25 м.

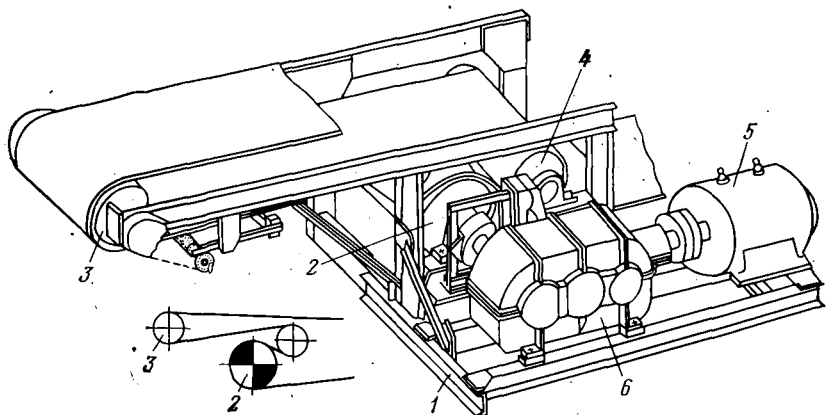


Рис. 6. Приводная станция ленточного конвейера

Тросовые (резинотросовые) ленты состоят из одного ряда стальных канатиков, завулканизированных между слоями ткани вдоль продольной оси ленты. Преимущество этих лент: высокая гибкость в поперечном направлении, что позволяет легко придавать им желобчатую форму; большая прочность, значительный срок службы. Недостатки: сложность соединения концов ленты, большая масса, значительные диаметры приводных барабанов.

Монолитные ленты изготавливают из холоднокатаной стали. Они дешевле в производстве, но очень неудобны в эксплуатации и практически не применяются.

Сетчатые ленты изготавливают из стальной проволоки; применяют на брикетных фабриках для охлаждения брикетов.

Для транспортирования ядовитых, сильно пылящих или портящихся от воздействия окружающей среды материалов применяют трубчатую ленту, которая в развернутом виде представляет собой полосу с зубцами на кромках. Зубцы при свертывании ленты соединяют ее кромки с помощью замка типа застежки «молния».

В ленточно-канатных конвейерах, тяговое усилие воспринимается двумя стальными канатами, а резиноканевая специальная лента служит только элементом, несущим груз. Срок службы такой ленты больше, чем обычной резиноканевой ленты.

Приводная станция (рис. 6) предназначена для передачи тягового усилия трением прижатием ленты к барабану при ее натяжении. Она состоит из рамы 1, приводного 2 и разгрузочного 3 барабанов, электродвигателя 5 и редуктора 6. Отклоняющий барабан 4 предназначен для увеличения угла обхвата приводного барабана. Барабаны изготавливают из стальных труб

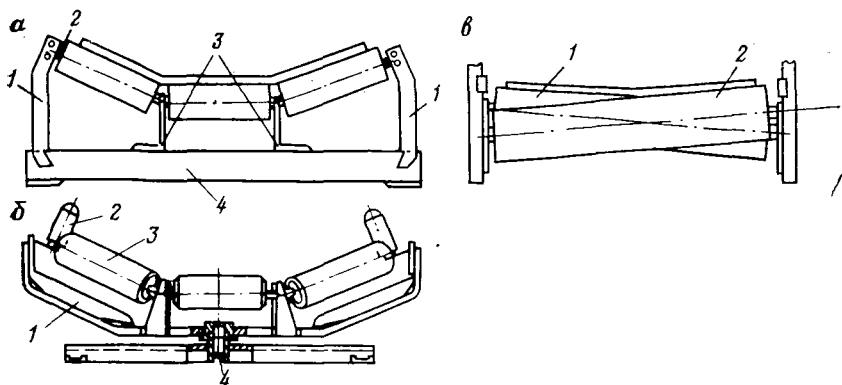


Рис. 7. Роликоопоры

или вальцуют из листового проката. Диаметр D_6 [мм] приводного барабана зависит от числа i прокладок в ленте:

$$D_6 \geq (125 \div 150)i; \quad (7)$$

диаметр $D_{от}$ (мм) отклоняющего барабана у привода

$$D_{от} \geq 60i.$$

Ширина приводного барабана больше ширины ленты на 150—200 мм. Для повышения коэффициента трения поверхность приводного барабана футеруют различными высокофрикционными материалами, чаще всего эластичной резиной.

Станина конвейера состоит из нескольких разборных соединенных между собой промежуточных секций, а также одной головной (для присоединения приводной станции) и одной хвостовой (для присоединения натяжного устройства). Секции соединяют между собой болтами или заклепками. Они состоят из нижней и верхней роликоопор, металлического листа, закрывающего нерабочую ветвь ленты, и стоек. Ширина рамы конвейера обычно на 300—400 мм больше ширины ленты.

Роликоопоры предназначены для поддержания ленты, центрирования ее хода, придания ленте необходимой формы. Основной тип роликоопор для грузовой ветви ленты — трехроликовые (рис. 7, а), с углом наклона боковых роликов 30° . Такая опора состоит из швеллера 4, двух боковых 1 и двух средних 3 кронштейнов, замков 2. Для лент шириной 2 м и более применяют иногда четырех- и пятироликовые опоры. На порожней ветви применяют одно- и двухроликовые опоры.

Для предотвращения бокового схода ленты, т.е. для ее центрирования относительно продольной оси конвейера, применяют центрирующие роликоопоры (рис. 7, б), которые состоят из несущих роликов 3, смонтированных на опоре 1, поворачи-

вающейся вокруг пяты 4, и направляющих роликов 2. В случае сбегаания ленты в какую-либо сторону она воздействует на направляющий ролик 2, поворачивающий роlikоопору, которая заставляет ленту переместиться в противоположную сторону. Поворачиваясь вправо и влево, роlikоопора центрирует ленту.

Порожняя ветвь ленты центрируется с помощью роlikоопоры с двумя роликами 1 и 2 (рис. 7, в), наклонными в вертикальной плоскости в противоположные стороны.

Все выпускаемые ролики можно разделить на два основных типа: легкие и тяжелые. В первых применены шариковые подшипники со встроенными манжетными уплотнениями; смазка подшипников закладная, долгодействующая. Во вторых установлены конические роlikоподшипники и имеются пресс-масленки для замены смазки.

При транспортировании высокоабразивных материалов применяют ролики, покрытые слоем резины, которая предохраняет их от истирания, особенно на порожней ветви, так как там лента движется по роликам своей рабочей поверхностью, загрязненной остатками материала. Для предохранения ленты и подшипников роlikоопор от ударов падающего груза под загрузочным углом конвейера устанавливают в опорах амортизирующие ролики с надетыми на них с натягом резиновыми дисками и шинами.

Ролики изготовляют из стальных труб, их диаметр (от 89 до 194 мм) выбирают в зависимости от ширины ленты, скорости ее движения, вида груза и размеров кусков. Шаг установки роликов в конвейерах с резиноканевой лентой на средней части грузовой ветви при транспортировании насыпных грузов составляет 1—1,5 м; в зоне загрузки — вдвое меньше: на порожней ветви — вдвое больше.

В некоторых конвейерах роlikовые опоры отсутствуют, а лента движется по опоре скольжения, изготовленной из материалов, обладающих хорошей износостойкостью и небольшим коэффициентом трения (шлакоситалл, полиэтилен, тефлон и др.).

Натяжные устройства предназначены для создания необходимого натяжения ленты, обеспечивающего сцепление с приводным барабаном без проскальзывания, а также для уменьшения стрелы провеса ленты между роlikовыми опорами и компенсации вытяжки ленты в процессе эксплуатации. Механические натяжные устройства, создающие нерегулируемое натяжение в ленте, бывают винтовые и грузовые.

В винтовом натяжном устройстве (рис. 8, а) натяжной барабан 2, установленный на ползунах 3, перемещается по направляющим 4 с помощью натяжного винта 1. Винтовые натяжные устройства применяют в конвейерах небольшой длины (до 60 м) и при небольших нагрузках.

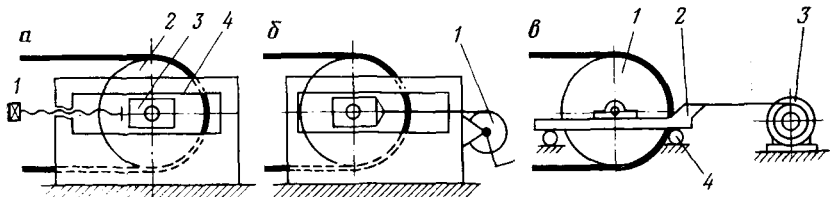


Рис. 8. Натяжные устройства ленточных конвейеров

В грузовом натяжном устройстве (см. рис. 4) натяжной барабан 2 укреплен также в ползунах, передвигающихся по направляющим или, как показано на рис. 4, на специальной тележке. Эта тележка соединена канатом или цепью с грузом 1, создающим неизменное натяжение ветвей ленты.

На рис. 8, б показано натяжное устройство, в котором натяжной барабан перемещается ручной лебедкой 1.

Лебедочное натяжное устройство, автоматически регулирующее натяжение ленты в зависимости от потребного крутящего момента, применяют для конвейеров большой производительности и длины. В этом устройстве (рис. 8, в) натяжной барабан 1 жестко установлен на тележке 2, которая системой полиспастов (на рис. 8, в не показана) передвигается по рельсам 4 с помощью электрической лебедки 3. Управление лебедкой автоматизировано, роль регулятора натяжения выполняет поршень гидроцилиндра или пружина, снабженные контактным манометром.

Натяжное устройство располагают либо там, где лента имеет минимальное натяжение, либо там, где его удобнее обслуживать. Рабочий ход l_n [м] натяжного устройства ленточного конвейера принимают для резинотканевой ленты $l_n = (1 \div 2) B + 0,015L$, а для резинотросовой $l_n = (1 \div 2) B + 0,002L$, где B — ширина конвейерной ленты, м; L — длина конвейера, м.

Загрузочное устройство может быть расположено в любом месте конвейера по его длине. Оно должно обеспечивать плавную подачу груза со скоростью и направлением его движения близким к скорости и направлению движения загружаемой ленты. Насыпные грузы загружают с помощью воронки и лотка, устанавливаемого под воронкой. Ширина лотка в начальной части $B_1 = 0,5B$ и в конечной части $B_2 = (0,6 \div 0,7) B$, где B — ширина конвейерной ленты, м. Для загрузки ленточных конвейеров применяют питатели различных типов.

Разгрузку конвейеров осуществляют двумя способами: конечная разгрузка — с одного из конечных барабанов через приемную воронку; промежуточная разгрузка — в любом месте по трассе конвейера с помощью специальных разгрузочных устройств.

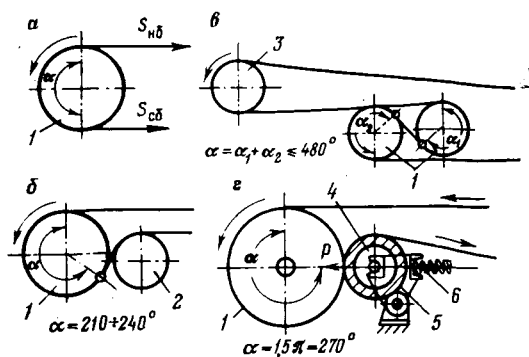


Рис. 9. Схемы обводки ленты по приводным барабанам:

1 — приводной барабан; 2 — отклоняющий барабан; 3 — разгрузочный барабан; 4 — прижимной ролик; 5 — резина; 6 — пружина

Плужковые разгрузчики — щиты, устанавливаемые на ленте под углом к потоку груза, сбрасывают его на одну или на обе стороны. Их недостаток — повышенный износ ленты.

Барабанные разгрузочные тележки применяют для разгрузки абразивных кусковых материалов, а также на конвейерах большой производительности.

Для остановки конвейера применяют *тормоза*, для предотвращения обратного хода ленты — *остановы*, для предотвращения ухода ленты вниз — *ловители*, для автоматического измерения массы груза — *конвейерные весы*.

§ 13. Основы теории привода ленточного конвейера

Тяговое усилие W_0 , передаваемое замкнутому тяговому органу (рис. 9, а), определяется как разность натяжений набегающей $S_{нб}$ и сбегающей $S_{сб}$ ветвей:

$$W_0 = S_{нб} - S_{сб}.$$

Сила трения между ободом барабана и лентой должна быть не менее требуемого тягового усилия, в противном случае происходит скольжение ленты по барабану. Условие нескольжения ленты по барабану определяют по уравнению Л. Эйлера

$$S_{нб} \leq S_{сб} e^{f\alpha}, \quad (8)$$

где e — основание натуральных логарифмов, равное 2,72; f — коэффициент трения между лентой и поверхностью приводного барабана, который зависит от материала ленты и барабана (для прорезиненной ленты и стального барабана $f=0,3$; для прорезиненной ленты и барабана с деревянной обшивкой $f=0,35$; для прорезиненной ленты и барабана с резиновой обшивкой $f=0,4$); α — угол обхвата лентой приводного барабана, рад.

Максимальное тяговое усилие, которое может быть передано барабаном ленте без скольжения, определяют из выражений:

$$W_0 = S_{нб}(e^{f\alpha} - 1)/e^{f\alpha} \quad \text{или} \quad W_0 = S_{сб}(e^{f\alpha} - 1).$$

Анализ последнего выражения показывает, что тяговое усилие может быть повышено либо увеличением натяжения сбегающей ветви $S_{сб}$, либо увеличением угла обхвата α и коэффициента трения f .

У горизонтальных ленточных конвейеров натяжение сбегающей ветви создается и регулируется натяжным устройством; у наклонных конвейеров с подачей груза вверх дополнительное натяжение ленты создается продольной составляющей силы тяжести ленты.

Тяговое усилие повышают увеличением угла обхвата лентой барабана: в однобарабанных приводах установкой отклоняющих барабанов (рис. 9, б); в двухбарабанном приводе последовательным огибанием их лентой (рис. 9, в); в однобарабанных приводах применением прижимного ролика (рис. 9, г).

§ 14. Определение сопротивлений на конвейере и натяжения ленты

Различают сопротивления на ленточном конвейере распределенные, действующие на прямолинейных участках и сосредоточенные, возникающие при огибании лентой барабана и батареи роликов, на разгрузочной тележке, и т. п.

Распределенные сопротивления возникают в результате сопротивлений силам трения в подшипниках роликов и в уплотняющих устройствах, а также при качении ленты по роликам. На наклонных участках трассы действуют также продольная составляющая силы тяжести ленты и груза.

Методом «обхода контура» определим сопротивления на отдельных участках конвейера, а затем и натяжение ленты в точках сопряжения прямолинейных и криволинейных участков (рис. 10). Примем следующие обозначения: q_m — погонная сила тяжести материала, Н/м; q_l — погонная сила тяжести ленты, Н/м; q_p' и q_p'' — сила тяжести вращающихся частей роликов

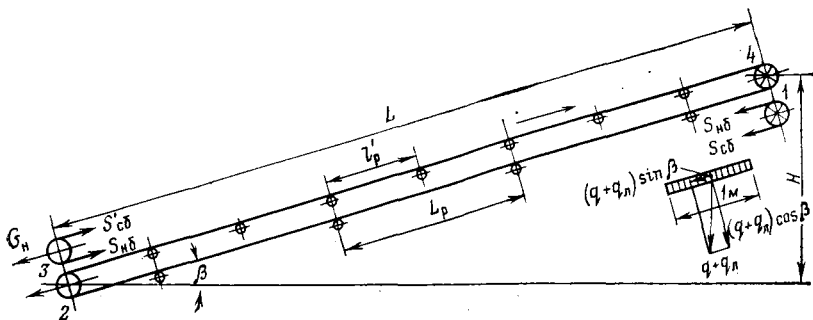


Рис. 10. Схема к расчету ленточного конвейера

груженой и порожней ветвей ленты, отнесенная к 1 м длины конвейера, Н/м, т. е.

$$q'_p = G'_p / l'_p \quad \text{и} \quad q''_p = G''_p / l''_p, \quad (9)$$

где G'_p и G''_p — сила тяжести вращающихся частей роликоопор соответственно на груженой и порожней ветвях ленты, Н; l'_p и l''_p — расстояние между роликоопорами на груженой и порожней ветвях ленты, м.

Суммарная нагрузка от груза ленты и роликов, отнесенная к 1 м длины груженой ветви, составит $q_m + q_l + q'_p$.

Вредные сопротивления на 1 м длины груженой ветви наклонного конвейера равны суммарной нагрузке на подшипники ролика, умноженной на коэффициент сопротивления ω' , т. е.

$$[(q_m + q_l) \cos \beta + q'_p] \omega' \approx (q_m + q_l + q'_p) \omega' \cos \beta.$$

Сопротивление на всей длине L [м] груженой ветви равно $(q_m + q_l + q'_p) L \omega' \cos \beta$, а продольная составляющая от нагрузки материала и ленты $\pm (q_m + q_l) L \sin \beta$.

Таким образом, полное сопротивление $W_{гр}$ [Н] груженой ветви 3—4 составляет

$$W_{гр} = W_{3-4} (q_m + q_l + q'_p) L \omega' \cos \beta \pm (q_m + q_l) L \sin \beta, \quad (10)$$

а сопротивление $W_{пор}$ [Н] порожней ветви 1—2 (при $q=0$)

$$W_{пор} = W_{1-2} = (q_l + q''_p) L \omega' \cos \beta \pm q_l L \sin \beta. \quad (11)$$

Определив по формуле (2) погонную массу q груза, из соотношения $q_m = qg$ определяем его погонную силу тяжести q_m . Погонную силу тяжести q_l ленты находят в справочной литературе в соответствии с шириной и числом прокладок.

На обогатительных фабриках ленточные конвейеры эксплуатируются в тяжелых условиях, поэтому коэффициент сопротивления роликовых опор принимают в расчетах повышенным: $\omega' = 0,03 \div 0,04$ (в легких условиях $\omega = 0,02 \div 0,025$).

Сосредоточенные сопротивления (участок 2—3 на рис. 10) складываются из сопротивления в подшипниках поворотного барабана и сопротивления изгибу ленты на нем. Сумма этих сопротивлений W'_6 [Н] для углов обхвата 90° составляет 3—4% натяжения $S_{н6}$ набегающей ленты; для углов 180° — 4—5%.

В рассматриваемом случае угол обхвата равен 180° , поэтому сопротивление на участке 2—3

$$W'_6 = W_{2-3} = (0,04 - 0,05) S'_{н6} = (0,04 - 0,05) S_2, \quad (12)$$

следовательно, натяжение ленты в точке 3

$$S_3 = (1,04 - 1,05) S_2.$$

Соппротивление W_6 [Н] на приводном барабане (участок 4—1) можно считать приблизительно равным 4—5% тягового усилия W_0 :

$$W_6 = W_{4-1} = (0,04 - 0,05) W_0. \quad (13)$$

Натяжение ленты определяют методом «обхода контура» по точкам. Натяжения в точках 2, 3 и 4 (см. рис. 10):

$$S_2 = S_1 + W_{1-2}; \quad (14)$$

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_1 + W_{1-2} + W_{2-3}; \quad (15)$$

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = S_1 + W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4}. \quad (16)$$

Соппротивления на прямолинейных и криволинейных участках ленточного конвейера определяют по формулам (10)—(12). Для определения натяжений $S_1 = S_{сб}$ и $S_4 = S_{нб}$ используют уравнение Л. Эйлера (8).

Совместное решение уравнений (16) и (8) позволяет найти $S_{нб}$ и $S_{сб}$ (т. е. S_1 и S_4), а затем и натяжения в других точках.

Этими формулами можно пользоваться для расчета наклонных конвейеров с подачей груза вниз при относительно небольших углах наклона, т. е. когда для приведения конвейера в движение требуется электродвигатель.

Для самодействующих конвейеров расчетное уравнение имеет вид

$$S_{сб} = S_{нб} e^{f\alpha}.$$

Решая это уравнение совместно с уравнением (16), получают искомое натяжение ленты.

При подаче груза вверх соппротивления силам трения и силе тяжести груженной ветви ленты имеют положительный знак и их сумма растет с увеличением угла наклона по направлению движения ленты. На порожней ветви силы имеют разные знаки [см. выражения (11)]: положительный знак — сила трения; отрицательный — продольная составляющая силы тяжести. В зависимости от соотношения между этими силами суммарное соппротивление может иметь положительный знак, быть равно нулю и иметь отрицательный знак.

§ 15. Приближенный расчет мощности привода

В приближенных расчетах горизонтальных и наклонных с подачей груза вверх ленточных конвейеров тяговое усилие W_0 [Н] определяют в виде суммы соппротивлений на прямолинейных участках грузовой и порожней ветвей конвейера

$$W_0 = k (W_{гп} + W_{пор}), \quad (17)$$

где k — коэффициент, учитывающий сопротивления на криволинейных участках контура ленты, $k = 1,1 \div 1,15$.

Подставив значения $W_{гр}$ и $W_{пор}$ из выражений (10) и (11), получим:

$$W_0 = k[L(q_m + 2q_l + q'_p + q''_p)w' \cos \beta + q_m H],$$

где $H = L \sin \beta$.

При наличии сбрасывающих устройств в расчет вводят значения соответствующих сопротивлений.

Натяжение $S_{нб}$ [Н] набегающей ветви ленты

$$S_{нб} = W_0 e^{f\alpha} / (e^{f\alpha} - 1).$$

Необходимое по расчетному натяжению число прокладок ленты

$$i \geq KS_{нб} / (S_{пB}), \quad (18)$$

где $K = 9 \div 11,5$ — коэффициент запаса прочности ленты; $S_{п}$ — предел прочности на разрыв ткани прокладки, Н/мм; B — ширина ленты, мм.

Мощность электродвигателя определяют по формуле (6).

§ 16. Определение производительности ленточного конвейера и ширины его ленты

Расчетная максимальная массовая *производительность* ленточного конвейера Q [т/ч] по наибольшему грузопотоку определяется по формуле (3).

Ширину ленты B [м] (для насыпных материалов) определяют по максимальной расчетной производительности загрузочного устройства и крупности кусков транспортируемого материала, а для штучных грузов — в зависимости от количества и габаритных размеров грузов. Форма расположения насыпного материала на ленте определяется профилем поперечного сечения грузеной ветви ленты, уложенной на роlikоопоры.

На плоской ленте, поддерживаемой прямыми роlikоопорами, насыпной материал располагается примерно по профилю равнобедренного треугольника, площадь F [м²] которого

$$F = bhK/2 = 0,25 b^2 K \operatorname{tg} \varphi_1,$$

где $b = (0,9B - 0,05)$ — ширина ленты, на которой расположен материал, м; $h = 0,5b \operatorname{tg} \varphi_1$ — высота слоя материала, м; $K = 0,8 \div 1$ — коэффициент уменьшения сечения материала на наклонном конвейере, зависящий от подвижности частиц материала, угла наклона конвейера и угла φ [градус] естественного откоса материала; $\varphi_1 \approx 0,35 \varphi$ — угол свободного расположения насыпного материала в поперечном сечении движущейся ленты, градус.

Таблица 2

Значения коэффициента k_{π}

Роликоопора	Угол наклона боковых роликов δ , градус	Подвижность частиц материала		
		легкая	средняя	малая
Прямая	0	158	240	328
Желобчатая,	20	393	470	550
трехроли-	30	480	550	625
ковая	45	580	633	692
	60	582	620	662

На ленте желобчатой формы, поддерживаемой трехроликовыми опорами, общая площадь сечения насыпного материала складывается из суммы площадей равнобедренного треугольника и трапеции, стороны которой определяются размерами роликов и углом δ [градус] их наклона.

Подставив полученное значение F в формулу (3) и проведя преобразования, получим выражение для определения ширины ленты:

$$B = \sqrt{Q / (k_{\pi} v \rho)}, \quad (19)$$

где k_{π} — коэффициент, зависящий от угла δ установки боковых роликов (табл. 2) и угла φ_1 естественного откоса транспортируемого материала; v — скорость движения ленты конвейера (см. табл. 1), м/с.

Определив ширину ленты, ее проверяют по кусковатости транспортируемого материала:

$$B \geq Xa + 200, \quad (20)$$

где X — коэффициент крупности материала (для сортированного груза $X=3,3$, для рядового $X=2,5$); a — максимальный линейный размер куса, мм.

Ширину ленты выбирают из ряда: 300; 400; 500; 650; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 2000; 2500; 3000 мм.

§ 17. Эксплуатационный расчет ленточного конвейера

Расчет заключается в выборе типа конвейера и его привода по заданным: приемной способности, характеристикам транспортируемого материала и трассы транспортирования.

Основные параметры конвейера определяют в следующем порядке.

1. Ширину B ленты, ее скорость v и угол δ наклона боковых роликов определяют по условию обеспечения заданной прием-

ной способности. Ширину B ленты желобчатой формы определяют по формуле (19). Скорость v транспортирования принимают по табл. 1; коэффициент k_n — по табл. 2. Проверяют ширину ленты по кусковатости транспортируемого материала по формуле (20).

2. Определяют сопротивления W [Н] на конвейере, для чего составляют его упрощенную схему и вычисляют величины, необходимые для расчета (см. рис. 10).

Длина наклонного участка конвейера $L = H / \sin \beta$, где H — высота подъема, м; β — угол наклона, градус.

Погонную массу q [кг/м] груза определяют по формуле (2); из выражения $\sim q_m = qg$ [Н/м] определяют погонную силу тяжести груза; погонную силу тяжести q_L [Н/м] ленты находят в справочной литературе; силу тяжести вращающихся частей роликов грузовой и порожней ветвей ленты, отнесенных к 1 м длины конвейера, определяют по формуле (9).

Полное сопротивление $W_{гр}$ [Н] грузовой ветви определяют по формуле (10), порожней $W_{пор}$ [Н] — по формуле (11); сопротивление W_6' [Н] на поворотном барабане — по формуле (12); сопротивление W_6 [Н] на приводном барабане по формуле (13).

3. Определяют натяжение ленты методом «обхода контура» по точкам. Натяжения S_2, S_3, S_4 [Н] в точках 2, 3, 4 (см. рис. 10) вычисляют соответственно по формулам (14) — (16). Для определения натяжений S_1 и S_4 [Н] в точках 1 и 4 используют уравнение Л. Эйлера (8). Совместное решение уравнений (16) и (8) позволяет определить натяжения в этих точках, а затем и натяжения в других точках.

4. Определяют число i прокладок ленты по формуле (18), приняв в ней $S_{нб} = S_4$. Значение S_n берут из справочной литературы.

5. Определяют провес f_{max} [м] грузовой ветви ленты между роликовыми опорами:

$$f_{max} = (q + q_L) (l_p' \cos \beta)^2 / (8S_{min}),$$

где l_p' — расстояние между роликовыми опорами грузовой ветви (см. рис. 10), м; S_{min} — наименьшее натяжение грузовой ветви, Н; $S_{min} = S_3$.

Усилие на натяжном устройстве $S_n = S_4 + S_3$ [Н].

6. Определяют мощность электродвигателя N [кВт] по формуле (6), где тяговое усилие W_0 [Н] в приближенных расчетах можно определить по формуле (17), а более точно — из выражения (5).

По справочнику выбирают тип электродвигателя, указав его мощность и частоту вращения $n_{дв}$.

7. Определяют передаточное число i редуктора, предвари-

тельно по формуле (7) определив диаметр D_6 [мм] и частоту вращения n_6 [мин⁻¹] приводного барабана

$$n_6 = 60 v / (\pi D_6),$$

где v — скорость движения ленты, м/с;

$$i = n_{\text{дв}} / n_6.$$

Мощность [кВт] на валу приводного барабана конвейера $N_0 = W_0 v / 1000$, а мощность редуктора $N_p = k_2 N_0$, где k_2 — коэффициент, для ленточных и пластинчатых конвейеров равный 1.

По полученным значениям $n_{\text{дв}}$, i и N_p выбирают редуктор.

§ 18. Эксплуатация ленточных конвейеров

Ленточные конвейеры, предназначенные для внутри- и межцехового транспортирования горной массы, продуктов обогащения и хвостов, обеспечивают непрерывность и ритмичность технологических процессов обогатительных предприятий. Являясь частью технологической схемы, они не могут быть выведены из нее для производства ремонтных работ и поэтому помимо периодических осмотров требуют непрерывного наблюдения и технического обслуживания.

Основное внимание необходимо уделять состоянию конвейерной ленты. Изнашивание ленты начинается с разрушения резиновой обкладки по бокам, которое происходит при движении ленты по невращающимся роликам порожней ветви и во время завалов погрузочных и перегрузочных пунктов. Нерабочая поверхность ленты подвержена интенсивному изнашиванию из-за пробуксовки приводного барабана вследствие недостаточного натяжения ленты. Изнашиванию ленты также способствуют некачественное соединение ее стыков, несвоевременная замена неисправных роликов.

Правила эксплуатации ленточных конвейеров обязывают обслуживающий персонал: постоянно контролировать правильность хода ленты и немедленно устранять нарушения; систематически очищать приводную головку; проверять состояние роликов, немедленно заменяя неисправные, проверять натяжение ленты, не допуская стрелы провеса между роликоопорами более нормы; при необходимости устанавливать дополнительные центрирующие устройства; наблюдать за работой очищающих устройств, своевременно их регулировать; проверять состояние стыков ленты.

Не реже одного раза в месяц конвейеры останавливают для проведения плановых осмотров, технического обслуживания и ремонтов.

Основные положения техники безопасности при эксплуатации ленточных конвейеров: инструктаж обслуживающего персона-

ла; использование конвейера только по назначению; борьба с пылеобразованием; защита съёмными ограждениями всех вращающихся и движущихся частей привода и натяжной станции; устройство мостков в местах перехода людей; надежное заземление металлоконструкций конвейера. Запрещается остановка ленточного конвейера до его полной разгрузки; загрузка конвейера до пуска его в ход; пуск конвейера без предварительного оповещающего сигнала; очистка и ремонт конвейера во время его работы; перевозка на ленте людей.

Глава 5

ПЛАСТИНЧАТЫЕ И СКРЕБКОВЫЕ КОНВЕЙЕРЫ

§ 19. Общие сведения

Пластинчатые и скребковые конвейеры относятся к транспортирующим машинам с тяговым элементом, роль которого выполняют цепи (пластинчатые, разборные, крючковые, вильчатые круглозвенные), и называются цепными конвейерами.

Пластинчатый конвейер предназначен для непрерывного транспортирования насыпных и штучных грузов. Тяговый элемент конвейера — одна или две цепи; грузонесущий элемент — жесткий настил (полотно), состоящий из отдельных пластин (металлических, пластмассовых, деревянных, резиноканевых). Цепи с укрепленными на них пластинами называют *пластинчатой лентой*, а сочлененные пластины — *рабочим полотном* или *настилом*.

Пластинчатые конвейеры классифицируют: по назначению — подземные, общего назначения, специальные; по виду трассы в плане — прямолинейные, изгибающиеся; по форме пластин в продольном сечении — с гладкими пластинами, волнистыми пластинами, поперечными перегородками; по форме поперечного сечения — без бортов, с неподвижными бортами, с подвижными бортами.

Пластинчатые конвейеры способны транспортировать практически любой груз: производительность их колеблется в широких пределах и может достигать 850 т/ч; длина на один привод до 800 м; угол наклона до 28° при волнистых и до 40° при ребристых пластинах.

Достоинство — возможность транспортирования грузов: по криволинейным трассам и при больших углах наклона; без перегрузок на значительные расстояния; тяжелых и абразивных грузов. Недостатки: сложность конструкции, большая металлоемкость, трудоемкость монтажа.

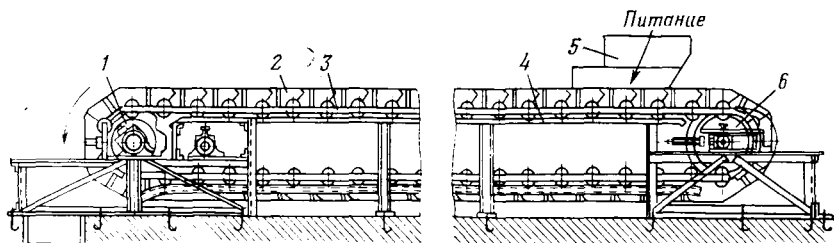


Рис. 11. Пластинчатый конвейер

На обогатительных фабриках используются в основном как питатели, реже для транспортирования тяжелых и абразивных материалов.

Скребокковые конвейеры — транспортирующие машины, в которых груз с помощью скребков, соединенных с движущейся цепью, перемещается волочением по желобу или трубе прямоугольного или круглого сечения.

Скребокковые конвейеры классифицируют: по конструктивным признакам (форма и высота скребка) — со сплошными и фигурными скребками, высокими и низкими скребками; по замыканию цепи — с вертикальным и горизонтальным замыканием; по наличию желоба — с желобом и без него; по числу рабочих ветвей — с одной (нижней или верхней) и двумя (нижней и верхней).

Скребокковые конвейеры со сплошными и фигурными скребками применяют для транспортирования пылевидных, зернистых и кусковых хорошо сыпучих материалов. Эти конвейеры не применяют для транспортирования хрупких, сильно влажных и липких материалов. Производительность скребковых конвейеров до 700 т/ч; длина ограничивается прочностью элемента и не превышает 400 м для одного конвейера.

Преимущества: простота конструкции; возможность промежуточной загрузки и разгрузки; возможность герметичного транспортирования пылящих, газирующих и горячих грузов; простота сборки и разборки. Недостатки: интенсивный износ ходовой части и желоба, крошение и измельчение груза, большая металлоемкость.

На обогатительных фабриках скребковые конвейеры применяют в качестве распределительных устройств.

§ 20. Устройство пластинчатых и скребковых конвейеров

Пластинчатый цепной конвейер (рис. 11) состоит из следующих основных частей: приводного устройства 1, натяжного устройства 6, цепи 3 с пластинами 2, образующими настил, дви-

жущийся по направляющим 4, поддерживающих рабочую и погрузную ветви конвейера. При проходе пластин через звездочки приводного устройства происходит разгрузка материала, а загрузка его может производиться через загрузочную воронку 5 в любом месте рабочей ветви конвейера. Пластины 2 закруглены в передней части, что позволяет перекрывать часть следующих пластин, создавая непрерывность полотна конвейера при огибании ими звездочек. Для увеличения производительности конвейера применяют подвижные или неподвижные борта.

Тяговый элемент пластинчатого конвейера, как правило, выполнен из одной-двух пластинчатых цепей различных конструкций (катковых, втулочных, роликовых и т. п.), реже из круглозвенных цепей.

Пластинчатая втулочная цепь собирается из звеньев, состоящих из внутренних и внешних стальных пластин, валиков, наглухо закрепленных в проушинах внешних пластин, и втулок (с наглухо насаженными на них внутренними пластинами), свободно вращающихся на валиках. Стационарные ролики смазывают с помощью централизованной смазочной системы.

Круглозвенные цепи применяют в изгибающихся конвейерах.

Настил собирают из пластин, изготовленных штамповкой или листовой стали. Пластины делают короткими (200—250 мм) и длинными (320—380 мм). В зависимости от характеристики транспортируемого груза настил изготовляют с бортами и без них в различном конструктивном исполнении. Пластины прикрепляют к звеньям тяговой цепи (или цепям) сваркой или с помощью болтов или заклепок. Тяговые цепи (если их две) соединяют друг с другом жесткими пластинами настила или сквозными осями, которые располагают через один — три шага цепи.

Основные размеры настила — ширина B (400, 500, 650, 800, 1000, 1200, 1400 и 1600 мм) и высота h бортов, если они меняются (80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355, 400 и 500 мм).

Опорную станину конвейера набирают из отдельных секций, изготовленных из угловой или швеллерной стали. Концевые части секций выполняют в виде отдельных рам для приводной станции и натяжного устройства. Средние секции бывают линейными, поворотными и переходными, длина секций 2—3,3 м.

Приводная станция состоит из приводных звездочек, передаточного механизма и электродвигателя и стопорного устройства (для наклонных конвейеров). Она может быть концевой и промежуточной, с угловым или гусеничным приводом. Приводные звездочки, приводящие в движение цепи, изготовляют литыми из стали или чугуна или составными — с литым корпусом из чугуна и венцом из листовой стали; они имеют

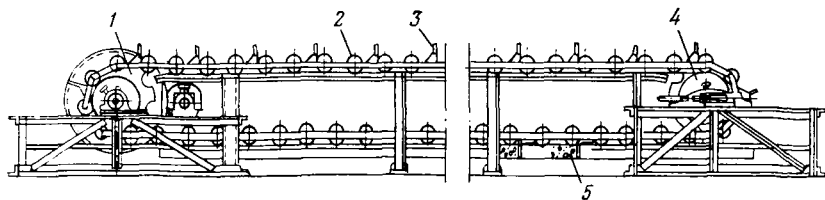


Рис. 12. Скребковый конвейер

пять — восемь зубьев. Передаточный механизм состоит либо из одного редуктора, либо из редуктора с дополнительной зубчатой или цепной передачей. Для регулирования скорости применяют вариаторы. Применяют конвейеры с несколькими приводами.

Натяжное устройство устанавливают на концевых звездочках, они могут быть винтовыми или пружинно-винтовыми. Ход натяжного устройства зависит от шага тяговой цепи.

Устройства для очистки полотна конвейера устанавливают у разгрузочной головки на порожней ветви.

Скребковый конвейер (рис. 12) состоит из цепи (цепей) 2, огибающей приводные 1 и хвостовые 4 звездочки. На цепях укреплены скребки 3, которые при своем движении перемещают материал, засыпанный в желоб 5. Рабочей ветвью конвейера в зависимости от присоединения скребков к цепи может быть как нижняя, так и верхняя. При нижней рабочей ветви конвейер загружают около натяжного устройства, а разгружать можно в любом месте желоба, в том числе в конце его. При верхней рабочей ветви загружают конвейер сверху в любой его точке, а разгружают через отверстие в боковой стенке желоба или в конце его.

Тяговый элемент скребкового конвейера выполнен из одной или двух пластинчатых катковых цепей с прикрепленными к ним скребками. Цепи крепятся в верхней или средней по высоте части скребков (при одноцепном конвейере) и по бокам скребков (при двухцепном конвейере). Число тяговых цепей зависит от тягового усилия, ширины скребков, длины конвейера и устойчивости скребков. Для скребков шириной до 400 мм применяют одну тяговую цепь; при большей ширине — две цепи.

Скребки изготавливают из листовой стали, редко из пластмассы, форма скребков — трапециевидная, полукруглая, прямоугольная. Нижнюю кромку скребка, трущуюся по желобу, для увеличения срока его службы усиливают наплавкой или привариванием полоски из высокомарганцевой стали. Шаг скребков должен обеспечивать наилучшее заполнение пространства между скребками и быть больше наибольшего размера куска; быть кратным шагу цепи.

Желоб изготавливают сварным или штампованным из листовой стали толщиной 4—6 мм, придавая ему в поперечном

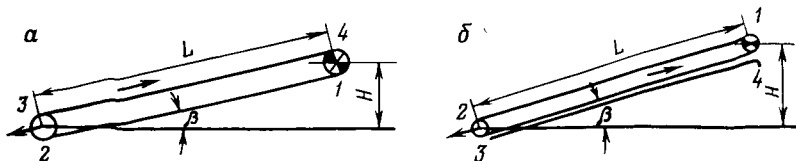


Рис. 13. Схемы к расчету пластинчатого (а) и скребкового (б) конвейеров

сечении форму скребка. При транспортировании абразивных материалов для повышения срока службы дно желоба футеруют базальтовыми плитами. Желоб собирают из секций длиной 1—2,5 м, зазор между скребком и желобом принимают равным 5—15 мм на сторону.

Приводная станция состоит из электродвигателя, редуктора и ведущего вала с приводными звездочками. Соединение электродвигателя с редуктором либо непосредственно, либо через соединительную или предохранительную муфты.

Натяжные устройства те же, что и для пластинчатых конвейеров. Дополнительные функции его — обеспечение устойчивого положения скребков.

§ 21. Эксплуатационный расчет цепных конвейеров

Расчет пластинчатого конвейера заключается в выборе типа конвейера и его привода по заданным: приемной способности, характеристикам транспортируемого материала и трассы транспортирования.

1. Производительность конвейера определяют по формуле (4). По заданной производительности Q [т/ч] определяют площадь поперечного сечения F_0 [м²] материала на конвейере, а затем по найденной площади — ширину пластин B [м].

Для пластин без бортов

$$B_n = \sqrt{Q / (648 v \rho k \operatorname{tg} \theta)},$$

где k — коэффициент снижения производительности, зависящий от угла наклона конвейера; θ — угол естественного откоса материала при движении, градус.

Для пластин с бортами высотой h [м]

$$B = Q / (3600 h v \rho k \Psi),$$

где $\Psi = 0,75 \div 0,8$ — коэффициент заполнения.

Проверяют ширину пластин по кусковатости транспортируемого материала по выражению (20), где $X = 1,7$.

2. Определяют сопротивления W [Н] на конвейере, для чего составляют его упрощенную схему (рис. 13, а), обозначив: L — длину конвейера, м; H — высоту подъема, м; β — угол наклона, градус.

Сопротивление $W_{гр}$ [Н] грузовой ветви конвейера

$$W_{гр} = W_{3-4} = (q + q_0) L (\omega' \cos \beta \pm \sin \beta),$$

где q — погонная сила тяжести груза, Н/м; q_0 — погонная сила тяжести пластинчатой ленты, Н/м; ω' — коэффициент сопротивления движению (для катковых цепей $\omega' = 0,1 \div 0,2$, для скользящих $\omega' = 0,2 \div 0,25$).

Сопротивление $W_{пор}$ [Н] порожней ветви

$$W_{пор} = W_{1-2} = q_0 L (\omega' \cos \beta \pm \sin \beta).$$

Сопротивление $W'_{зв}$ [Н] на хвостовой звездочке определяют приближенно в зависимости от натяжения $S_{нб}'$ [Н] набегающей на эту звездочку ветви цепи

$$W'_{зв} = 0,1 S'_{нб}, \quad (21)$$

а сопротивление $W_{зв}$ [Н] на приводной звездочке

$$W_{зв} = 0,05 (S_{нб} + S_{сб}), \quad (22)$$

где $S_{нб}$ и $S_{сб}$ — натяжение цепи в точках набегающей (4) на приводную звездочку и сбегания с нее (1), Н.

Тяговое усилие W_0 [Н] определяют сложением сопротивлений на отдельных участках конвейера

$$W_0 = \Sigma W. \quad (23)$$

3. Натяжение тяговой цепи в каждой последующей (по направлению движения) точке контура конвейера равно натяжению в предшествующей точке плюс сопротивления движению на участке между этими точками

$$S_n = S_{n-1} + \sum_{n=1}^n W. \quad (24)$$

Определяют наименьшее натяжение $S_{\min}$ [Н] цепи, которое для горизонтальных конвейеров будет в точке схода с приводной звездочки. В наклонном конвейере (см. рис. 13, а) с подачей груза вверх наименьшее натяжение цепь имеет в точке 1 ($S_{\min} = S_1$) или в точке 2 ($S_{\min} = S_2$) в зависимости от угла наклона конвейера β . При положительном значении сопротивления $W_{пор}$ минимальное натяжение цепи будет в точке 1, при отрицательном — в точке 2. В расчетах принято принимать $S_{\min} = 2 \div 3$ кН.

Далее определяют натяжение цепи в точках 2—4:

$$S_2 = S_1 + W_{1-2}; \quad S_3 = 1,1 S_2; \quad S_4 = S_3 + W_{3-4}. \quad (25)$$

4. Определяют запас прочности m цепи по формуле

$$m = S_p / S_{\max}, \quad (26)$$

где S_p — разрывное усилие тяговой цепи, Н; $S_{\max} = S_{нб} = (W_0 + S_{сб} - W_{зв})$ — максимальное натяжение тяговой цепи, Н. Запас прочности цепи $m \geq 5 \div 6$.

5. Определяют мощность электродвигателя N [кВт] по формуле (6).

Расчет скребкового конвейера заключается в выборе типа конвейера и его привода по заданным: приемной способности, характеристикам транспортируемого материала и трассы транспортирования.

1. Производительность конвейера при неподвижном пункте загрузки определяют по формуле (4). При передвижном пункте загрузки относительная скорость движения цепи v [м/с] определяется из выражения $v = v_k + v_z$, где v_k — скорость движения цепи, м/с; v_z — скорость движения пункта загрузки, м/с. В этой формуле знак «плюс» принимают, если движение тяговой цепи конвейера не совпадает с направлением движения пункта загрузки, а знак «минус» — если движение совпадает.

По заданной производительности Q [т/ч] определяют площадь поперечного сечения F_0 [м²] желоба.

2. Определяют сопротивление W [Н] на конвейере, для чего составляют его упрощенную схему (рис. 13, б).

Сопротивление $W_{гр}$ [Н] груженой ветви

$$W_{гр} = W_{3-4} = [(q\omega' + q_0f_1) \cos \beta \pm (q + q_0) \sin \beta] L,$$

где q — погонная сила тяжести груза; Н/м; $\omega' = 0,55 \div 0,75$ — коэффициент сопротивления движению груза; q_0 — погонная сила тяжести цепи со скребками, Н/м; f_1 — коэффициент трения скольжения тяговой цепи и скребков о желоб. Знак «плюс» принимают при движении груза вверх, «минус» — при движении вниз.

Сопротивление $W_{пор}$ [Н] порожней ветви

$$W_{пор} = W_{1-2} = q_0 L (f_1 \cos \beta \pm \sin \beta).$$

Для одноцепных конвейеров коэффициент $f_1 = 0,25 \div 0,4$; для двухцепных $f_1 = 0,2 \div 0,35$.

Сопротивление на хвостовой звездочке определяют по формуле (21), а на приводной — (22).

Тяговое усилие W_0 Н определяют по формуле (23).

3. Натяжение тяговой цепи S [Н] в точках определяют методом «обхода по контуру» по формулам (24) и (25).

4. Запас прочности m определяют по формуле (26).

5. Мощность электродвигателя определяют по формуле (6).

ВИБРАЦИОННЫЕ КОНВЕЙЕРЫ**§ 22. Общие сведения**

Вибрационные конвейеры — разновидность качающихся. В отличие от инерционных качающихся конвейеров, в которых груз скользит по желобу, не отрываясь от него, в вибрационных конвейерах груз отрывается от желоба и микробросками перемещается вдоль желоба. Такое перемещение груза по грузонесущему органу (желобу) обусловлено возвратно-поступательными колебательными движениями желоба и силами инерции и трения груза о поверхность желоба.

В вибрационных конвейерах вертикальная составляющая ускорения частиц материала больше ускорения свободного падения, поэтому их движение происходит в виде непрерывно следующих один за другим микрополетов. При таком движении материал почти не скользит по поверхности желоба, не крошится, не пылит. В связи с малым временем контакта материала с поверхностью желоба износ ее незначителен по сравнению с теми транспортными устройствами, в которых материал перемещается непрерывными скольжением (гравитационный транспорт, скребковые конвейеры).

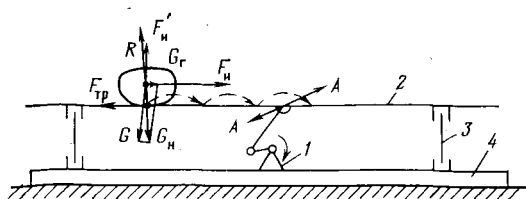
В вибрационных конвейерах желоб совершает колебания с амплитудой от долей миллиметра до 15 мм и более и частотой до 50 Гц.

Вибрационные конвейеры классифицируют: по характеру воздействия на груз — увеличивающие подвижность груза и транспортирующие; по типу привода — инерционные, эксцентриковые, электромагнитные, гидравлические и пневматические; по режиму работы — резонансные и зарезонансные; по числу колеблющихся масс — одно- и двухмассовые; по устройству динамической системы — неуравновешенные и уравновешенные.

Вибрационные конвейеры применяют на обогатительных фабриках для транспортирования твердых и абразивных материалов на небольшие расстояния для разделения материала по крупности (виброгрохоты), обезвоживания (обезвоживающие грохоты), подачи горячих грузов и т. п.

Основные преимущества вибрационных конвейеров: простота конструкции, малый износ грузонесущего элемента, возможность загрузки и разгрузки в любой точке трассы, возможность изоляции груза от окружающей среды, незначительное измельчение материала, невысокая энергоемкость. Недостатки: зависимость производительности от угла подъема (на каждый градус угла наклона производительность снижается на 3—4%), малая долговечность упругих элементов и опорных подшипников привода, малая длина конвейера, невозможность транспортирования липких материалов.

Рис. 14. Схема вибрационного конвейера



§ 23. Устройство вибрационных конвейеров

Вибрационный конвейер (рис. 14) состоит из грузонесущего желоба 2, совершающего колебательные движения по траектории $A-A$ под действием вибровозбудителя 1. Упругая система 3 связывает желоб с опорной рамой 4. На частицу материала весом G , расположенную на грузонесущем желобе, действуют в горизонтальном направлении: продольная составляющая веса $G_{\text{г}}$, составляющая силы инерции $F_{\text{н}}$ и сила трения $F_{\text{тр}}$; в вертикальном направлении: нормальная составляющая веса $G_{\text{н}}$, нормальная составляющая силы инерции $F_{\text{н}}'$ и нормальная реакция плоскости R . Режим колебаний, при котором максимуму $F_{\text{н}}$ соответствует минимум R , создает наилучшие условия движения частицы материала в горизонтальном направлении, при этом исключается проскальзывание ее в противоположную сторону. В тех случаях, когда $F_{\text{н}} > G_{\text{н}}$, частица периодически отрывается от поверхности желоба и перемещается скачкообразно (траектория показана штриховой линией).

Основные узлы вибрационного конвейера: грузонесущий элемент, упругие элементы, привод.

Грузонесущий элемент может быть выполнен в виде труб различного сечения (круглого, прямоугольного) или желобов (закрытых, открытых). Их изготовляют из листовой высококачественной малоуглеродистой или специальной стали. Для повышения износостойкости внутреннюю поверхность покрывают резиной, пластмассой и т.п. При транспортировании материалов, имеющих высокую температуру, применяют воздушное и водяное охлаждение. Грузонесущие элементы снабжены устройствами для их загрузки и разгрузки, а также приспособлениями для установки привода и крепления упругих элементов.

Упругие элементы, предназначенные для передачи направленных колебаний от привода грузонесущему элементу, выполняют металлическими, резиновыми, пневматическими и комбинированными. Металлические упругие элементы изготовляют в виде стальных листовых рессор и цилиндрических спиральных пружин, резиновые — резинометаллических пакетов и шарниров, пневматические — резинокордовых оболочек, заполненных сжатым воздухом. Наиболее перспективно применение резинометаллических пакетов, обеспечивающих большие амплитуды колебаний и срок службы.

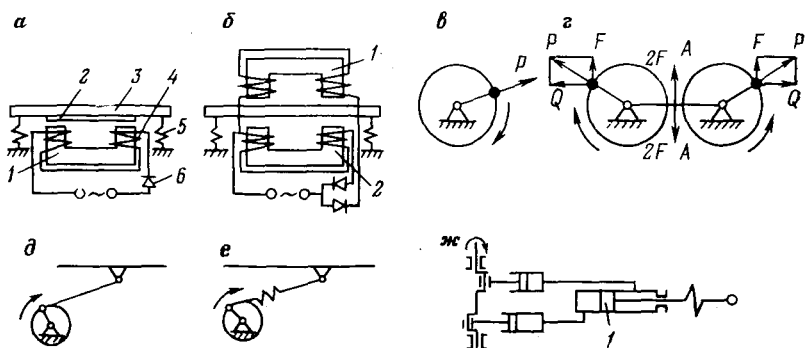


Рис. 15. Схемы вибровозбудителей

Привод — совокупность устройств для возбуждения механических колебаний, их преобразования и передачи грузонесущему элементу конвейера. В качестве привода используют следующие вибровозбудители.

Электромагнитные вибровозбудители — одно- и двухтактные. Однотактный вибровозбудитель (рис. 15, а) состоит из статора — электромагнита 1 с обмотками 4, присоединенными через однополупериодный выпрямитель 6 к сети переменного тока, якоря 2, поперечины 3, упругих элементов — пружин 5. Колебательные движения статора и якоря электромагнита возникают в результате действия пульсирующей силы магнитного притяжения в статоре электромагнита при питании его катушек переменным током. Однополупериодный выпрямитель позволяет получить при частоте 50 Гц 3 тыс. колебаний в минуту. Преимущества однотактных вибровозбудителей — малые габариты и масса; недостаток — небольшая мощность. Их применяют для вибрационных конвейеров и питателей с малой производительностью (до 20 м³/ч).

В двухтактном вибровозбудителе (рис. 15, б) возвратно-поступательное движение происходит под действием двух электромагнитов 1, 2, один из которых создает притягивающую силу, а второй отталкивающую, а затем наоборот. Такие вибровозбудители применяют для двухмассовых питателей и конвейеров тяжелого типа подвесной конструкции; их недостаток — большие габариты и масса.

Вибрационные питатели и конвейеры с электромагнитным приводом конструкции Механобра имеют производительность 50—650 т/ч при мощности вибровозбудителей 0,5—8 кВт, амплитуде колебаний 0,625—1,25 мм и частоте колебаний 3 тыс. мин⁻¹.

Преимущества электромагнитных вибровозбудителей: отсутствие трущихся и вращающихся частей, возможность плавного

регулирования производительности, простота эксплуатации. Недостатки: значительное снижение производительности при падении напряжения в питающей сети, ограниченное применение при транспортировании пылевидных материалов.

Инерционные (центробежные) вибровозбудители бывают одинарные дебалансные (рис. 15, в) и вдвоенные (рис. 15, г). В таких вибровозбудителях возмущающая сила создается вращением одной или нескольких неуравновешенных масс. В одинарных вибровозбудителях возмущающая сила P непрерывно изменяет направление, в вдвоенных имеет одно направление. Последнее обеспечивается тем, что дебалансы вращаются в противоположных направлениях с одинаковой угловой скоростью. Составляющие Q сил инерции уравниваются, а составляющие F суммируются и дают возмущающую силу по направлению $A - A$, перпендикулярному к линии, соединяющей центры вращения дебалансов.

Инерционные вибровозбудители применяют для подвесных и опорных конвейеров и питателей. Преимущества: простота конструкции, малый шум при работе, возможность получения большого диапазона частот и возмущающих сил. Недостаток — небольшой срок службы опорных подшипников.

Эксцентрикковые (кривошипно-шатунные) вибровозбудители бывают с жестким (рис. 15, д) и упругим (рис. 15, е) шатуном. Их применяют на однотрубных и уравновешенных двухтрубных конвейерах. Преимущества: возможность получения больших диапазонов амплитуды (до 15 мм) и частоты колебаний (от 400 до 800 мин⁻¹). Недостаток — ускоренное изнашивание опорных подшипников.

Поршневые вибровозбудители бывают гидравлическими и пневматическими; возмущающее воздействие в них создается давлением жидкости или воздуха на поршень. Гидравлический вибровозбудитель (рис. 15, ж) в первой половине хода подает жидкость с одной стороны поршня I и одновременно откачивает — с другой, затем направление подачи и откачивания жидкости изменяется. Преимущества: малые габариты при больших возмущающих усилиях, возможность выноса вибровозбудителя за пределы конвейера. Недостаток — сложность в эксплуатации.

§ 24. Эксплуатационный расчет вибрационных конвейеров

Эксплуатационный расчет заключается в выборе параметров и типа конвейера по заданным значениям: грузопотока, длины транспортирования, угла наклона трассы и характеристики транспортируемого материала.

Для вибрационных конвейеров амплитуду и частоту колебаний выбирают по табл. 3 с таким расчетом, чтобы обеспечить режим движения материала микробросками.

Таблица 3

Рекомендуемые значения амплитуды a
и частоты колебаний ω вибрационных конвейеров

Тип привода	ω , мин ⁻¹	a , мм, для материалов	
		пылевидных и порошко- образных	кусковых
Электромагнитный	3000	1,2—2	0,75—1
Инерционный одинарный	2800—1500	1,2—3	0,8—2,5
То же, сдвоенный	1500—1000	2—4	2—3
Эксцентриковый	800—450	5—15	4—8

Угол направления колебаний β принимают в зависимости от частоты колебаний ω : при $\omega \geq 1000$ мин⁻¹ $\beta = 20 \div 25^\circ$; при $\omega < 1000$ мин⁻¹ $\beta = 30 \div 35^\circ$.

Скорость v [м/с] транспортирования

$$v = 30Kg \cos(\beta - \alpha) / (\omega \operatorname{tg} \beta),$$

где $K = 0,6 \div 0,8$ — поправочный коэффициент на неучтенные сопротивления при движении материала; g — ускорение свободного падения, м/с²; α — угол наклона трассы конвейера к горизонту, градус; ω — частота колебаний, мин⁻¹.

Производительность Q [т/ч] виброконвейера

$$Q = 3600 F v \Psi C \rho,$$

где F — площадь сечения материала, м²; $\Psi = 0,8$ — коэффициент заполнения; C — коэффициент угла наклона, учитывающий снижение Ψ при наклонном транспортировании из-за скатывания материала, $C = 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4$ соответственно при $\alpha = +10; +5; 0; -5; -10^\circ$; ρ — плотность материала, т/м³.

Мощность электродвигателя N [кВт] определяют из соотношения

$$N = Q (\omega_{\text{общ}} l_{\text{гор}} \pm h) k_{\text{реж}} / (360 \eta),$$

где $\omega_{\text{общ}} = 0,05 \div 0,08$ — коэффициент общего сопротивления движению; $l_{\text{гор}}$ — горизонтальная проекция трассы, м; h — вертикальная проекция трассы; т. е. разность отметок высоты начала и конца трассы, м; $k_{\text{реж}} = 1$ — коэффициент режима; $\eta = 0,8 \div 0,85$ — КПД конвейера.

КОВШОВЫЕ ЭЛЕВАТОРЫ

§ 25. Общие сведения

Ковшовые элеваторы предназначены для транспортирования насыпных материалов по вертикальному или крутонаклонному ($60\text{—}85^\circ$ к горизонту) направлению. Принцип действия — перемещение материала в ковшах, прикрепленных к тяговому органу.

Элеватор состоит из: тягового органа, ковшей, привода, кожуха, загрузочного башмака, натяжного устройства, предохранительных устройств.

Ковшовые элеваторы применяют на обогатительных фабриках для перемещения пылевидных, зернистых и кусковатых материалов. Их используют для подъема материалов от начального до конечного пункта без промежуточной загрузки и разгрузки.

Загрузку ковшей зачерпыванием (рис. 16, а) применяют при транспортировании мелкокусковатого и малоабразивного материала. Крупнокусковатые и абразивные мелкокусковатые материалы загружаются засыпанием в ковши (рис. 16, б). При такой загрузке ковши располагают на тяговом органе вплотную (сомкнутые ковши). Может применяться и комбинированная загрузка.

Разгрузка ковшей происходит при огибании ими верхнего барабана или звездочек. Для тихоходных элеваторов применяют гравитационную свободную (рис. 16, в) или направленную (см. рис. 16, б) разгрузку, а для быстроходных — центробежную (см. рис. 16, а). Ковши быстроходных элеваторов устанавливают на некотором расстоянии друг от друга, чтобы полету материала не мешал впереди расположенный ковш. В некоторых конструкциях применяют центральную разгрузку (рис. 16, г) и фасонные ковши.

Лента или цепь с укрепленными на ней ковшами называется ковшовой, а расстояние между ковшами — шагом ковшей.

Основные достоинства элеваторов: возможность транспортирования материала в вертикальном направлении и под большим углом наклона; малые размеры в плане; большая производительность.

Недостатки: большая масса; меньшая надежность по сравнению с ленточными конвейерами; трудности при транспортировании крупнокусковатых материалов; возможность отрыва ковшей при перегрузке; необходимость равномерной подачи материала.

Обезвоживающие элеваторы предназначены для транспортирования продуктов обогащения угля с одновременным обезво-

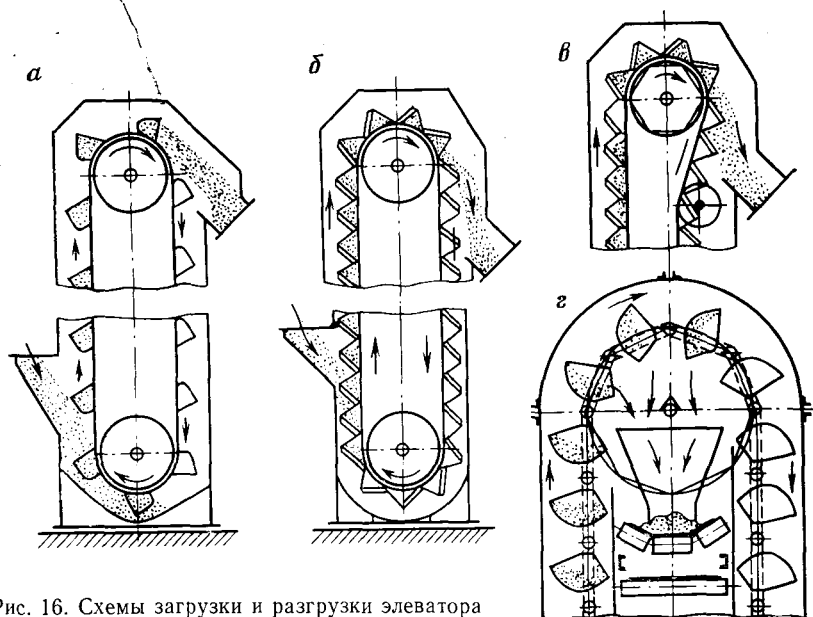


Рис. 16. Схемы загрузки и разгрузки элеватора

живанием. Они нашли применение на углеобогатительных фабриках в комплексе с отсадочными машинами или моечными желобами для предварительного обезвоживания. Крупность транспортируемых продуктов обогащения 0,5—150 мм. Время обезвоживания на элеваторах составляет: для крупного материала 20—25 с при скорости 0,25—0,3 м/с (при длине 5—7 м); для мелкого — 40—50 с при скорости 0,15—0,18 м/с (при длине 6—8 м). Обезвоживающие элеваторы имеют некоторые конструктивные особенности по сравнению с транспортирующими. Нижняя часть ковшовой ленты их заключена в герметичный кожух и заполнена водой, верхняя — открыта. Ковши при движении зачерпывают из башмака материал.

Багер-элеватор — разновидность обезвоживающих элеваторов. Они предназначены для транспортирования с одновременным обезвоживанием продуктов обогащения угля из багер-зумпфов, предварительного обезвоживания концентрата, рядового угля при гидродобыче, а также для транспортирования шлама. Их отличительной конструктивной особенностью является то, что нижняя открытая часть элеваторов устанавливается в багер-зумпфе, что позволяет воде из ковшей попадать не в нижнюю часть герметичного кожуха, как у обезвоживающих элеваторов, а обратно в багер-зумпф.

Ковшовые элеваторы специального типа (фирма «Шенк и Беумер», ФРГ) предназначены для транспортирования абразивных руд, легкоразрушающихся (окатыши, брикеты) и горячих

(клинкер, агломерат) материалов. Они изготовлены с фасонными («карманными») ковшами с центральной гравитационной загрузкой и разгрузкой. Ковши изготавливают из резины, пластмассы или стали и крепят вплотную друг к другу. Преимущество этих элеваторов — загрузка без черпания материала непосредственно в ковши, что уменьшает сопротивление при загрузке и способствует сохранности материала. Недостаток — усложненная конструкция.

§ 26. Устройство ковшовых элеваторов

Ковшовый элеватор монтируется из отдельных свариваемых друг с другом секций (приводной, натяжной, промежуточной, разъемной, секции с датчиком скорости). Натяжная секция с помощью двух опор устанавливается на фундаменте и закрепляется болтами. В эту секцию загружается материал. За ней устанавливается промежуточная разборная секция со съемными крышками и боковинами, предназначенными для осмотра, ремонта, монтажа и демонтажа тяговых органов с ковшами.

Секция с датчиком скорости устанавливается между промежуточной и приводной секциями. На секции устанавливается индуктивный датчик, предназначенный для контроля за движением ковшовой ленты.

Ковшовый элеватор (рис. 17) состоит из замкнутого тягового органа 1, к которому жестко прикреплены ковши 2. Тяговый орган огибает верхний приводной 5 и нижний натяжной 9 барабаны (или звездочки). Тяговый орган с ковшами и поворотные устройства помещены в закрытом металлическом кожухе, состоящем из приводной 6, промежуточных 4 (со смотровым люком 3) и натяжной («башмака») 10 секций. Тяговый орган приводится в движение от привода 12, а необходимое натяжение создается натяжным устройством 8. Насыпной материал подается в загрузочный патрубок («носок») нижней части элеватора, загружается в ковши, поднимается в них и разгружается на верхнем барабане (звездочке) в патрубок верхней части элеватора. Привод оборудован остановом 11 для предохранения от обратного движения ходовой части. Кожух элеватора имеет направляющие устройства 7.

Тяговый орган. В качестве тягового органа применяют ленту или цепь (одну или две).

Ленты применяют конвейерные резинотканевые и резинотросовые такого же типа, как для ленточных конвейеров (см. гл. 4). Ковши крепят к ленте болтами со специальной головкой таким образом, чтобы головки болтов не мешали прохождению ленты на барабанах. Ширина ленты должна быть на 25—150 мм больше ширины ковша; шаг ковшей — в 2—3 раза больше высоты ковша.

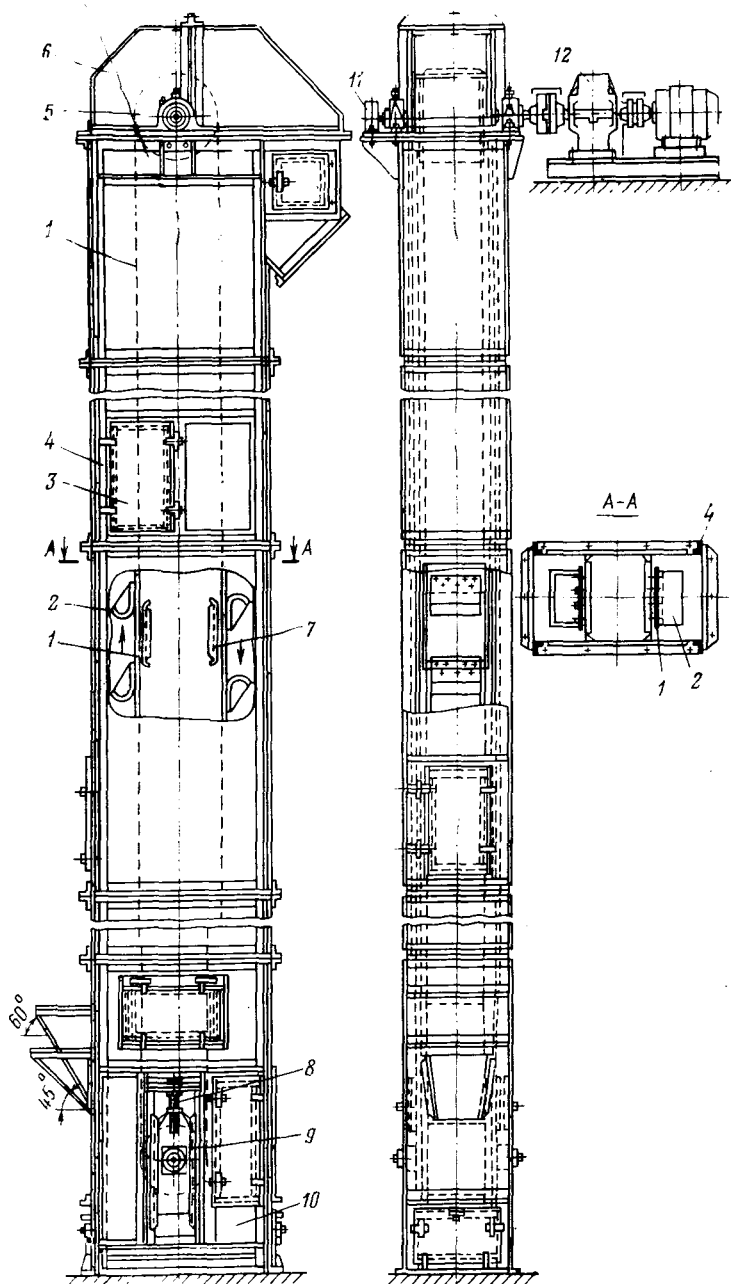


Рис. 17. Вертикальный ковшовый ленточный элеватор

Цепи применяют пластинчатые, втулочные, роликовые и катковые с шагом 100—630 мм и сварные высокопрочные круглозвенные из круглой стали диаметром 16—28 мм с термической обработкой звеньев. Выбор типа цепи (пластинчатой или круглозвенной) обуславливается главным образом характеристикой транспортируемого материала. Цепи к ковшам крепят с помощью уголков или фасонных звеньев на болтах или заклепках. Применяют одну тяговую цепь с центральным креплением при ширине ковшей до 250 мм и две тяговые цепи при ширине ковша 320 мм и выше. Шаг ковшей на цепных элеваторах равен шагу цепи или кратен ему.

На выбор ленты или цепи оказывают влияние такие факторы, как производительность, высота подъема и характеристика материала. Ленты применяют преимущественно в быстроходных элеваторах, транспортирующих пылевидные, порошкообразные и мелкокусковые насыпные материалы малой и средней плотности, которые не оказывают большого сопротивления при загрузке зачерпыванием. Цепи применяют в основном при большой производительности, значительной высоте (40—55 м) подъема, для перемещения тяжелых кусковых, а также горячих материалов.

Для транспортирования абразивных материалов применяют, по возможности, ленточные элеваторы, поскольку цепи в абразивной среде быстро изнашиваются.

Ковши. Основные параметры ковша определяются геометрическими размерами (шириной B , вылетом L и высотой H) и вместимостью. При выборе ковша необходимо учитывать свойства транспортируемого материала и способы загрузки и разгрузки ковшей.

Для вертикальных элеваторов применяют четыре типа ковшей: глубокие (индекс Г), мелкие (М), со скругленным (цилиндрическим) днищем с бортовыми направляющими (С), остроугольные с бортовыми направляющими (О). В наклонных элеваторах применяют ковши с бортовыми направляющими с остроугольным и скругленным днищем, а также трапециевидные ковши увеличенного объема.

Ковши обезвоживающих элеваторов имеют отверстия для стока воды.

Привод элеватора расположен в верхней части элеватора в приводной секции и состоит из электродвигателя, турбомуфты, редуктора, останова со съемной рукояткой, приводного вала с барабаном (звездочками), рамы и кожуха. Останов предназначен для стопорения груженой ковшовой ленты при обратном ходе.

Натяжное устройство расположено в натяжной секции («башмаке»). Оно может быть винтовым, пружинно-винтовым и грузовым. Тип натяжного устройства зависит от типа тягово-

го органа, привода и высоты элеватора. Натяжное устройство размещают на валу нижнего барабана (или звездочки) и крепят к боковым стенкам башмака элеватора. Основное натяжение тягового органа создается собственной массой, поэтому применяют винтовые устройства с малым ходом (200—500 мм) и малой силой натяжения.

«Башмак» служит для загрузки элеватора и может быть с высоким расположением загрузочного носка (с днищем под углом 60°) при транспортировании влажных плохо сыпучих грузов или низким (с днищем под углом 45°) — для сухих хорошо сыпучих грузов. Для удобства обслуживания и ремонта «башмак» имеет в боковых стенках люки с герметичными дверцами.

Предохранительные устройства. С целью предохранения ходовой части элеватора от падения при обрыве цепи или ленты применяют предохранительные устройства в виде ловителей цепи (на цепных элеваторах) и соединений ковшей по боковым стенкам стальными канатами (на ленточных элеваторах). Кроме того, на элеваторах устанавливают реле скорости, отключающее электродвигатель привода элеватора при обрыве тягового органа.

§ 27. Эксплуатационный расчет ковшовых элеваторов

Тип элеватора и форму ковшей выбирают в зависимости от характеристики транспортируемого материала (табл. 4) и заданной производительности.

Производительность Q [т/ч] ковшового элеватора

$$Q = 3,6 (i_0/t_k) v \rho \Psi,$$

где i_0 — геометрический полезный объем ковша, выбираемый по каталогам заводов-изготовителей, л; t_k — шаг ковшей, м; v — скорость движения ленты или цепи, м/с; ρ — плотность материала, т/м³; Ψ — коэффициент заполнения ковша.

Из этого уравнения определяют линейный объем ковшей i_0/t_k [л/м] и по табличным данным находят объем, шаг ковшей, а затем их размеры. Вылет L ковша проверяют по наибольшему размеру a типичных кусков: для рядовых материалов $L \geq (2 \div 2,5) a$; для сортированного материала $L \geq (4 \div 5) a$.

Тяговый расчет элеватора выполняют последовательным суммированием сопротивлений на отдельных участках контура трассы так же, как и для пластинчатого конвейера. При вертикальной установке элеватора силы трения на прямолинейных участках не учитываются. Сопротивления на концевых звездочках (или барабанах) определяются так же, как и при расчете пластинчатых и ленточных конвейеров.

Рекомендации по выбору ковшевых элеваторов

Материал		Тип элеватора	Тип ковшей	Средний коэффициент заполнения ковшей φ	Скорость, м/с	
Характеристика	Пример				ленты	цепи
Пылевидный, сухой Пылевидный и зернистый, влажный, плохо сыпучий Зернистый и мелкокусковатый, малоабразивный	Угольная пыль	Тихоходный со свободной гравитационной разгрузкой	Г	0,85	—	0,6—0,8
	Цемент, фосфоритная мука	Быстроходный с центробежной разгрузкой	Г	0,8	1,25—2	—
	Земля, песок, мел в порошке, химикаты	То же	М	0,6	1—2	0,8—2
	Глина в комках, ферозерный торф, мелкий уголь	То же	Г	0,8	1,25—2	1—1,6
	Шламовая известь, сажа	Тихоходный с гравитационной разгрузкой	Г	0,8	—	0,4—1
Зернистый и мелкокусковатый, сильноабразивный	Гравий, руда, шлаки	Тихоходный с гравитационной направленной разгрузкой	О; С	0,8	0,4—0,8	0,4—0,63
	Песок, зола, земля, порода	Быстроходный с гравитационной направленной разгрузкой	Г	0,8	1—2	—
Среднекусковатый, малоабразивный	Каменный уголь	Тихоходный с гравитационной направленной разгрузкой	О; С	0,7	—	0,4—0,63
	Камень, руда, шлаки	То же	О; С	0,7	—	0,4—0,63
Среднекусковатый, сильноабразивный Кусковой хрупкий, не допускающий крошения	Древесный уголь, окатыши, брикеты	»	О; С	0,6	0,4—0,63	0,4—0,63

При загрузке ковшей зачерпыванием тяговый орган испытывает дополнительное сопротивление W_3 , которое приближенно можно определить по формуле

$$W_3 \approx K_3 q_r,$$

где K_3 — коэффициент зачерпывания, выражающий удельную работу, затрачиваемую на зачерпывание материала, Н·м/Н; $q_r = gQ/(3,6v)$ — погонная сила тяжести груза, Н/м.

При скорости ковшей 1—1,25 м/с для порошкообразных и мелкокусковых насыпных материалов $K_3 = 1,25 \div 2,5$ Н·м/Н; для среднекусковых — $K_3 = 2 \div 4$ Н·м/Н. Массу лент, цепей и ковшей принимают по паспортам заводов-изготовителей.

Для элеваторов с фрикционным приводом наибольшее натяжение $S_{\max} = S_{\text{нб}}$ должно быть проверено по сцеплению ленты с приводным барабаном согласно общей теории фрикционного привода (см. гл. 4).

Мощность электродвигателя ковшового элеватора определяют по формуле (6).

Глава 8

КАНАТНЫЙ ТРАНСПОРТ

§ 28. Канатный транспорт по рельсовым путям

Канатным транспортом называются транспортные устройства, перемещающие грузы в вагонетках с помощью тягового каната и лебедки по рельсовым путям, либо по натянутому несущему канату или рельсу, смонтированным на опорах.

Существуют два вида канатной тяги: концевым канатом или канатом, замкнутым в петлю (бесконечным канатом).

Одиночные вагоны или составы откатывают по наземным рельсовым путям концевым канатом с помощью двух однобарабанных или одной двухбарабанной лебедки.

В первом случае канат одной из лебедок (головной канат) прикрепляется к передней вагонетке груженого состава, а канат второй лебедки (хвостовой канат) к задней вагонетке. Лебедки включают по очереди для передвижения в одном направлении груженых, а затем в обратном направлении порожних вагонеток. В конечных пунктах укладываются два пути (для груза и порожняка), здесь же происходит перецепка каната от прибывшего состава к отправляющемуся. Такая схема откатки с челноковым движением вагонеток применяется на горизонтальных участках.

При транспортировании двухбарабанной лебедкой по однопутному пути канат наматывается на один из барабанов, а с

другого сматывается. В этом случае груженные и порожние вагонетки движутся поочередно. При двух рельсовых путях груженные и порожние вагонетки движутся одновременно по двум параллельным путям во встречном направлении.

При откатке по наклонным путям вагонетки поднимаются лебедкой, а спускаются — под действием собственной силы тяжести.

На обогатительных фабриках откатка концевым канатом применяется для направления вагонеток с породой в отвал, их подъема по наклонным эстакадам и пр.

При откатке с помощью бесконечного каната (замкнутого в петлю) последний приводится в движение непрерывно вращающимся шкивом и перемещает вагонетки, прикрепленные к нему специальными прицепными устройствами. Вагонетки по одной прицепляются к канату и отцепляются от него на ходу. Откатка производится по двум путям: по одному движутся груженные вагонетки, по другому — порожние.

§ 29. Подвесные канатные дороги

Для подвесных канатных дорог применяют как концевой тяговый канат, так и бесконечный. Функции рельсов выполняют несущие канаты. Подвесные канатные дороги бывают однокольные и двухколейные (т. е. с одним или двумя несущими канатами).

Схема двухколейной подвесной канатной дороги с маятниковым движением вагонеток подобна схеме наземной двухколейной канатной откатки. Между пунктами загрузки и разгрузки вагонеток на опорах подвешены два несущих каната, по которым во встречных направлениях движутся вагонетки с помощью тягового каната и двухбарабанной лебедки.

На однокольных дорогах по несущему канату перемещаются поочередно в одном направлении груженные вагонетки, а в обратном — порожние. Загружаются и разгружаются вагонетки в конечных пунктах на дороге челнокового действия без отцепки их от тягового каната.

При работе подвесной канатной дороги с бесконечным тяговым канатом один конец каждого из несущих канатов закреплен, а к другому подвешены грузы, которые обеспечивают постоянное натяжение каната с нужной силой. На пунктах загрузки и разгрузки к несущим канатам примыкают изогнутые жесткие рельсы, позволяющие осуществить непрерывное кольцевое движение вагонеток. Тяговый канат приводится в движение лебедкой с желобчатым шкивом; в противоположном конце установлено натяжное устройство каната.

Подвесные канатные дороги (рис. 18) могут иметь различный профиль с горизонтальными и наклонными (до 45°) участками; допускаются повороты оси дороги в плане.

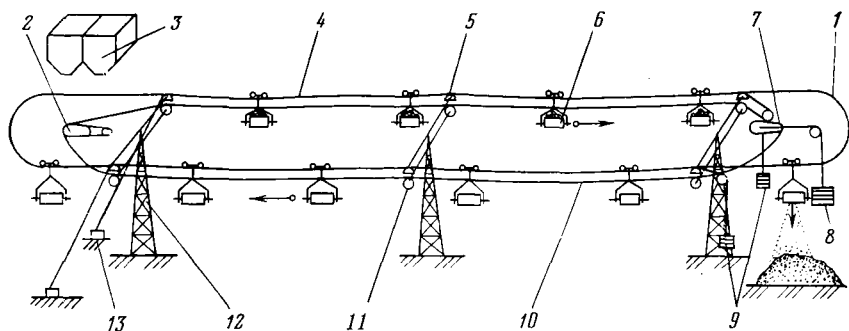


Рис. 18. Схема подвесной двухканатной кольцевой дороги:

1 — криволинейный рельс; 2 — ведущий шкив; 3 — загрузочный бункер; 4 — несущий канат; 5 — опорные башмаки; 6 — вагонетка; 7 — натяжной шкив; 8 — грузы натяжения тягового каната; 9 — грузы натяжения несущего каната; 10 — тяговый канат; 11 — роликоопоры тягового каната; 12 — опора; 13 — фундаменты для закрепления концов несущего каната

Загруженные вагонетки прицепляются к тяговому канату и доставляются к разгрузочному пункту, где они автоматически отцепляются от каната, разгружаются опрокидыванием кузова, прогоняются по криволинейному жесткому рельсу вспомогательными механическими устройствами (или вручную) к месту прицепки к тяговому канату. Порожние вагонетки отцепляются от каната при подходе к погрузочному пункту, прогоняются по криволинейному жесткому рельсу, загружаются и отправляются к разгрузочному пункту.

Подвесные канатные дороги применяют для транспортирования сырья на обогатительных фабриках в условиях сильнопересеченной местности и для подачи породы в отвал.

§ 30. Основные элементы канатных транспортных устройств

К основным элементам канатных дорог относятся: опоры, канаты, вагонетки, лебедки.

Опоры для навешивания несущих канатов выполняют в виде сварных металлических, железобетонных или деревянных мачтовых конструкций. Высота опор составляет 10—15 м, расстояние между ними 100—150 м. Несущие канаты свободно лежат в башмаках, смонтированных на мачтах. Тяговые канаты поддерживаются роликами, установленными на мачтах. Тяговые канаты наземных откаточных установок опираются на ролики, устанавливаемые между рельсами на расстоянии 10—15 м друг от друга.

Канаты (тяговые) подвесных и наземных канатных установок круглые стальные. Изготавливают их следующим обра-

зом: стальные проволоки свивают в пряди (стренги), а пряди — в канат вокруг центрального сердечника. Диаметр проволок 1—2,5 мм, предел прочности 1300—1800 МПа.

Вагонетки. Основные элементы вагонетки подвесной канатной дороги: кузов, тележка со сцепным прибором и подвеска. Кузов вагонеток удерживается в вертикальном положении защелкой, которая в месте разгрузки откидывается и кузов опрокидывается. Подвеска, связанная с тележкой шарнирно, обеспечивает вертикальное положение при любом профиле канатной дороги.

Тележки в зависимости от грузоподъемности (250—1500 кг) могут быть двух- и четырехколесными.

Сцепные устройства зажимают тяговый канат в пункте прицепки вагонетки и автоматически освобождают канат в пункте отцепки вагонеток.

Лебедки. Для концевых канатных наземных и подвесных дорог в качестве привода применяют одно- и двухбарабанные лебедки с электроприводом. Для установок с бесконечным канатом используются лебедки с приводными шкивами, передающими канату тяговое усилие трением. Для увеличения передаваемого усилия применяют многоохватные и многожелобчатые шкивы. Многоохватный шкив имеет обод специального профиля, обхватываемый канатом 1,5—2,5 раза.

Многожелобчатый шкив имеет несколько желобов (до трех), канат из одного желоба приводного шкива в другой переводится направляющими шкивами. Приводной шкив связан с электродвигателем через зубчатую передачу; направляющие шкивы с электродвигателем не связаны.

Лебедка имеет один приводной шкив с углом обхвата 180°, т. е. более проста и компактна по сравнению с лебедками, имеющими многожелобчатые шкивы.

§ 31. Основы расчета канатного транспорта

Производительность канатного транспорта зависит от числа вагонеток в составе и от продолжительности T_p [с] рейса, которая для установки с одним рабочим канатом определяется по формуле

$$T_p = 2L/v_{cp} + t' + t'',$$

где L — длина ветви каната, м; v_{cp} — средняя скорость движения вагонеток, м/с; t' — продолжительность движения состава, с; t'' — суммарная продолжительность остановок в двух конечных пунктах, с.

Для наземных рельсовых дорог $v = 1,5 \div 2,5$ м/с, а для канатных подвесных $v = 2 \div 2,7$ м/с. Средняя скорость движения

$v_{\text{ср}}$ принимается с учетом снижения на 10—15% скорости в период разбега и замедления по сравнению со скоростью v при установившемся движении, т. е.

$$v_{\text{ср}} = (0,9 \div 0,85) v.$$

Продолжительность остановки в конечных пунктах зависит от организации погрузки, разгрузки и обмена вагонеток.

При откатке двухконцевым канатом продолжительность рейса

$$T_p = L/v_{\text{ср}} + t_1,$$

где t_1 — продолжительность остановки в одном из конечных пунктов, с.

Следует учитывать, что движение груженных и порожних вагонеток происходит в одно и то же время, а остановка для обмена или разгрузки вагонеток в одном из конечных пунктов совпадает с остановкой для производства необходимых операций в другом пункте.

Число рейсов в час равно $3600/T_p$. За каждый рейс состав из z вагонеток массой G [кг] каждая доставляет груз массой $zG/1000$ [т].

Часовая производительность Q [т/ч] откатки

$$Q = \frac{3600}{T_p} \frac{zG}{1000} = \frac{3,6zG}{T_p}.$$

При заданной производительности можно определить число вагонеток в составе:

$$z = QT_p / (3,6G),$$

а при откатке одиночных вагонеток ($z=1$) находят грузоподъемность G [кг] вагонетки:

$$G = QT_p / 3,6.$$

При откатке по наземным и подвесным дорогам бесконечным канатом вагонетки через определенные промежутки времени t_0 [с] прицепляются к канату в одном из конечных пунктов и отцепляются в противоположном пункте. В течение часа установка пропускает $3600/t_0$ вагонеток. Часовая производительность Q [т/ч] установки при грузоподъемности вагонетки G [кг]

$$Q = 3600 G / (t_0 1000) = 3,6 G / t_0.$$

По заданной производительности из этого уравнения находят

$$t_0 = 3,6 G/Q.$$

Расстояние a_0 [м] между вагонетками

$$a_0 = vt_0,$$

число z вагонеток на каждой ветви каната длиной L

$$z = L/a_0.$$

Скорость движения вагонеток наземных дорог с бесконечным канатом составляет 0,5—1 м/с, а для подвесных канатных дорог — 1,5—2,75 м/с. Минимальное время на прицепку вагонеток наземных дорог $t_0 = 20 \div 30$ с; для подвесных дорог большой производительности $t_0 = 15 \div 18$ с.

Найдя число вагонеток на канате z , определяют максимальное натяжение каната, его диаметр, а затем тяговое усилие и мощность электродвигателя.

Раздел II

БУНКЕРНОЕ И СКЛАДСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Глава 9

БУНКЕРА И БУНКЕРНЫЕ ЗАТВОРЫ

§ 32. Общие сведения

Бункером называют емкость для временного хранения сыпучих и кусковатых материалов, разгружающихся через нижнюю часть, оборудованную затворами или питателями. Бункера устанавливают в общей цепи транспортного и технологического оборудования обогатительных фабрик. Загружают бункера через открытый верх или загрузочные отверстия; разгружают через отверстия в днище или внизу боковых стенок. Для закрывания и открывания выпускных отверстий бункеров служат бункерные затворы. В некоторых случаях они предназначены также для регулирования выходящего через них потока насыпного груза. Движение груза по бункеру от места загрузки до места разгрузки и истечение через разгрузочные отверстия происходят под действием силы тяжести груза.

Наличие бункеров в общей цепи транспортного и технологического оборудования обеспечивает независимость его работы в целесообразных режимах. Время работы сопряженных транспортных машин и технологического оборудования наряду с их производительностью определяет требуемую вместимость бункеров.

Бункера могут быть также распределительными — для распределения продукта от одного высокопроизводительного технологического агрегата на несколько агрегатов меньшей производительности; усреднительными — для усреднения поступающего на фабрику исходного продукта; индивидуальными — обеспечивающими непрерывную работу отдельных агрегатов обогатительной фабрики.

§ 33. Конструкции бункеров и бункерных затворов

Бункер состоит из двух основных частей — верхней (корпуса), образованной вертикальными стенками, и нижней, выполненной в виде воронки, стенки которой обеспечивают самотеч-

ную разгрузку материала через люк. По форме поперечного сечения корпуса бункера бывают прямоугольными, круглыми и многогранными. Обычно применяют пирамидальные бункера (сочетание прямоугольной призмы и пирамиды). С целью удобства и быстроты загрузки, а также размещения двух или нескольких выпускных отверстий бункера большой вместимости делают удлиненной формы с перегородками, разделяющими их на ячейки, или устанавливают бункера параллельно в два или более рядов. Увеличение числа разгрузочных воронок ведет к увеличению числа питателей, что усложняет условия эксплуатации бункерного устройства.

Бункера изготавливают из металла, бетона, железобетона, дерева и комбинированными. Наибольшее распространение на обогатительных фабриках получили бункера со стенками из листовой стали и каркасом из профильной стали сварной или клепаной конструкции, а также железобетонные. Бункера устанавливают на колоннах или внутри здания.

Для улучшения условий истечения материала, предохранения от механических повреждений и износа стенок бункеров их облицовывают съемными стальными плитами, специальным износостойким стеклом.

Для обеспечения полной самотечной выгрузки материала из бункера угол наклона стенок бункерной воронки должен быть больше угла трения покоя сыпучего материала. Рекомендуемые углы наклона стенок пирамидальных воронок с облицовкой стальными плитами: для кусковатых угля и руды 45—50°; для сухих мелких материалов 50—55°; для угольной пыли до 60°.

Для разгрузки бункера отверстия располагают по центру днища и сбоку по одну или по обе стороны.

Для разгрузки железнодорожных вагонов применяют щелевые бункера, которые имеют форму длинных призматических оболочек с продольной щелью в нижней части по всей длине бункера.

К *бункерным затворам* предъявляются следующие требования: удобство маневрирования, быстроедействие, плотность закрывания, возможность регулирования потока материала, минимальные возможные габариты, простая и прочная конструкция, возможность автоматического управления.

Привод бункерных затворов может быть ручным и механическим (электрическим, пневматическим, гидравлическим). Наибольшие преимущества имеют приводы прямого действия — пневматические и гидравлические.

По принципу действия бункерные затворы разделяются на две группы: отсекающие поток материала (шиберные, секторные) и создающие подпор (лотковые).

Для легких, хорошо сыпучих мелких и среднекусковатых материалов применяют ш и б е р н ы е (плоские) затворы с го-

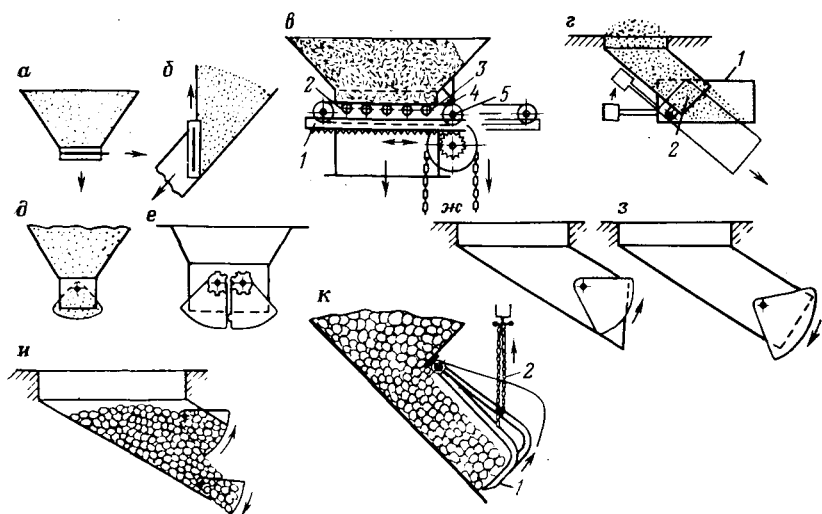


Рис. 19. Схемы бункерных затворов

горизонтальным (рис. 19, а), наклонным или вертикальным (рис. 19, б) расположением. Разновидность плоского затвора — ленточный гусеничный затвор (рис. 19, в), состоящий из бесконечной конвейерной ленты 2, подвижной рамы 1 с двумя барабанами 5, опорных роликов 3. При передвижении рамы в ту или другую сторону выпускное отверстие 4 закрывается или открывается.

Бункерные затворы лоткового типа (рис. 19, г) создают подпор поворотом шарнирного лотка 1. Они при закрывании выпускного отверстия 2 не защемят кусков материала и допускают регулирование потока материала изменением угла наклона лотка.

Секторные затворы (рис. 19, д—и) более универсальны по сравнению с шиберными и применяются для мелких, легких и твердых тяжелых кусковых материалов. Открывают выпускное отверстие опусканием или подниманием затвора; закрывают, отсекая поток материала снизу или сверху. При отсекании потока материала сверху возможно попадание под затвор кусков материала, а вследствие этого неплотное закрытие выпускного отверстия.

Для тяжелых кусковых материалов следует применять закрывающиеся снизу вверх обратные затворы, которые лучше прямых выдерживают удары и давление крупных тяжелых кусков.

Разновидность секторного затвора — пальцевый затвор (рис. 19, к), состоящий из отдельных тяжелых, изогнутых и

заостренных на конце рычагов (пальцев) 1, подвешенных каждый на своей цепи 2. Пальцы при опускании проникают в толщу материала, а попав на крупный кусок, прижимают его к плоскости лотка, закрывая выпускное отверстие. При открывании затвора пальцы поднимаются цепями от одного привода.

§ 34. Основы расчета бункеров

Полезная вместимость V_n бункера и его геометрическая вместимость V_0 связаны соотношением $V_n/V_0 = \Psi$, где Ψ — коэффициент заполнения бункера, зависящий от его формы, размера и способа заполнения. Вместимость бункера измеряется в кубических метрах [м³] или тоннах [т].

При определении полезной вместимости бункера необходимо из геометрической вместимости вычесть незаполненный объем V_1 в верхней его части и объем V_2 материала, который не может самотеком разгрузиться через открытый нижний люк.

В соответствии с этим в общем случае

$$\Psi = \frac{V_n}{V_0} = \frac{V_0 - (V_1 + V_2)}{V_0} = 1 - \frac{V_1 + V_2}{V_0}.$$

Проектируя бункер, необходимо стремиться к тому, чтобы он имел возможно более высокий коэффициент заполнения и разгружался полностью самотеком.

В отдельных случаях, особенно для кусковатого тяжелого материала, бункер проектируют таким образом, чтобы часть материала оставалась на дне и служила защитным слоем, предохраняющим дно от ударов падающих кусков.

Коэффициент заполнения закрытого бункера меньше единицы, открытого — может быть и больше единицы. Для бункеров с одинаковыми размерами в плане коэффициент заполнения зависит от высоты курпуса, а при одинаковых размерах поперечного сечения и одинаковой высоте корпуса — от числа и расположения загрузочных люков.

Коэффициент заполнения бункера составляет в среднем 0,8—0,85.

Давление P реального сыпучего материала на стенки бункера вследствие трения частиц между собой и о стенки сосуда меньше давления «идеального сыпучего материала». Оно определяется по формуле

$$P = \rho ghK,$$

где ρ — плотность материала; g — ускорение свободного падения; h — глубина от верхнего уровня материала; K — коэффициент подвижности насыпного материала, $K = (1 - \sin \varphi) / (1 +$

$+\sin \varphi) < 1$; φ — угол внутреннего трения, приблизительно равный углу естественного откоса материала в покое.

Приведенная формула дает приближенное значение давления на стенки бункеров при небольшой их глубине (т. е. глубина которых не превышает их поперечных размеров). Для более глубоких бункеров необходимо учитывать силы трения материала о стенки, влияющие тем сильнее, чем больше коэффициент трения f груза о стенки и чем меньше гидравлический радиус поперечного сечения бункера $R = F/L$, т. е. чем меньше отношение площади поперечного сечения бункера F к его периметру L .

После определенной глубины бункера максимальное горизонтальное давление

$$P_{\max} = \rho g R / f$$

на стенки не возрастает и практически стабилизируется.

Максимальное вертикальное давление

$$P'_{\max} = \rho g R / (fK).$$

В связи с тем, что значения K и f изменяются примерно обратно пропорционально друг другу, для практических расчетов можно принимать $Kf \approx \text{const} \approx 0,2$. Тогда $P'_{\max} \approx \text{const} \approx 5 \rho g R$.

Для кусковых насыпных материалов с типичной крупностью a кусков наименьший размер b выпускного отверстия прямоугольной формы бункера должен быть:

для донных отверстий $b \geq (4 \div 5,5)a$;

для боковых отверстий с наклонным днищем $b \geq (4,5 \div 6)a$.

Для мелкокусковых материалов размеры выпускных отверстий принимают в зависимости от требующейся пропускной способности, но не меньше 300—400 мм.

§ 35. Эксплуатация бункеров

Обслуживание бункеров независимо от их назначения заключается в основном в их заполнении, управлении устройствами, служащими для подачи насыпного материала и его выгрузки.

Одно из основных требований, предъявляемых к бункерам, — беспрепятственная и полная самотечная выгрузка из них материала.

При симметрично расположенном выпускном отверстии сначала в движение приходит только столб сыпучего материала, находящийся над выпускным отверстием (рис. 20, а), — высыпается часть 1, имеющая форму конуса или клина (в зависимости от формы выпускного отверстия), затем расположенная над нею часть 2, имеющая форму эллипсоида, далее сдвига-

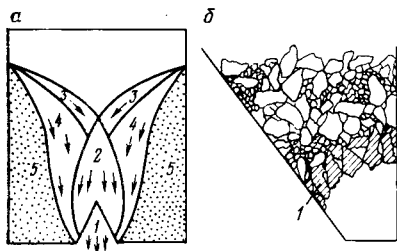


Рис. 20. Схемы процессов истечения насыпного груза из бункеров и сводообразования

ются части 3 и последними части 4. К моменту окончания процесса истечения в нижней части бункера образуется воронка из части 5 материала, заполняющего «мертвое» пространство. Для полного опорожнения бункера нижнюю часть стенок его делают наклонной. Наименьший угол наклона стенок зависит от коэффициента трения груза о стенку, возрастаая с его увеличением. Для сортированного угля этот угол составляет $45-50^\circ$, для мелкого угля 60° , для руды не менее 65° .

Представленный процесс истечения материала характерен для хорошо сыпучих материалов. Насыщенные водой сыпучие материалы (пульпа) при истечении из бункера опускаются равномерно по всему поперечному сечению. Такой характер истечения материала называют гидравлическим. При встряхивании бункера с помощью вибровозбудителей наблюдается гидравлический характер истечения сухих сыпучих материалов.

Разгрузка бункеров может нарушаться в результате сводообразования, заклинивания кусков в выпускном отверстии, зависания и смерзания материала.

В процессе эксплуатации бункеров наблюдаются явления сегрегации — самопроизвольное распределение загружаемого в бункер сыпучего материала по крупности.

Сворообразование (рис. 20, б) над выпускными отверстиями бункеров может происходить при хранении в них кусковых и мелких влажных и слеживающихся материалов. Своды из материала образуются в виде куполов или арок в результате случайного сводообразного расположения кусков 1 над выпускными отверстиями (для кусковых материалов) или в связи с поперечным распором под действием силы тяжести вышележащих слоев материала. Образующийся свод опирается на стенки суживающейся части бункера.

Заклинивание кусков наблюдается при несоответствии размеров выпускных отверстий и крупности материала.

Для ликвидации сводообразования и заклинивания применяют ручные и механические средства. Вручную свод разрушают через специальные отверстия в стенках бункеров. Обрушение сводов можно производить с помощью пневматических и вибрационных устройств, цепных шуровочных приспособлений.

Зависанием называют образование очагов слежавшегося материала, удерживающегося на наклонных стенках, неровностях внутри бункера и остающегося на них при открытом выпускном отверстии. Оно происходит при хранении материалов с большим содержанием мелочи (особенно класса ниже 3—5 мм) и влажных.

Более вероятно возникновение зависания материала при неравномерных загрузке и разгрузке бункера, так как при этом материал падает с большей высоты и в большей мере уплотняется, чем при равномерных загрузке и разгрузке.

Для исключения зависания материала внутреннюю поверхность бункера выполняют без выступов и неровностей, выпускные воронки облицовывают металлическими листами или изготовляют из металла, угол наклона стенок воронки принимают больше, чем для кусковатого материала.

При эксплуатации аккумулярующих бункеров, применяемых для усреднения рядовых углей, необходимо стремиться к равномерной загрузке по сечению бункера. Это может быть достигнуто перемещением загрузочного устройства над загружаемым бункером. Установлено, что коэффициент усреднения при загрузке в челноковом режиме достигает 34—40%, а при загрузке в одну точку 20—27%.

Глава 10

ПИТАТЕЛИ

§ 36. Общие сведения

Питателями называют механические устройства, предназначенные для регулирования потока груза при истечении его из бункера или воронки. Они снабжены электродвигателями с регулируемой частотой вращения; вариаторами скорости; кривошипами переменной длины. При погрузке на конвейер питатели применяют для придания потоку материала требуемого значения направленной скорости.

На обогатительных фабриках питатели применяют для дозирования кусковых материалов в дробилки, мельницы, на грохоты, а также в обогатительные машины предварительного или кускового обогащения для обеспечения равномерности подачи материала при заданной производительности.

Питатели, как правило, не требуют сооружения бункерных затворов, так как при их остановке они подпором удерживают материал от самопроизвольного высыпания через отверстие. Выгрузка насыпного материала из бункера с помощью питателей характеризуется активным воздействием их рабочих эле-

ментов на материал, что является важным в случае плохосыпучих материалов, истечение которых только под действием силы тяжести бывает затруднительным.

По принципу действия питатели разделяют на две группы — питатели, представляющие собой разновидность конвейеров, и питатели специального типа. К первой группе питателей относятся: ленточные, пластинчатые, винтовые, качающиеся и вибрационные; ко второй — барабанные, тарельчатые, цепные, плунжерные и др. Питатели отличаются от одноименных конвейеров меньшей длиной, более прочной и жесткой конструкцией, относительно повышенной мощностью электродвигателей, так как испытывают значительное давление материала под отверстием бункера или воронки, перемещают материал более толстым слоем и преодолевают большие сопротивления при движении. Вторая группа питателей предназначена только для выдачи груза непосредственно у отверстия бункера.

§ 37. Типы и параметры питателей

Ленточные питатели подразделяют на два типа: горизонтальные и наклонные (с движением ленты вверх или вниз). Применяют их для перемещения зернистых, мелко- и среднекусковых материалов крупностью до 50 мм. Производительность регулируют с помощью задвижки или изменением скорости ленты. В большинстве случаев питатели снабжены устройствами, которые автоматически регулируют скорость ленты, обеспечивая необходимую производительность. Преимущества ленточных питателей: высокая надежность, небольшая масса, широкий диапазон производительности.

От ленточных конвейеров питатели отличаются: близким расположением друг от друга роlikоопор; отсутствием роlikоопор на обратной ветви при малой длине; неподвижными бортами; малой (0,1—1 м/с) скоростью ленты.

Пластинчатые питатели бывают горизонтальными и наклонными (угол наклона может быть большим, чем у ленточных питателей); на ходовых или стационарных роlikоопорах; с подвижными и неподвижными бортами. Этот тип питателей при перемещении тяжелых, крупнокусковых и абразивных материалов, например рядовой и крупнокусковой руды, камня.

Пластинчатые питатели изготавливают трех типов:

I тип — тяжелый для материала плотностью до 2,5 т/м³ с крупностью кусков не более 0,6 ширины полотна;

II тип — средний для материала плотностью до 2,4 т/м³ с крупностью кусков не более 0,5 ширины полотна и массой куска до 500 кг;

III тип — легкий для материала плотностью до 1 т/м³ с крупностью кусков не более 0,4 ширины полотна и массой куска до 125 кг (применяют в основном для углей).

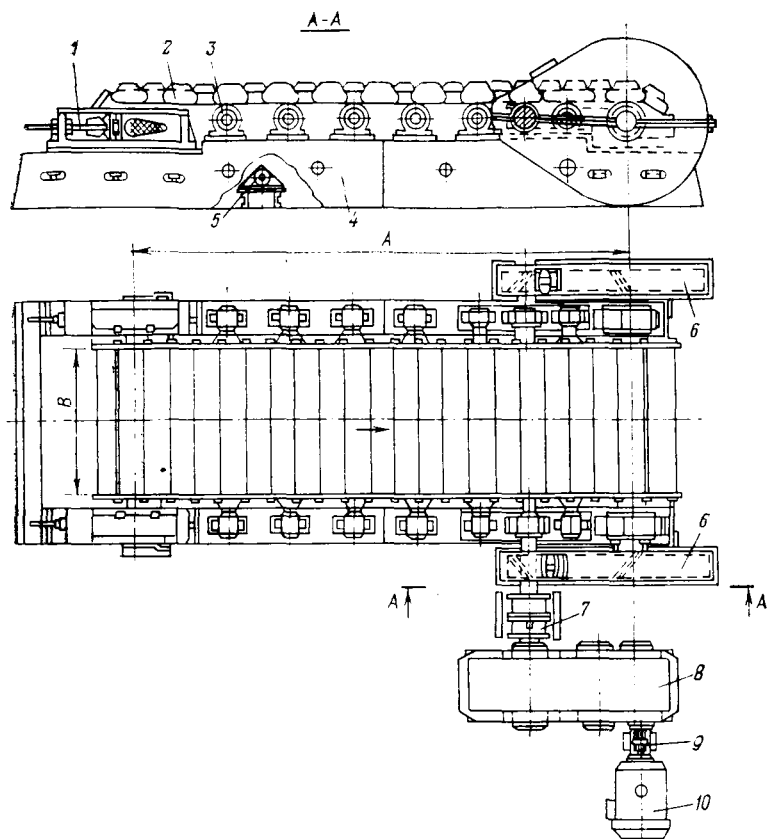


Рис. 21. Пластиновый питатель тяжелого типа

Питатели I и II типов применяют на рудообогатительных фабриках.

Рассмотрим работу питателя тяжелого типа (рис. 21). Рабочий орган питателя — пластинчатое полотно, составленное из смежных стальных пластин, жестко связанных с двумя бесконечными тяговыми цепями. Одна из них огибает тяговые звездочки, другая натяжные ролики, образуя две ветви; рабочей служит верхняя ветвь. Определяющие размеры питателя — ширина ленты B и длина питателя A , измеряемая между центрами звездочек; эти размеры (в дециметрах) включены в обозначение типоразмера питателя.

Рабочий орган питателя — лента 2 состоит из стальных крытообразных пластин, прикрепленных к шарнирным цепям, и опирается на верхние ролики 3 (груженой ветви) и нижние ролики 5 (холостой ветви). Лента приводится в движение ва-

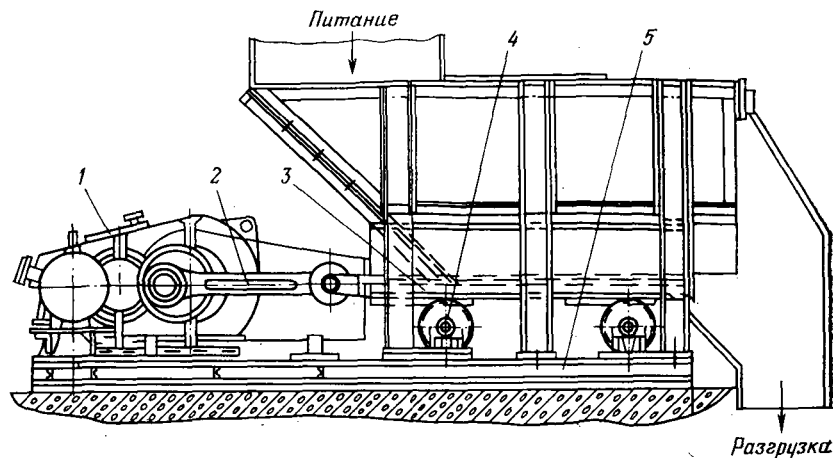


Рис. 22. Качающийся питатель тяжелого типа

лом-звездочкой от электродвигателя 10 через муфту 9, редуктор 8 (муфту 7) и две параллельные косозубые передачи 6. Натяжение полотна ленты регулируется натяжным винтовым устройством 1.

Питатели в зависимости от длины составляют из отдельных секций, устанавливаемых на раме 4. Материал загружают на верхнюю ветвь полотна питателя со стороны натяжной секции и транспортируют на расстояние, определяемое длиной питателя. Разгрузка осуществляется только с головной секции. Благодаря различной длине промежуточных секций можно набирать необходимую длину питателя — от 2 до 15 м. Смазку питателей осуществляют от станции густой смазки (например, от станции густой смазки, обслуживающей дробилку).

Питатели комплектуются четырехскоростными электродвигателями, обеспечивающими ступенчатое регулирование скорости движения ленты.

Качающиеся питатели — подвижные платформы с бортами, образующими лоток, который совершает качания на катках (роliках). Принцип действия питателя состоит в том, что при движении вперед лоток выносит из-под бункера порцию груза. Этот груз при обратном движении лотка удерживается от перемещения назад благодаря сопротивлению материала, поступающего из бункера, а также упору в заднюю торцовую стенку питателя.

Качающийся питатель тяжелого типа (рис. 22) состоит из двух основных частей: приемной и приводной, каждая из которых смонтирована на отдельной раме 5. Вращательное движение электродвигателя 1 преобразуется кривошипно-шатун-

ным механизмом 2, который сообщает лотку 3, опирающемуся на роlikоопоры 4, возвратно-поступательное движение. Производительность питателя регулируется изменением амплитуды хода лотка.

Вибрационные питатели предназначены для дозирования мелких и кусковых материалов крупностью до 400 мм. Вибрационный питатель состоит из лотка, подвешенного на пружинных амортизаторах, и прикрепленного к нему вибровозбудителя. Материал двигается по лотку под действием сил инерции в период обратного хода лотка. Вибрационные питатели могут одновременно служить грохотами, например при подаче груза на ленточные конвейеры для отсева мелких фракций.

Достоинства вибрационных питателей: простота и компактность конструкции; отсутствие передаточного механизма; большая производительность и малая потребляемая мощность; возможность располагать лоток на незначительной высоте над поверхностью ленты, что предохраняет ее от повреждения падающими на нее кусками.

Производительность вибрационных питателей регулируется автоматически изменением амплитуды и частоты колебаний лотка.

Дисковые или тарельчатые питатели (дозировочные столы) состоят из вращающегося от электропривода вокруг вертикальной оси диска (стола). Материал, высыпавшийся по цилиндрическому патрубку на стол, расположенный под выпускным отверстием бункера, принимает форму, близкую к усеченному конусу. При вращении стола материал снимается ножом и по специальному желобу направляется на конвейер, в мельницу и т. д. Производительность питателя можно регулировать на ходу, изменяя положение ножа относительно стола. Питатели такого типа применяют для перемещения пылевидных, зернистых и мелкокусковых хорошо сыпучих грузов. Частота вращения стола должна быть такой, чтобы частицы материала не сбрасывались по окружности под действием центробежной силы.

Дисковые питатели выпускаются двух типов: ДТ (тяжелого типа — для руд с насыпной плотностью 2—2,5 т/м³) и ДЛ (легкого типа — для руд с насыпной плотностью до 2 т/м³).

Цепные питатели состоят из ряда подвешенных на приводном барабане тяжелых кольцевых цепей, соединенных между собой поперечными кольцевыми звеньями. Цепи навешивают перед выпускными отверстиями бункера; они создают «цепной затвор», который лежит на слое материала, удерживая его от самопроизвольного ссыпания. При вращении барабана прилегающие к материалу ветви цепей медленно движутся вниз и увлекают за собой материал, движущийся со скоростью, близкой к скорости цепей.

Питатели этого типа предназначены для крупнокусковых однородных по размерам материалов. На рудообогатительных фабриках их устанавливают для подачи руды из бункера в дробилки.

Барабанные питатели применяют для подачи хорошо сыпучих мелко- и среднекусковых материалов, а *лопастные* и *винтовые* — для подачи пылевидных порошкообразных и зернистых материалов.

§ 38. Основы расчета питателей

Производительность Q [т/ч] ленточного и пластинчатого питателей

$$Q = 3600 B h v \rho_n \Psi,$$

где B — ширина ленты, м; h — высота слоя материала на ленте, м; v — скорость движения ленты, м/с; ρ_n — насыпная плотность материала, т/м³; $\Psi = 0,75 \div 0,8$ — коэффициент заполнения ленты транспортируемым материалом.

Производительность Q [т/ч] качающегося и вибрационного питателей

$$Q = 60 B h n S \rho_n \Psi,$$

где B — ширина лотка, м; h — толщина слоя материала на лотке, м; n — частота колебаний лотка, мин⁻¹ (для качающегося питателя $n = 20 \div 60$ мин⁻¹); S — ход лотка, м; Ψ — коэффициент заполнения лотка материалом (для качающегося питателя $\Psi = 0,65 \div 0,75$, для вибрационного $\Psi = 0,6 \div 0,7$).

Производительность Q [т/ч] тарельчатого питателя

$$Q = 60 V n \rho_n,$$

где V — объем материала, снимаемого за один оборот, м³; n — частота вращения стола, мин⁻¹.

Объем V [м³] снимаемого материала

$$V = \pi h (D_0^2 - 2d^2 + Dd) / 12,$$

где h — высота усеченного конуса, м; D_0 — диаметр основания усеченного конуса, м; d — диаметр усеченной части конуса, м; D — диаметр тарелки (стола), м.

Частоту n [с⁻¹] вращения тарелки (стола) выбирают с соблюдением условия

$$n < \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{gf}{r}},$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²; f — коэффициент трения частицы по столу; r — радиус стола, м.

§ 39. Эксплуатация и ремонт питателей

В процессе эксплуатации питателей необходимо следить за равномерностью их загрузки, не допуская работы вхолостую.

Перед пуском пластинчатого питателя необходимо проверить, чтобы полотно в месте загрузки было покрыто слоем транспортируемого материала не менее чем на 0,5 м. Этот слой необходим для защиты пластин тягового органа от ударов падающих кусков материала. Защитный слой материала необходимо оставлять на пластинчатом полотне и после остановки питателя; исключения составляют те случаи, когда транспортируемый материал способен смерзаться. В последнем случае перед остановкой питателя материал, находящийся на полотне, необходимо разгрузить.

Во время работы питателя запрещается смазывать подшипники и очищать пластинчатое полотно.

При ремонтном осмотре проверяют и при необходимости заменяют детали машин, требующие ремонта; берут пробы и заменяют смазку; восстанавливают уплотнения и крепления; устраняют обнаруженные неисправности; регулируют натяжение приводной и тяговой цепей. После ремонтного осмотра питатель необходимо проверить на ходу.

При текущем ремонте помимо работ, предусмотренных при ремонтном осмотре, в случае необходимости заменяют направляющие полосы, детали полотна, тяговые звездочки, шпонки, шарикоподшипники, уплотнения, пальцы, втулки и муфты; промывают подшипники и заменяют смазку. Во время текущего ремонта проверяют состояние деталей, подлежащих замене при последующем ремонте, и составляют дефектную ведомость. После проведения текущего ремонта питатель проверяют на ходу и под нагрузкой.

При капитальном ремонте предусматривается полное восстановление работоспособности питателя и его технических характеристик. Заменяют пластинчатое полотно, направляющие полосы, приводные и тяговые звездочки, приводную цепь; ремонтируют металлоконструкции питателя, загрузочный и разгрузочный желоба; вскрывают редуктор и заменяют изношенные шестерни и подшипники.

После капитального ремонта питатель подвергают обкатке вхолостую и под нагрузкой; устраняют обнаруженные дефекты; составляют акт сдачи и приемки с указанием качества произведенного ремонта.

СКЛАДЫ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО

§ 40. Общие сведения

Складом полезного ископаемого называют специальное помещение или площадку, предназначенные для накопления и хранения материалов. Тип склада и его оборудование выбирают в зависимости от назначения, свойств хранимого материала, климатических условий и пр.

Основные требования, предъявляемые к складам: применение автоматизированного комплекса современного оборудования; наименьшие измельчение полезного ископаемого и пылеобразование; максимальное использование механизмов непрерывного действия; применение штабелей ограниченной высоты (в зависимости от свойств полезного ископаемого).

Складирование полезного ископаемого предусматривает следующие основные операции: подачу материалов на склад; распределение материалов по складу и сбор его к одному месту (разгрузочному бункеру и др.) для отгрузки со склада; подачу материалов со склада.

Склады принято классифицировать:

- по назначению — аварийные, оперативные, технологические;
- по месту в технологической цепи — приемные сырья, промежуточные, готового продукта;
- по исполнению — закрытые, открытые;
- по форме штабеля — плоские, хребтовые;
- по характеристике полезного ископаемого — угольные, рудные;
- по применяемому оборудованию — скреперные, грейферные, конвейерные, рельсовые и др.

Аварийные и оперативные склады предназначены для обеспечения стабильной работы технологической цепи обогатительной фабрики при нарушении работы одного из звеньев транспорта. Технологические — входят в процесс переработки полезного ископаемого, например усреднительные склады.

§ 41. Устройство складов

В зависимости от расстояния от обогатительной фабрики до потребителя и регулярности подачи порожняка под погрузку вместимость складов для концентрата должна обеспечивать от 1- до 15-суточную производительность фабрики по готовому продукту. На углеобогатительных фабриках вместимость складов рекомендуется принимать: для Донбасса — 3—5 сут; Караганды и Кузбасса — 7—10 сут; Дальнего Востока — 10—12 сут.

Выбор типа склада определяется его вместимостью, крупностью и влажностью концентратов, их ценностью. Открытые склады сооружают для хранения менее ценных и достаточно крупных концентратов, получаемых в результате обогащения железных и марганцевых руд, а также каменных углей. Для мелких концентратов сооружают закрытые склады, исключющие распыление концентрата. Для сухих несслеживающихся мелких концентратов применяют силосные склады.

В зависимости от способа разгрузки складов применяют следующее оборудование: скреперы, грейферные краны, экскаваторы — для слеживающихся материалов на открытых складах и мостовые грейферные краны на закрытых складах. Несслеживающиеся концентраты с открытых и закрытых складов большой вместимости обычно разгружают через люки и питатели на проходящие под складом ленточные конвейеры (туннельная разгрузка).

Способ заполнения склада определяется способом его разгрузки. Производительность механизмов и устройств для загрузки склада должна соответствовать производительности фабрики по готовому продукту, а производительность разгрузочных устройств определяется грузоподъемностью железнодорожных составов для отправки готовой продукции и допустимым временем погрузки. Во всех случаях производительность склада по разгрузке должна быть не менее производительности фабрики по концентрату.

На *безэстакадном* открытом складе (рис. 23, а) уголь подают ленточными конвейерами 2 и грейферными кранами 3; укладывают в штабель — грейферными кранами; разгружают — грейферными кранами, ленточными конвейерами 1, бульдозерами, экскаваторами, погрузчиками. Склад предназначен для длительного хранения продуктов, не подлежащих регулярной отгрузке. Подобные склады сооружают для создания топливных запасов; производительность их по разгрузке до 250 т/ч.

На *эстакадном* складе (рис. 23, б) уголь подают ленточными конвейерами 1, установленными на эстакаде 2; разгружают — грейферными кранами 3, экскаваторами, скреперами, тракторными погрузчиками. Склады сооружают на небольших фабриках; производительность их по разгрузке до 250 т/ч.

На *полубункерном* складе (рис. 23, в) уголь подают ленточными конвейерами 1; разгружают — ленточными конвейерами 2 в комплексе с качающимися или лопастными питателями. Производительность склада по разгрузке до 1000 т/ч.

На *скреперном* складе (рис. 23, г) уголь загружают и разгружают скреперными установками, основными элементами которых являются скрепер 3, скреперная лебедка 4, канаты 2 и блоки 1. Склад представляет собой штабеля угля, обычно имеющие форму сектора. В вершине сектора расположены

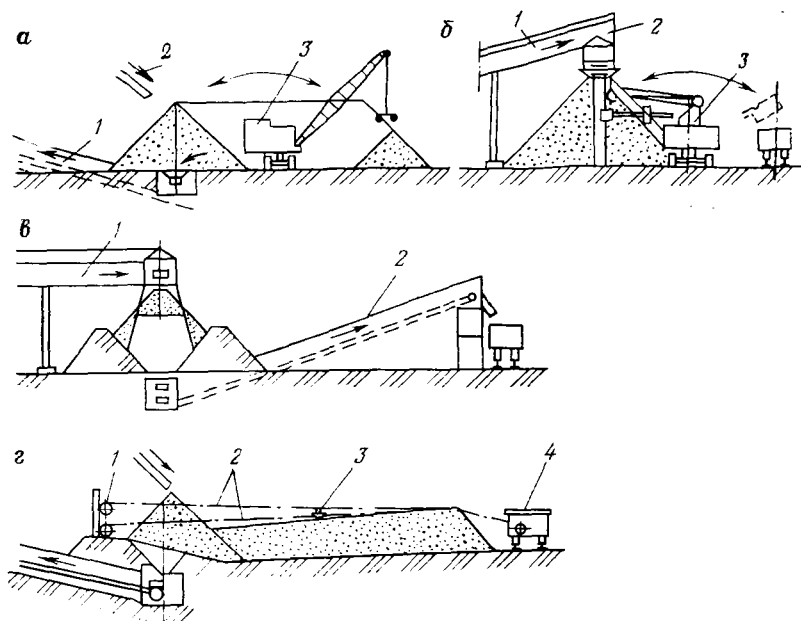


Рис. 23. Схемы складов углеобогатительных фабрик
Стрелками показано направление грузопотоков при заполнении и разгрузке

устройства для загрузки угля в первичный штабель конической формы. Основной штабель образуется скрепером. Скрепер передвигается лебедкой с помощью канатов и перемещает сыпучий материал волоком по почве или штабелю. Со склада уголь скрепером подается в воронку, из которой питателем и конвейером транспортируется в погрузочный бункер или грузится непосредственно в железнодорожные вагоны. Производительность склада по разгрузке до 1000 т/ч.

На открытом *грейферном* складе уголь подают ленточными конвейерами, расположенными на радиальном передвижном мосту; разгружают — мостовым грейфером или ленточным конвейером с пластинчатым питателем. Такие склады применяют на углеобогатительных фабриках большой производительности. Они обладают большой вместимостью при наименьших площадях застройки; отсутствует измельчение угля.

На рудообогатительных фабриках применяют закрытые и открытые склады с *мостовыми грейферными кранами*. Закрытые склады для влажного мелкого магнетитового концентрата загружают двумя конвейерами с однорукавными сбрасывающими тележками, проходящими в фермах перекрытия; разгружают — мостовым грейферным краном, подающим концентрат на конвейер (проложенный вдоль склада) через катучую воронку.

Грейфер может загружать материал в открытые вагоны; в этом случае железнодорожный путь проведен в склад с противоположной ленточному конвейеру стороны штабеля.

В последнее время вместо мостовых грейферных кранов закрытые склады оборудуют *ротормыми экскаваторами*. Экскаватор перемещается по почве и перегружает материал из штабеля в приемную воронку передаточного конвейера. При этом значительно уменьшаются нагрузки на конструкции склада, что позволяет снизить затраты на строительство. Уменьшается при этом и стоимость оборудования склада. На крупных железорудных обогатительных фабриках подобные склады рекомендуются для хранения мелких влажных (слеживающихся) концентратов.

§ 42. Расчет складов

При расчете складов определяют тип склада и его вместимость, выбирают складское оборудование.

Основные исходные данные: сменная производительность обогатительной фабрики; режим работы фабрики (продолжительность и число смен); характеристика материала (насыпная плотность, самовозгораемость и пр.); способы загрузки и разгрузки склада; производительность загрузочных и разгрузочных механизмов; отводимая площадь для размещения склада.

Взаимное расположение обогатительной фабрики и склада определяет способ загрузки склада материалом, а тип внешнего транспорта и сопряжение его со складом — способ разгрузки. Свойства складываемого материала определяют закрытый или открытый тип склада и форму штабеля (для углей принимают плоские штабели меньшей высоты, чем рудные, что связано с самовозгоранием). Окончательный выбор склада производят на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Вместимость $G_{ск}$ [т] склада определяется нормами для данного типа фабрики и режимом ее работы.

Объем $V_{шт}$ [м³] штабеля

$$V_{шт} = G_{ск} / (\rho \Psi),$$

где ρ — насыпная плотность материала, т/м³; $\Psi = 0,8 \div 0,9$ — коэффициент заполнения штабеля.

Высота штабеля для угля 2,5—10 м (в зависимости от склонности к самовозгоранию); для руд — 12—15 м. Для шаторовых складов отметка траншеи принимается с учетом уровня грунтовых вод (обычно 6—7 м).

Для скреперных складов угол сектора 60—250°; радиус 100—120 м. Для эстакадных складов высоту эстакады принимают на 0,5—1 м выше штабеля.

Расчетную производительность оборудования загрузки и разгрузки принимают равной расчетной производительности фабрики.

Производительность Q [т/ч] скреперной установки определяют, исходя из сменной производительности $G_{см}$ [т] склада:

$$Q = k G_{см} / T,$$

где $k = 1,1 \div 1,15$ — коэффициент неравномерности; T — продолжительность работы скреперной установки в течение смены (на 1 ч меньше продолжительности смены), ч.

Вместимость V [м³] грейфера определяют из расчетной формулы производительности Q [т/ч] мостового крана

$$Q = 3600 V \rho \Psi / T_0,$$

где T_0 — продолжительность одного цикла, с.

Продолжительность цикла равна сумме времени, затрачиваемого на выполнение отдельных операций, состоящих из захвата материала (10—12 с), подъема грейфера, перемещения грейфера с материалом, опускания грейфера, высыпания материала (5—7 с), передвижения моста.

При разгрузке материала со склада в железнодорожные вагоны производительность Q [т/ч] этих транспортных механизмов определяется вместимостью железнодорожного состава G_c [т] и временем $T_{п}$ [ч], отводимым на его погрузку:

$$Q = G_c / T_{п}.$$

По нормам технологического проектирования эта производительность должна быть не менее 1—3 тыс. т/ч.

Глава 12

ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

§ 43. Общие сведения

Комплекс зданий, сооружений и механизмов, предназначенных для приемки полезных ископаемых, подлежащих обогащению, называют приемным устройством.

Для индивидуальных обогатительных фабрик приемными устройствами служат бункера подъемных установок шахт, рудников и карьеров, из которых исходный материал транспортируется конвейерами.

На обогатительных фабриках, перерабатывающих полезные ископаемые одного или нескольких месторождений, расположенных на значительном расстоянии, приемными устройствами

служат бункерные и траншейные устройства, на которые сырье доставляется железнодорожным транспортом (внутренний или системы МПС). Приемные устройства в этом случае предназначены для материала с максимальной крупностью кусков 350—400 мм, чтобы его можно было транспортировать ленточными конвейерами. Такая крупность соответствует крупности продукта I стадии дробления при открытой добыче или крупности полезного ископаемого при подземной добыче.

Приемные устройства (при железнодорожном транспорте) выполняют следующие основные операции: прием груженых составов, протягивание их, взвешивание вагонов, рыхление и размораживание материалов, первоначальная их обработка (сортировка, дробление, усреднение), передача на дальнейшую обработку.

По расположению относительно поверхности земли приемные устройства разделяют на надземные, подземные и комбинированные. Выбор их типа определяется рельефом местности, капитальными и эксплуатационными затратами и т. п.

При выборе типа приемных устройств необходимо учитывать крупность и степень сыпучести исходного материала.

Крупнокусковые материалы (руда размером более 350—400 мм) подлежат предварительному дроблению. Поэтому конструкция приемного устройства и его оборудование определяются размерами исходного материала.

Для несслеживающихся материалов средней насыпной плотности с умеренной крупностью кусков применяют приемные устройства бункерного типа, из которых материал питателями выгружается на ленточный конвейер.

Для слеживающихся материалов применяют щелевые бункера или открытые траншеи, оборудованные для выгрузки многоковшовыми экскаваторами.

Выбирая тип приемного устройства, необходимо учитывать производительность фабрики и в зависимости от нее — способ разгрузки вагонов, число одновременно разгружаемых вагонов или разгрузочных путей и длину фронта разгрузки. Выгрузка материалов сопровождается выполнением таких трудоемких операций, как закрывание выпускных люков полувагонов, очистка вагонов от остатков груза, восстановление сыпучести слежавшегося или смерзшегося груза. Люки закрывают специальными устройствами в виде подъемных лап, передвигающихся по ходовым балкам, укрепленным вдоль состава. Восстанавливают сыпучесть материалов и зачищают вагоны виброрыхлителями, ковшовыми и бурофрезерными установками и другими приспособлениями.

Вместимость приемных аккумулирующих бункеров определяют на основании соответствия поступления и расходования материала.

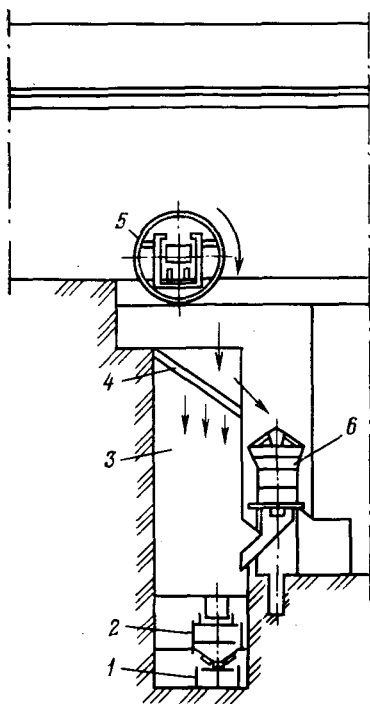


Рис. 24. Приемное устройство для исходного материала, требующего предварительного дробления

§ 44. Типы приемных устройств

Приемные устройства для крупнокусковых материалов, включающие дробилку, имеют небольшую вместимость приемных бункеров и малый разгрузочный фронт, равный длине опрокидывателя или длине одного-двух вагонов. Материал из железнодорожных вагонов (рис. 24) разгружается круговым опрокидывателем 5 на колосниковый грохот 4, с которого надрешетный продукт поступает в дробилку 6, а подрешетный — в бункер 3. Из бункера материал выгружается питателем 2 на конвейер 1.

Возможная компоновка подобного приемного устройства — материал из вагонов разгружается в приемный бункер, из которого пластинчатым питателем транспортируется в дробилку с предварительным отсевом мелочи на колосниковом грохоте.

Для материала, не требующего предварительного дробления, применяют приемные устройства различных типов.

Материал крупностью 350 (450)—0 мм из думпкаров грузоподъемностью до 140 т поступает в приемный бункер, из которого разгружается пластинчатыми питателями (ширина полотна до 2400 мм, длина определяется габаритами думпкара) на ленточный конвейер производительностью, обеспечивающей непрерывную разгрузку (продолжительность разгрузки 1,5—4 мин на вагон). Такое устройство применяют для обогатительных фабрик, работающих на привозных рудах, а также для групповых и центральных углеобогатительных фабрик производительностью до 3—4 млн. т в год.

Материал крупностью 350—0 мм из «глухих» гондол или полувагонов обычного типа грузоподъемностью до 125 т поступает в приемный бункер, из которого разгружается роторными вагоноопрокидывателями. Для разгрузки неисправных и нестандартных вагонов предусмотрен отдельный железнодорож-

ный путь с бункером. Применяется для обогащительных фабрик производительностью 3—15 млн. т в год.

Материал крупностью 550—0 мм из саморазгружающихся вагонов любых типов поступает в приемный бункер через люки. Вместимость бункеров и фронт разгрузки определяются временем разгрузки маршрутного состава. Материал из бункеров питателями выдается на сборный ленточный конвейер. Аналогичное приемное устройство можно применять для приема материалов с подвесных (канатных) дорог.

Материал крупностью 350(450)—0 мм, содержащий много влажной липкой мелочи, не допускающей бункерования, вследствие высокой и быстрой слеживаемости поступает с железнодорожных путей на склад напольного типа, оборудованный грейферным мостовым краном. Материал разгружается в траншею (или с эстакады), грейфером укладывается в штабель, из которого грейфером же подается в разгрузочную бункер-воронку малой вместимости при работе на «проход». Длина разгрузочной траншеи (или эстакады) зависит от времени разгрузки маршрутного состава, вместимость штабеля — от режима работы и производительности фабрики. Для слеживающихся материалов применяют также приемные устройства в виде щелевых бункеров (выгрузка на конвейер лопастными питателями) или открытых траншей (выгрузка многочерпаковыми экскаваторами).

При использовании для транспортирования материалов *автомобильного транспорта* приемные устройства аналогичны приведенным выше.

§ 45. Расчет приемных устройств

Вместимость приемных устройств углеобогащительных фабрик определяется следующим образом.

Приемные устройства при разгрузке вагонов через дно могут одновременно принимать под разгрузку 1—2 вагона или группу вагонов. Число m групп вагонов определяют в зависимости от установленной нормами продолжительности T [ч] разгрузки всего состава и продолжительности t [мин] разгрузки одной группы вагонов:

$$m = 60 T/t.$$

Число вагонов в разгружаемой группе

$$Z_0 = Z/m,$$

где Z — число вагонов в составе.

Длина L_p [м] фронта разгрузки при длине l_b [м] одного вагона

$$L_p = Z_0 l_b.$$

Вместимость V [м³] приемных устройств

$$V = V_{\text{п}} L_{\text{р}},$$

где $V_{\text{п}} = 2q / (\rho_{\text{н}} l_{\text{в}})$ — погонная вместимость бункера, м³/м; q — грузоподъемность вагона, т (в формуле принято $2q$, так как над ячейками обычно разгружают два вагона); $\rho_{\text{н}}$ — насыпная плотность материала, т/м³.

Вместимость щелевых бункеров принимают повышенной (на одну-две смены работы фабрики). Погонную вместимость одинарных щелевых бункеров принимают 30—35 т/м, двойных — 60—75 т/м. Длину бункеров принимают до 150 м, ширину 6,5—8 м. Вместимость V [т] приемного бункера под опрокидывателем

$$V = \frac{W}{\rho_{\text{н}}} \left(1 - \frac{Q_{\text{пит}}}{Q_{\text{оп}}} \right),$$

где W — вместимость состава по материалу, т; $Q_{\text{пит}}$ — производительность питателей по разгрузке бункеров, т/ч; $Q_{\text{оп}}$ — производительность опрокидывателя по загрузке бункеров, т/ч.

При использовании саморазгружающихся вагонов вместимость бункера принимают в 1,5 раза больше вместимости одновременно разгружаемой группы вагонов.

Вместимость приемных устройств рудообогатительных фабрик зависит от способа доставки руды, организации работы дробильного цеха и наибольших размеров кусков материала. При размере куска более 400 мм приемный бункер устраивают по возможности малой вместимости, при длине фронта разгрузки 1—2 вагона.

При большой производительности дробильного цеха, работающего синхронно с рудником или карьером, бункер сооружают на минимальную вместимость, определяемую вместимостью откаточного сосуда. При руде крупностью 400—0 мм и производительности до 250 т/сут вместимость бункера принимают из расчета на 8—16-часовую производительность цеха, но не более 150 т; при той же крупности и производительности до 1000 т/сут вместимость бункера принимают на 4—8 ч работы, но не более 300 т.

Вместимость аккумулирующих бункеров G_6 [т] рудообогатительных фабрик определяется производительностью и графиком работы сопряженных цехов

$$G_6 = Q t k_3,$$

где Q — производительность меньшего по производительности цеха, т/ч; t — разность во времени работы одного и другого цехов в сутки, ч; $k_3 = 1,2 \div 1,3$ — коэффициент запаса.

Вместимость бункеров перед цехами мелкого и среднего дробления при синхронной работе цехов принимают из расчета не более чем на 8-часовую производительность, а при несинхронной — не более чем на суточную.

Вместимость аккумулярующих бункеров для центральных углеобогачительных фабрик принимают на 19 ч работы, а для групповых — на 16 ч; для индивидуальных фабрик — не менее сменной производительности.

Глава 13

ПОГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

§ 46. Общие сведения

Комплекс зданий, сооружений и механизмов, обеспечивающих операции, связанные с погрузкой продуктов обогащения, называют погрузочным устройством.

На погрузочном пункте выполняют следующие основные операции: подачу и распределение материала; аккумулярование его перед погрузкой; погрузку; разравнивание и уплотнение материала; предохранение его от распыления; обработку составами, предохраняющими от смерзания; взвешивание вагонов; прием порожних составов и расстановку их по фронту погрузки; передвижение под погрузкой; отправку груженых составов.

Погрузочные устройства классифицируют:

по способу погрузки вагонов — с непосредственной и конвейерной погрузкой;

по способу аккумулярования отгружаемого материала — бункерная и безбункерная погрузка;

по числу приемных путей — одно- и многопутевые;

по расположению бункеров относительно железнодорожных путей — продольное, поперечное и комбинированное.

Для обслуживания приемных и погрузочных устройств обогачительных фабрик (погрузки и разгрузки железнодорожных вагонов) оборудуют путевое развитие, называемое станцией. Они бывают тупиковые и транзитные. На станции производят следующие операции: приемку груженых составов и расстановку их по местам выгрузки; разгрузку вагонов; расстановку порожних вагонов по местам погрузки; погрузку их; формирование маршрутов груженых составов и их направление; пропуск транзитных составов.

Маневровые операции на станциях, заключающиеся в передвижении составов или вагонов у разгрузочных и погрузочных

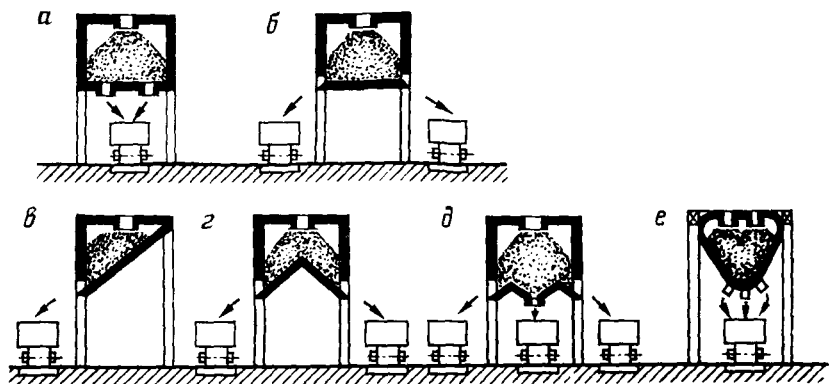


Рис. 25. Схемы бункеров:

а, б — прямоугольный с центральной и двусторонней разгрузкой; в, г — односкатный и двускатный с боковой разгрузкой; д — двускатный с одновременной боковой и центральной разгрузкой; е — параболический

пунктов, производят стационарными маневровыми устройствами и маневровыми локомотивами. Маневровые операции должны быть организованы так, чтобы обеспечить наименьшие время обработки составов и число маневров.

§ 47. Типы погрузочных устройств

Способы размещения готового продукта перед отправкой потребителям (в погрузочных железнодорожных бункерах или на складе) определяют применение двух типов погрузочных устройств: при бункерной погрузке; при безбункерной погрузке.

Погрузочные устройства при бункерной погрузке. На рис. 25 приведены схемы бункеров при непосредственной погрузке в вагоны. Одни из них предназначены только для загрузки открытых вагонов, другие для загрузки открытых и крытых вагонов.

Погрузочные бункера изготавливают из железобетона или металла и располагают на колоннах над железнодорожными путями.

В надбункерной галерее расположены распределительные ленточные или скребковые конвейеры, на которые подается обогащенный материал передаточными конвейерами, связывающими обогатительную фабрику с пунктом погрузки.

Возможны два варианта организации загрузки вагонов из бункеров. В первом — вагоны последовательно по одному загружают ленточным конвейером, на который материал подают из бункеров питателями. Во втором — группу вагонов загружают одновременно непосредственно из бункеров с помощью же-

лобов. Недостаток первого варианта: сложность погрузочного устройства. Недостатки второго варианта: осложнения при отгрузке продуктов нескольких сортов; сложность в догрузке или выгрузке материала.

Погрузочные устройства при безбункерной погрузке. В этом случае продукты обогащения грузят непосредственно в железнодорожные вагоны либо из полубункера, примыкающего к складу (открытая бункеризация), либо без предварительного накопления, т. е. с обогатительной фабрики. Для погрузки без предварительного накопления на железнодорожных путях фабрики необходимо постоянно иметь достаточное количество вагонов, которые должны непрерывно загружаться в течение рабочих смен фабрики и обмениваться на порожние вагоны в соответствии с утвержденным графиком, согласованным с МПС.

Во время передвижения составов для предотвращения перерывов в работе передаточных конвейеров поступающие с фабрики продукты обогащения накапливают в воронках небольшой вместимости. Для брикетов и сортовых углей применяют катучие погрузочные стрелы, погрузочные стрелы с воронкой на конце (для кратковременного накопления угля) или со спиральным (аккумулирующим) желобом.

Погрузочные устройства для продуктов обогащения, которые необходимо предохранить от измельчения, оборудуют стационарными или передвижными погрузочными стрелами; рядовые угли и другие продукты грузят в вагоны по желобам.

Погрузочные устройства при безбункерной погрузке отличаются простотой, малыми капитальными и эксплуатационными затратами, небольшим выходом мелочи.

§ 48. Расчет погрузочных устройств

Расчетная вместимость G_6 [т] погрузочных бункеров с учетом коэффициента k неравномерности поступления продуктов обогащения в бункер и возможности опоздания t_0 [ч] подачи составов

$$G_6 = k[Zm + Q_{\text{ср}}(t_1 - t_0)],$$

где $k=1,15$; Z — число вагонов в составе; m — грузоподъемность вагона, т; $Q_{\text{ср}}$ — средняя производительность предприятия, т/ч; $t_0=2 \div 3$ ч; $t_1=1,5 \div 2$ — время погрузки состава, ч.

При наличии на обогатительной фабрике склада вместимость бункеров может быть уменьшена, так как погрузка частично будет осуществляться через склад. Вместимость оперативных погрузочно-складских устройств для рядового угля и концентрата принимают из расчета не менее 2,5-суточной производительности при отгрузке при 5-дневной рабочей неделе; не менее 1,5-суточной — при 6-дневной; не менее суточной — при

непрерывной. На рудообогатительных фабриках складов концентратов, как правило, не устраивают.

Конвейеры, загружающие железнодорожные вагоны из бункеров, рассчитывают, исходя из вместимости G_c [т] состава и времени t_0 [ч], отводимого на погрузку. Часовая производительность погрузочного конвейера $Q = G_c/t_0$. На эту производительность рассчитывают одновременно работающие питатели этих конвейеров.

Глава 14

ГРУЗОПОДЪЕМНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

§ 49. Общие сведения

Грузоподъемные машины относятся к машинам периодического действия и предназначены для перемещения грузов и людей по вертикали и передачи их из одной точки площади, обслуживаемой машиной, в другую.

На обогатительных фабриках грузоподъемные машины применяют для монтажа оборудования и при ремонтных работах.

Грузоподъемная машина состоит из подъемного механизма и механизма горизонтального перемещения, а также из опорной фермы, на которой они размещаются. В некоторых конструкциях машин могут отсутствовать механизм горизонтального перемещения и опорная ферма.

Грузоподъемность машины — масса номинального рабочего груза, на подъем которого рассчитана машина. Выражается в единицах массы. В значение грузоподъемности включают массу сменных грузозахватных приспособлений, вспомогательных устройств, подвешиваемых к грузозахватному органу. Грузоподъемность машин колеблется от нескольких десятков килограммов до сотен тонн. Устойчивость самоходных и башенных кранов против опрокидывания в процессе работы характеризуется грузовым моментом, определяемым произведением веса груза на вылет стрелы. Вылет стрелы — расстояние от оси вращения поворотной части крана до оси грузозахватного органа.

Скорость движения грузоподъемного механизма зависит от технологического процесса, в котором он участвует, характера его работы, потребной производительности.

Грузоподъемные машины работают в повторно-кратковременном режиме, при котором рабочий орган и груз совершают возвратно-поступательное движение, а механизм каждый раз реверсируется.

В связи с тем, что грузоподъемные машины относятся к оборудованию повышенной опасности, для обеспечения безопасных условий их эксплуатации установлен государственный технический надзор. Этот надзор осуществляют Госгортехнадзор СССР и его республиканские и местные органы. Органы Госгортехнадзора контролируют соблюдение правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, лифтов, фуникулеров и подвесных канатных дорог; регистрируют подъемные сооружения и выдают разрешения на их эксплуатацию; проводят техническое освидетельствование подъемных сооружений; контролируют соблюдение установленных техническими нормами сроков планово-предупредительного и капитального ремонта подъемных сооружений.

При эксплуатации грузоподъемных машин особое внимание необходимо обращать на их надежность и соблюдение требований техники безопасности. Соблюдение норм и правил Госгортехнадзора обязательно при проектировании, расчете и эксплуатации грузоподъемных машин. Все вновь устанавливаемые грузоподъемные машины, на которые распространяются эти правила, а также съемные грузозахватные устройства до пуска в работу подлежат техническому освидетельствованию, при котором необходимо убедиться, что машина находится в исправном состоянии, обеспечивающем ее безопасную эксплуатацию. Освидетельствование бывает полное и частичное. Полное техническое освидетельствование заключается в осмотре машины, статическом и динамическом испытаниях под нагрузкой. Частичное техническое освидетельствование состоит только из осмотра грузоподъемной машины.

§ 50. Грузоподъемные механизмы

К простейшим грузоподъемным механизмам относятся: лебедки, домкраты, тали.

Лебедки предназначены для подъема, опускания или подтягивания грузов, а также для обслуживания погрузочно-разгрузочных и монтажных работ.

На рис. 26 показана барабанная лебедка с приводом от электродвигателя 5, укрепленного на корпусе редуктора 4. Быстроходный вал редуктора соединен с валом электродвигателя с помощью зубчатой муфты. На свободном конце вала электродвигателя установлен шкив 2 колодочного тормоза. На выходном валу редуктора установлен барабан 1 с закрепленным на нем концом каната. При вращении барабана канат, к которому прикреплен груз, наматывается на барабан или сматывается с него, поднимая или опуская груз. Направление вращения барабана изменяют реверсированием электродвигателя. На втором конце быстроходного вала редуктора установ-

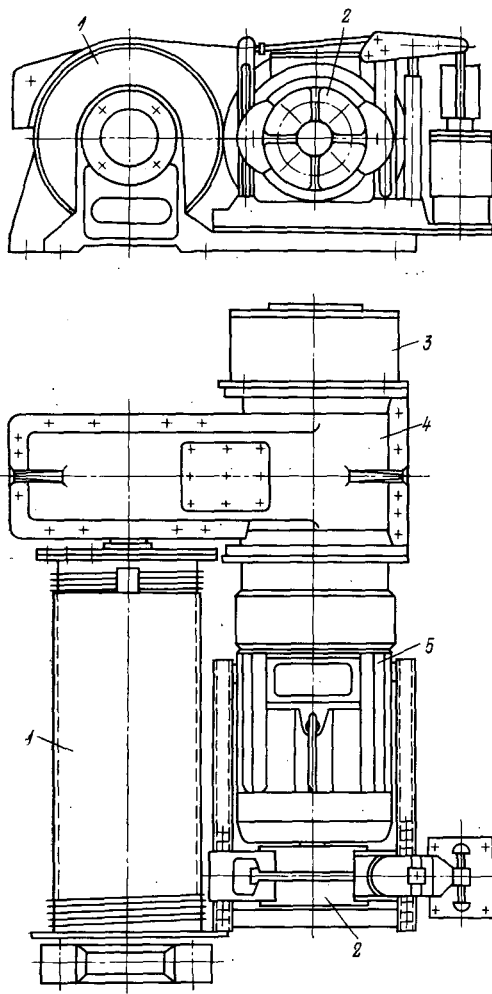


Рис. 26. Лебедка барабанная с электроприводом

лен электроиндукционный тормоз 3, предназначенный для плавного регулирования скорости движения груза. Лебедки такого типа применяют при монтажных, ремонтных и строительных работах.

В ручных лебедках вращение передается барабану с помощью одной или двух рукояток через две или три пары зубчатых колес. При прекращении вращения рукоятки специальный тормоз автоматически останавливает барабан.

На погрузочно-разгрузочных пунктах при производстве маневровых работ на железнодорожных путях применяют шпиль-лебедки с фрикционным барабаном, имеющим горизонтальную или вертикальную ось вращения.

В пассажирских лифтовых подъемниках применяют лебедки с канатоведущим шкивом, в желоба которого ложатся ветви грузового каната; тяговое усилие передается силой трения, возникающей между канатом и поверхностью ручья.

Домкраты применяют при монтажных и ремонтных работах для подъема груза на небольшую высоту (до 0,8—1 м). Привод домкратов может быть ручным и механическим. По принципу действия домкраты бывают: винтовые; рычажно-реечные; зубчато-реечные; гидравлические.

Гидравлический домкрат (рис. 27) с ручным приводом состоит из скалки 6, снабженной в верхней части упор-

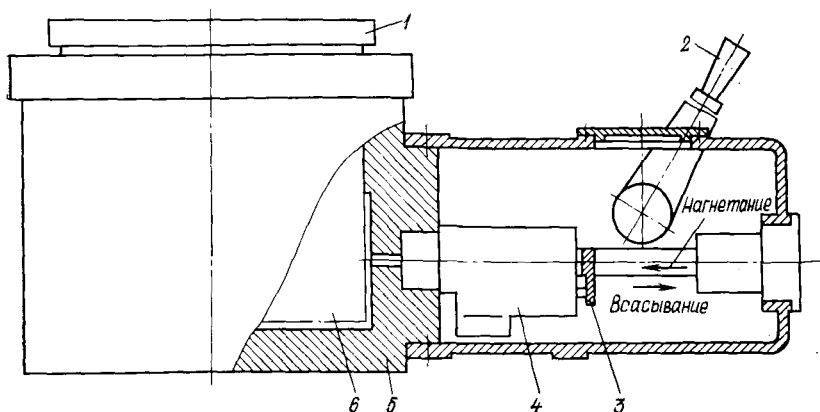


Рис. 27. Гидравлический домкрат

ной головкой 1. Скалка входит в цилиндрическую часть корпуса 5, в нижнюю часть которого плунжерным насосом 4 подается рабочая жидкость. При качании рукоятки 2 перемещается плунжер 3 насоса и жидкость через нагнетательный клапан поступает в пространство между скалкой и дном корпуса. При отклонении рукоятки за пределы рабочего положения скалка опускается, открывается выпускной клапан и рабочая жидкость под действием силы тяжести груза перетекает из-под скалки в запасной резервуар. Изменяя отклонение рукоятки, регулируют скорость опускания груза. Для подъема тяжелых грузов на большую высоту применяют гидравлические домкраты с механизированным приводом. Преимущества гидравлических домкратов: высокий кпд (0,75—0,8); малые габариты и масса; плавные подъем и опускание груза при весьма точной его фиксации в необходимом положении; большая грузоподъемность (до 200 т). Недостатки: ограниченная высота подъема груза и малая скорость.

Тали применяют для внутри- и межцехового транспортирования грузов. Они имеют ручной, электрический или пневматический приводы. Передвижные тали с электрическим приводом называют тельферами. Тали устанавливают стационарно или на передвижающихся тележках.

На рис. 28 показана таль с ручным приводом. Привод тали осуществляют бесконечной цепью 7, находящейся в зацеплении с приводным колесом 4. В качестве грузового элемента используют пластинчатую или сварную калиброванную цепь 1. Поднятый груз удерживают в неподвижном состоянии дисковым тормозом 5, который замыкается под действием веса транспортируемого груза. Ступицу цепного колеса 4 выполняют в виде

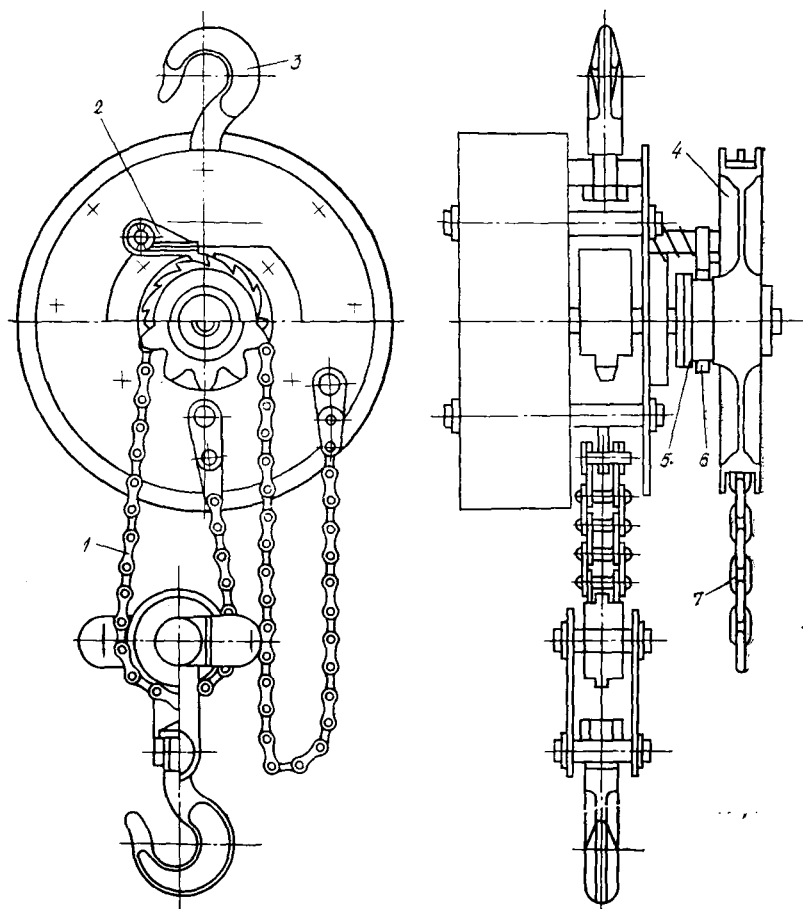


Рис. 28. Таль с ручным приводом

гайки, зажимающей храповое колесо 6 тормоза. «Собачку» 2 тормоза укрепляют на корпусе тали. Таль подвешивают к опоре за крюк 3.

Для перемещения груза по горизонтали тали подвешивают к тележкам, которые перемещают по подвесным однорельсовым путям, выполненным из проката двутаврового сечения. Тележки могут быть без привода, с ручным или механическим приводом.

Электротали также подвешивают к тележкам с ручным или электрическим приводом и управляют ими снизу при скорости передвижения до 32 м/мин или из кабины управления, перемещающейся вместе с талью по подвесному пути. Грузозахватными приспособлениями электроталей могут быть крюки, подь-

емные электромагниты или специальные захваты для штучных или сыпучих грузов. Грузоподъемность электроталей 0,25—15 т, скорость подъема 5—25 м/мин.

Грузоподъемные краны предназначены для подъема и перемещения в пространстве груза, удерживаемого грузозахватным устройством. Краны классифицируют:

по конструктивному признаку — мостового типа (мостовые краны, козловые и полукозловые краны, перегрузочные мосты, настенные передвижные консольные краны, мостовые краны-штаблеры), стрелового типа (поворотные краны на колонне, имеющие постоянный или переменный вылет, и передвижные краны со стрелой, закрепленной на раме ходового устройства или на поворотной платформе, размещенной непосредственно на ходовой раме), башенные, порталные и полупортальные краны, винтовые краны и т. п.;

по виду грузозахватного устройства — грейферные, магнитные, клещевые и т. п.;

по роду привода — с ручным и механическим (электрическим, гидравлическим, пневматическим) приводом;

по степени поворота стрелы крана относительно его опорной части — неповоротные, полноповоротные и неполноповоротные.

Широкое применение на обогатительных фабриках получили мостовые краны, поднимающие и перемещающие груз в поперечном и продольном направлениях. Мостовой кран состоит из моста, движущегося на ходовых колесах по подкрановым путям. Эти пути уложены на подкрановых продольных балках, закрепленных на консольных выступах колонн цеха. По поясу балок моста поперек пролета цеха передвигается крановая тележка, снабженная подъемным механизмом с грузозахватным элементом.

Грузоподъемность мостовых кранов общего назначения от 5 до 300 т.

При относительно малой грузоподъемности (до 5 т) применяют одно- и двухбалочные кран-балки, представляющие собой облегченный мостовой кран. При небольших пролетах вместо моста используют простую балку, а вместо крановой тележки — электроталь.

При установке моста крана на двух высоких опорных стойках, перемещающихся по рельсам, уложенным на уровне земли, получается козловой кран для работы со штучными грузами или мостовой перегружатель для работы с сыпучими грузами.

Более полно обслуживают площадь цеха подвесные краны, ходовые тележки которых перемещаются по подвесному рельсовому пути. Грузоподъемность подвесных кранов 0,25—20 т.

Для загрузки железнодорожных платформ, автомашин и других погрузочно-разгрузочных работ применяют стационарные и нестационарные поворотные краны. Простейшие поворотные краны на колонне имеют постоянный вылет стрелы, т. е. неизменное расстояние от центра тяжести груза до оси, вокруг которой поворачивается стрела.

При производстве строительных работ используют башенные краны различного типа, передвигающиеся вдоль внешних стен строящегося здания. Вылет стрелы у таких кранов изменяется либо перемещением грузовой тележки по однорельсовому пути, прикрепленному к стреле крана, либо подъемом стрелы в вертикальной плоскости.

Стреловые краны на гусеничном, автомобильном или железнодорожном ходу применяют для погрузочно-разгрузочных и монтажно-строительных работ. Краны первых двух типов отличаются высокой маневренностью и не требуют укладки рельсовых путей. Наибольшее распространение получили автомобильные краны, устанавливаемые на стандартных или усиленных шасси или на специальной ходовой части в виде опорной рамы на пневматических колесах (пневмоколесные краны грузоподъемностью до 100 т). Автомобильные краны подразделяются на: краны общего назначения — работают только с грузовым крюком; полууниверсальные краны — работают с крюком и грейфером; универсальные краны — работают с любым сменным оборудованием как кранового, так и землеройного назначения.

Портальные краны применяют для погрузки и выгрузки штучных и насыпных грузов в морских и речных портах.

Для внутрицехового и междцехового транспортирования различных грузов применяют *самоходные погрузчики*, предназначенные для захвата, вертикального и горизонтального перемещения груза, укладки его в штабеля или на транспортные средства.

§ 51. Элементы грузоподъемных механизмов

Крюки и петли предназначены для прикрепления груза с помощью канатных или цепных строп к грузоподъемным устройствам. Крюки соединяют с гибким грузовым элементом грузоподъемной машины или непосредственно, или с помощью крюковых подвесок. Однорогие крюки применяют при ручном и машинном приводе; двурогие — при машинном. Форма крюков должна обеспечивать их минимальные размеры и массу при достаточной прочности. Крюки изготавливают ковкой или штамповкой из низкоуглеродистой стали марок 20 и 20Г. Крюк испытывают на прочность под нагрузкой, превышающей его номинальную грузоподъемность на 25%. Без клейма, на кото-

ром указаны завод-изготовитель и грузоподъемность крюка, и паспорта, удостоверяющего материал и ГОСТ, применение крюка не допускается.

Грузовые петли (цельнокованные и составные) имеют меньшие размеры и массу, чем крюки, рассчитанные на ту же грузоподъемность, так как в сечениях петель действуют меньшие изгибающие моменты. В эксплуатации петли менее удобны, так как стропы необходимо продевать в отверстие петли.

Для обвязки груза при его креплении к крюку или петле применяют *стропы*, изготавливаемые из стальных канатов или сварных цепей. Стропы из пеньковых или хлопчатобумажных канатов разрешается применять для подъема груза массой не более 0,5 т.

В качестве гибких элементов в грузоподъемных машинах применяют стальные канаты, сварные и пластинчатые цепи.

Канаты изготавливают из стальной светлой или оцинкованной проволоки марок В, I или II диаметром от 0,2 до 3 мм. Предел прочности проволоки при растяжении 1600—2000 МПа. Применяют канаты двойной свивки: вокруг центральной проволоки из проволок свивают пряди, а затем эти пряди свивают в канат вокруг сердечника. Число проволок в пряди и число прядей в канате может быть различно.

Канаты бывают с органическим сердечником из лубяных (пенька) или синтетических (нейлон, капрон) волокон и с металлическим сердечником, в качестве которого используют также проволоочный канат двойной свивки.

По виду свивки канаты подразделяют на обыкновенные (раскручивающиеся) и нераскручивающиеся. В канатах первого типа проволоки и пряди после снятия перевязок концов стремятся выпрямиться. Канаты второго типа свивают из заранее деформированных проволок и прядей; их форма соответствует положению в канате. Эти канаты имеют значительно более долгий срок службы.

Канаты изготавливают с различным направлением свивки прядей — с правым и левым. При правом направлении пряди идут слева — вверх — направо; при левом направлении наоборот: справа — вверх — налево. Канаты также различают по сочетанию направлений свивки проволок в прядях и прядей в канатах: односторонней и крестовой свивки. В канатах односторонней свивки направление навивки проволок в наружном слое прядей и прядей в канате одно и то же; в канатах крестовой свивки эти направления противоположны. Срок службы канатов с односторонней свивкой на 25—50 % больше срока службы канатов крестовой свивки.

При выборе каната следует иметь в виду, что если он свит из толстых проволок, то имеет повышенную жесткость, но хорошо сопротивляется абразивному износу. Уменьшение диамет-

ра проволок увеличивает гибкость каната, но одновременно возрастает и износ проволок, сокращается срок службы.

При хранении и эксплуатации канаты покрывают защитной смазкой — канатной смазкой 39у, торсиолом 35 и 55. Смазка этих видов обладает хорошей адгезией, не снимается при эксплуатации, проникает к центру каната и прядей, образует тонкую пленку, не испаряется и не затвердевает со временем, не содержит щелочей, кислот и других веществ, вызывающих коррозию.

Норма износа каната устанавливается правилами Госгортехнадзора и определяется числом оборванных проволок в наружных слоях прядей на длине одного шага свивки.

Расчет стального каната производится из соотношения

$$S_{\max} n \leq S_{\text{разр}},$$

где $S_{\max}$ — максимальная рабочая сила ветви каната (без учета динамической нагрузки); n — коэффициент запаса прочности, т. е. отношение максимальной разрушающей нагрузки к максимальной рабочей нагрузке на канат, принимаемой по нормам Госгортехнадзора в зависимости от назначения каната и группы режима работы механизма (значения n колеблются от 4 для грузоподъемных устройств с ручным приводом до 9 для грузоподъемных устройств, предназначенных для подъема людей); $S_{\text{разр}}$ — разрывная нагрузка каната в целом — стандартизированная величина, принимаемая по сертификату на канат и зависящая от конструкции каната, диаметра и предела прочности материала проволок.

Для ограничения в канате напряжений от изгиба при его выборе необходимо соблюдать заданное правилами Госгортехнадзора соотношение между диаметром d выбранного каната и диаметром D блока и барабана: $D \geq ed$, где $e = 12 \div 35$ — коэффициент, принимаемый по нормам Госгортехнадзора в зависимости от типа грузоподъемного механизма и группы режима работы механизма.

Цепи используют в качестве грузовых и тяговых элементов. Применяют сварные и пластинчатые цепи.

Сварные цепи по точности изготовления подразделяют на калиброванные и некалиброванные. Изготавливают их из сталей марок Ст3, Ст2 и Ст10 кузнечно-горновой и контактной электросваркой. Калиброванные сварные цепи предназначены для работы со звездочкой, имеющей специальные гнезда, некалиброванные — для работы только с гладкими блоками и барабанами. Расчет сварных цепей производят по уравнению, аналогичному уравнению для расчета канатов, принимая $n = 3 \div 8$ в зависимости от типа привода и цепей. Отношение диаметра

барабана или блока, огибаемого сварной цепью, к диаметру прутка, из которого изготовлена цепь, должно быть не менее 20 для ручных грузоподъемных механизмов и не менее 30 для механизмов с машинным приводом. Допускаемая скорость при работе на гладких барабанах и блоках 1,5 м/с; при работе на звездочках 0,5 м/с.

Преимущества сварных цепей: гибкость во всех направлениях; простота конструкции и изготовления; бесшумность при работе со скоростью менее 0,1 м/с. Недостатки: относительно большая масса; опасность внезапного разрыва звеньев цепей при перегрузках; большой износ в местах соприкосновения звеньев.

Пластинчатые цепи состоят из стальных пластин, соединенных валиками. Пластины и валики изготовляют из сталей марок 40; 45; 50 и подвергают термообработке. Максимальная рабочая скорость из-за повышенной чувствительности к инерционным нагрузкам не должна превышать 0,25 м/с. Пластинчатые цепи по сравнению со сварными имеют большую массу; дороже в изготовлении; не могут изгибаться в поперечном направлении; шарниры цепей подвержены сильному износу. Пластинчатые цепи не могут навиваться на барабаны и употребляться только со звездочками. Преимущество — относительно малые диаметр приводных звездочек и передаточное число редуктора. Рассчитывают пластинчатые цепи по тем же зависимостям, что и сварные цепи.

Блоки предназначены для изменения направления канатов и цепей, а также для выигрыша в скорости или в силе. Блоки бывают подвижные, ось которых перемещается в пространстве, и неподвижные. Блоки для канатов изготовляют из стали литьем, сваркой или штамповкой. Профиль желоба блока должен быть таким, чтобы канат беспрепятственно входил и выходил из него, а угол отклонения каната от плоскости симметрии желоба блока не превышал 6°. Для повышения долговечности каната применяют блоки с желобом, футерованным пластмассой или алюминием. Блоки рекомендуется устанавливать на подшипниках качения.

В силовом блоке путь силы, приложенной к канату или цепи, равен двойному пути груза, а значение приложенной силы S приблизительно равно половине веса G поднимаемого груза: $S = G/(2\eta)$, где $\eta = 0,95 \div 0,98$ — кпд блока.

Звездочки для сварных цепей изготовляют литыми из чугуна или стали. Звенья сварной цепи ложатся в специальные гнезда, выполненные по форме звена, поэтому звездочка получается многогранной. Для пластинчатых цепей изготовляют звездочки из стального проката или литья. По форме они представляют собой зубчатые колеса, зубья которых входят между пластинами цепей, соприкасаясь с валиками шарниров.

В одновременном полном зацеплении с цепью должно быть не менее двух зубьев звездочки.

Барабаны изготавливают литыми из чугуна или стали и сварными из стали; их выпускают для многослойной и однослойной навивок каната. Барабаны с обеих сторон снабжены ребордами, выступающими над верхним слоем уложенного каната не менее чем на два его диаметра, а для сварных цепей — не менее чем на ширину звена цепи. Поверхность барабана может быть гладкой или с винтовой канавкой. Для правильной укладки каната на барабан, а также для предохранения каната от смещения и запутывания применяют канатоукладчики различных типов.

Длина нарезного барабана должна быть такой, чтобы при низшем рабочем положении грузозахватного приспособления на барабане оставалось не менее 1,5 витка каната, не считая витков, находящихся под зажимным устройством.

Полиспаст — система подвижных и неподвижных блоков, соединенных гибкой связью (канатом или цепью). Полиспасты применяют для увеличения силы — силовые или для увеличения скорости — скоростные. В грузоподъемных механизмах применяют силовые полиспасты, позволяющие уменьшить натяжение гибкой связи, момент отвеса груза на барабане и передаточное число механизма. Скоростные полиспасты позволяют получить повышенную скорость перемещения груза при малой скорости приводного элемента.

Максимальное натяжение $S_{\max}$ в системе полиспаста при подъеме груза весом $G_{\text{гр}}$

$$S_{\max} = G_{\text{гр}} / (a\eta),$$

где a — кратность полиспаста; η — КПД полиспаста. Если конец тягового элемента сбегает с подвижного блока, вместо a подставляют $(a+1)$.

Раздел III

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Глава 15

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

§ 52. Принципиальная схема водоснабжения

Основная задача водоснабжения населенного пункта или промышленного предприятия — подача к местам потребления необходимого количества воды требуемого качества с необходимым напором.

Потребность в воде населенных пунктов и промышленных предприятий удовлетворяется путем устройства систем водоснабжения — водопроводов.

Водопровод — это комплекс инженерных сооружений, предназначенных для забора воды из источников водоснабжения, ее очистки, хранения необходимых запасов и подачи к потребителям.

На принципиальной схеме водоснабжения (рис. 29) представлены все основные сооружения, которые могут входить в состав системы.

Вода из источника 1 забирается с помощью водозаборного устройства 2 и самотеком по трубам 3 поступает в береговой колодец 4, откуда насосами станции 5 первого подъема подается в отстойники 6 очистных сооружений. После обработки вода поступает на фильтры 7, а затем — в запасные резервуары 8 чистой воды, из которых насосами станции 9 второго подъема подается по магистральным водоводам 10 в бак водонапорной башни 11. Далее вода по магистральным трубопроводам 12 поступает в распределительные трубопроводы 13 сети водоснабжения потребителей.

Состав сооружений системы водоснабжения зависит от вида, мощности и местонахождения источника водоснабжения, качества воды в нем и ряда других факторов. В зависимости от конкретных условий необходимость в некоторых сооружениях может отпасть, а некоторые сооружения могут быть совмещены. Так, при заборе воды из подземных источников нет необходимости в очистных сооружениях, а при использовании высокогорных источников воды не требуются насосные станции.

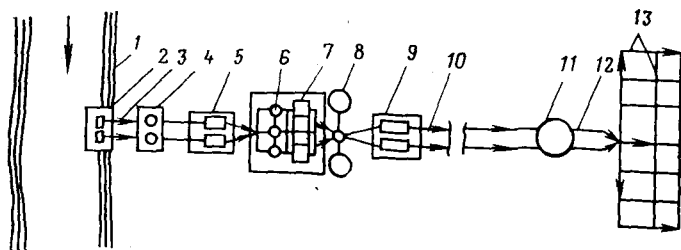


Рис. 29. Схема водоснабжения населенного пункта

Качество воды источника водоснабжения определяет необходимость, степень и характер ее очистки или обработки. При использовании воды из артезианских скважин, а также поверхностных источников только для охлаждения оборудования можно обходиться без ее очистки.

Системы водоснабжения по надежности подачи воды подразделяются на три категории. Обогащительные фабрики относятся к водопотребителям II категории, для которых допускается снижение подачи воды не более чем на 30 %, на срок до 1 мес или перерыв в подаче воды до 5 ч.

§ 53. Классификация систем водоснабжения

Системы водоснабжения (водопроводы) могут классифицироваться по ряду признаков.

По назначению водопроводы подразделяются на хозяйственно-питьевые, подающие воду для хозяйственных, гигиенических и питьевых нужд населенного пункта и промышленного предприятия; производственные, снабжающие водой предприятия для технологических целей; противопожарные, обеспечивающие подачу воды для тушения пожаров. Специальные противопожарные водопроводы сооружают на крупных предприятиях, в остальных случаях воду для тушения пожара берут из водопроводов других назначений, чаще всего из хозяйственно-питьевого.

Противопожарный водопровод объединяется с производственным редко, так как повышение давления во время тушения пожара может привести к порче технологического оборудования и ограничить подачу воды для технологических целей. Кроме того, сеть производственного водопровода ограниченнее сети противопожарного водопровода, охватывающего всю территорию промышленного предприятия.

Если вода после одного технологического процесса может быть использована в последующих технологических процессах, то применяют схемы водоснабжения с последо-

вательным использованием воды. Такая схема водоснабжения применяется для сокращения расхода свежей воды.

На крупных обогатительных фабриках, отдельные цеха которых нуждаются в воде разного качества, устраивают водоснабжение по смешанной схеме. В одних цехах применяется схема прямоточного водоснабжения, в других — обратного, а в третьих — с последовательным использованием воды.

Хозяйственно-питьевые водопроводы предусматриваются всегда прямоточными, производственные водопроводы бывают прямоточными, обратными и с последовательным использованием воды. Обратное водоснабжение исключает загрязнение естественных водоемов, поэтому в последнее время оно находит все более широкое применение.

Р 11

§ 54. Нормы и режимы водопотребления

Водопотребление — объем воды (расход), используемой для тех или иных целей в единицу времени.

Необходимо различать нормы хозяйственно-питьевого водопотребления в населенных пунктах и на промышленных предприятиях.

Нормы водопотребления в населенных пунктах устанавливают в зависимости от степени благоустройства зданий (наличия канализации, ванн, горячего водоснабжения) и климатических условий.

При проектировании системы водоснабжения необходимо учитывать неравномерность потребления воды. Например, в летнее время воды расходуется больше, чем в зимнее; также увеличивается расход воды в предвыходные дни. Расходование воды в течение суток также неравномерно. Так, ночью расходуется воды меньше, чем днем.

Коэффициентом суточной неравномерности $K_{сут}$ называют отношение суточного расхода воды в дни наибольшего водопотребления к среднесуточному ее расходу за год.

Коэффициентом часовой неравномерности $K_{ч}$ называют отношение часового расхода в часы наибольшего водопотребления к среднечасовому расходу за сутки.

Коэффициенты суточной и часовой неравномерности водопотребления зависят от степени благоустройства зданий, режима работы предприятий, уклада жизни населения и других местных условий ($K_{сут}=0,7 \div 1,3$, $K_{ч}=0,04 \div 2,8$).

Нормы хозяйственно-питьевого водоснабжения в населенных пунктах на одного жителя принимают в соответствии со СНиП II-31—74 и составляют в зависимости от степени благоустройства районов жилой застройки зданиями, л/сут:

с водопользованием из водозаборных колонок	30—50
с оборудованными внутренним водопроводом и канализацией	
без ванн	125—160
с ванными и местными водонагревателями	160—230
с централизованным горячим водоснабжением	230—350

Расчетный (средний за год) суточный расход $Q_{\text{сут}}$ [м³/сут] воды на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте

$$Q_{\text{сут}} = 0,001 q_{\text{ж}} N,$$

где $q_{\text{ж}}$ — норма водопотребления; N — расчетное число жителей.

Расчетный часовой расход воды определяется с учетом коэффициентов суточной и часовой неравномерности.

Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих на обогатительных фабриках принимается равным 25 л в смену на одного работающего при $K_{\text{ч}}=3$.

Нормы производственного водопотребления определяются технологическими расчетами или на основании опыта эксплуатации аналогичных предприятий. Нормой производственного водопотребления называют объем воды, расходуемой для выпуска единицы продукции.

Для определения потребности обогатительной фабрики в воде и баланса по воде составляют и рассчитывают шламовую схему.

При расчете шламовой схемы конкретной обогатительной фабрики значения отношения жидкого к твердому (Ж:Т) и объема воды, добавляемой в операции или к продуктам, принимают по данным испытаний обогатимости исходного сырья с учетом практического опыта обогатительных фабрик, обрабатывающих близкое по составу сырье.

При расчете шламовой схемы учитывается расход воды, потребляемой только для технологических целей. Для определения общей потребности обогатительной фабрики в воде следует учитывать расход воды на хозяйственно-питьевые нужды, в душевых, а также на смыв полов, промывку оборудования и др. Принято считать, что общее потребление воды фабрикой на 10—15% превышает потребление воды для технологических целей.

При разработке технико-экономических обоснований (ТЭО), проектировании систем водоснабжения и канализации обогатительных фабрик, составлении схем комплексного использования и охраны водных ресурсов для ориентировочных расчетов водопотребления и объема сточных вод на ближайшие 10—15 лет могут быть применены укрупненные нормы водопотребления и водоотведения (табл. 5). Эти нормы могут также служить критерием рационального использования воды на действующих обогатительных фабриках.

Напоры в водопроводной сети. Вода в водопроводную сеть должна подаваться насосными станциями (или самотеком) не только в требуемом объеме, но и с необходимым напором.

Напором H называют высоту, на которую поднимается жидкость в результате сообщения ей насосом удельной энергии (энергии на 1 кг массы жидкости). Напор измеряется в метрах.

Свободный напор $H_{\text{св}}$ [м] — напор, создаваемый в наружной сети, с которым водопроводная вода подается в здания к потребителям:

$$H_{\text{св}} = H_{\text{г}} + \Sigma h + h_{\text{пр}},$$

где $H_{\text{г}}$ — геометрическая высота расположения наивысшего водозаборного прибора над поверхностью земли, м; Σh — сумма потерь напора на участке от ввода в здание до наивысшего водозаборного прибора, м; $h_{\text{пр}}$ — свободный напор у наивысшего водозаборного прибора, м.

Минимальный свободный напор в наружной водопроводной сети населенного пункта при хозяйственно-питьевом водопотреблении на вводе в здание при одноэтажной застройке должен быть не менее 10 м, при большей этажности на каждый этаж следует добавлять 4 м.

Свободный напор в наружной сети производственного водопровода зависит от отметки наиболее высокорасположенного водозаборного прибора и технологической характеристики оборудования.

§ 55. Схемы водоснабжения обогатительных фабрик

Выбор схемы водоснабжения обогатительной фабрики зависит от многих факторов: расположения и мощности источника водоснабжения, способа обогащения полезного ископаемого, качества воды, кратности использования воды и др. Схема водоснабжения обогатительной фабрики должна быть взаимосвязана со схемами водоснабжения других близлежащих потребителей воды. Одновременно с решением вопроса водоснабжения фабрики должны быть разработаны схемы использования воды, канализации и очистки сточных вод.

Схемы использования воды зависят от функций, выполняемых водой в системах производственного водоснабжения. Вода на обогатительных фабриках используется для вспомогательных целей и в состав продукции не входит, т. е. относится ко II и IV категориям. Вода II категории используется как среда, поглощающая и транспортирующая примеси без нагрева (обогащение полезных ископаемых, гидротранспортирование хвостов); при этом она загрязняется механическими и растворенными примесями, но не нагревается. Вода IV категории использу-

Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения на единицу продукции

Руда, способ обогащения	Расчетная единица измерения	Система водоснабжения	Среднегодовой расход воды на ед. измерения, м³				Среднегодовой расход выпускаемых в водоемы сточных вод на ед. измерения, м³			Безвозвратное потребление и потеря воды, м³	Коэффициент изменения среднегодовой нормы в летний и зимний сезоны
			оборотной, после дозавлечения и повторно используемой	свежей из источника			Всего	в том числе	Всего		
				технической	для производственных целей	для хозяйственно-бытовых целей					

Кварциты	1 т товар- ного квар- цита	1,138	0,41	0	0,003	0,414	0,39	0,328	0,003	0,024	1	1,05
Окомкование	1 т окаты- шей	4,2	1,5	0,9	0,1	2,5	2,3	1,3	0,1	0,2	1	1

Обогатительные фабрики цветной металлургии

Полиметаллическая, флотация	1 т руды	3,5	1,1	0	0,13	1,23	0,13	0	0,13	1,1	1,1	0,9
Свинцово-баритовая, флотация	То же	3,5	1,1	0	0,13	1,23	0,13	0	0,13	1,1	1,1	0,9
Медная, флотация	»	4,26	0,57	0	0,03	0,6	0,03	0	0,03	0,57	1,1	0,9
Сурьмяно-ртутная	»	2,75	1,14	0	0,035	1,175	0,035	0	0,035	1,14	1,2	0,8
Моносурьмяная, флотация	»	2,9	0,97	0,007	0,012	0,987	0,012	0	0,012	0,97	1,2	0,8
Титано-циркониевые пески, гравитацион- ное обогащение	»	25,6	0,9	0	0,003	0,903	0	0	0	6	1,2	0,8
Медно-цинковая, флотация	»	6,77	1,2	0	0,05	1,25	0,05	0	0,05	1,2	1,1	0,9
Плавишкопчатая: флотация	»	6	1,5	0	0,3	1,8	0,3	0	0,3	1,5	1,1	0,9
гравитационное обогащение	»	7	1	0	0,3	1,3	0,3	0	0,3	1	1,1	0,9

ется в качестве растворителя реагентов для флотации, приготовления коагулянтов. В незначительных объемах вода используется для охлаждения оборудования (без соприкосновения с основными продуктами); при этом она нагревается и практически не загрязняется (вода I категории).

На обогатительных фабриках применяют следующие схемы:

с п р я м о т о ч н ы м (однократным) использованием воды (рис. 30, а) — объем отводимых в водоем сточных вод определяется как разность между объемом свежей воды, взятой из водоема, и потерями воды безвозвратными и со шламами;

с п о с л е д о в а т е л ь н ы м (двух-трехкратным) использованием воды (рис. 30, б) — используемая последовательно в первом и втором производствах вода возвращается в тот же водоем аналогично прямоточной схеме;

с о б о р о т о м воды (рис. 30, в) — отработанная вода после соответствующей очистки и обработки полностью или частично используется на пополнение систем оборотного водоснабжения;

з а м к н у т а я схема — отработанная вода после соответствующей очистки и обработки полностью используется на пополнение систем оборотного водоснабжения и в естественные водоемы не сбрасывается.

Технические решения, принимаемые в проектах для схем и систем водоснабжения обогатительных фабрик, должны обосновываться сравнением технико-экономических показателей разработанных вариантов. Оптимальный вариант должен определяться наименьшим значением приведенных затрат.

Глава 16

ВОДОЗАБОРНЫЕ, ОЧИСТНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ

§ 56. Источники водоснабжения

Источники водоснабжения подразделяются на поверхностные (реки, водохранилища, озера, моря) и подземные. Подземные воды могут быть безнапорными и напорными.

Безнапорные воды заполняют водоносные горизонты не полностью и имеют свободную поверхность. Безнапорные подземные воды первого от поверхности земли водоносного горизонта называют грунтовыми. Грунтовые воды, как правило, характеризуются повышенной загрязненностью, поэтому при использовании для водоснабжения их необходимо подвергать очистке и обеззараживанию.

Напорные (артезианские) воды заполняют водоносные горизонты полностью. Артезианские воды обычно ха-

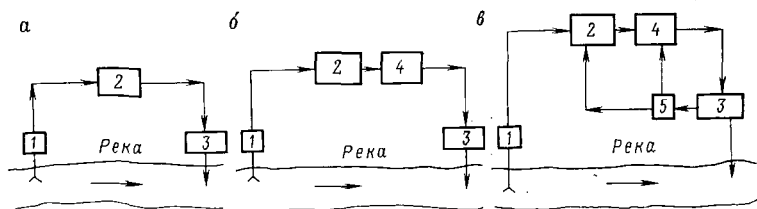


Рис. 30. Схемы использования воды:

1 — насосная станция; 2 — обогатительная фабрика; 3 — хвостохранилище; 4 — флотационная фабрика; 5 — насосная станция оборотного водоснабжения

характеризуются высоким качеством и в большинстве случаев используются для хозяйственно-питьевых целей без очистки.

При выборе реки в качестве источника водоснабжения необходимо учитывать сезонные колебания ее расхода. Очевидно, что водоснабжение не может быть основано на реках, периодически пересыхающих или полностью промерзающих.

Для промышленных целей может быть использована морская вода. При отсутствии в приморских районах пресной воды морская вода после опреснения может использоваться и для хозяйственно-питьевых целей.

Выбор источника — одна из наиболее ответственных задач при проектировании системы водоснабжения вообще и обогатительной фабрики в частности, так как он определяет характер самой системы, наличие в ее составе тех или иных сооружений и как следствие, стоимость строительства и эксплуатации.

Источник водоснабжения должен обеспечивать: получение из него необходимого количества воды с учетом роста водопотребления при развитии в перспективе объекта; бесперебойность снабжения водой потребителей; такое качество воды, которое соответствует нуждам потребителей, без очистки или после простой и дешевой ее очистки; возможность подачи воды с наименьшей затратой средств. Кроме того, источник водоснабжения должен обладать такой мощностью, чтобы отбор воды из него не нарушал сложившуюся экологическую систему.

§ 57. Физические, химические и бактериологические свойства воды

Качество воды природных источников определяется ее физическими свойствами, химическим составом и бактериальными загрязнениями.

Требования к качеству питьевой воды установлены ГОСТ 2874—82. Требования к качеству воды, используемой на обога-

тельных фабриках для производственных нужд, устанавливаются ведомственными нормами и техническими условиями.

Физические свойства воды характеризуются содержанием взвешенных веществ, мутностью или прозрачностью, цветностью, запахом, вкусом, температурой.

Содержание взвешенных веществ в воде может быть определено или непосредственно весовым способом, или косвенно измерением мутности (прозрачности) воды. Согласно ГОСТ 2874—82 содержание взвешенных веществ в воде, подаваемой для хозяйственно-питьевых целей централизованными водопроводами, не должно превышать 1,5 мг/л.

Мутность воды характеризуется содержанием в ней взвешенных веществ и измеряется (миллиграмм на литр) специальными приборами — мутномерами. Для производственной воды мутность нежелательна, особенно при флотационном методе обогащения.

Прозрачность воды измеряют в стеклянной трубке с сантиметровой шкалой. При этом определяют толщину слоя воды, через который еще виден нанесенный черной краской на белой пластинке условный знак (в виде двух крестообразно расположенных линий толщиной 1 мм) или специальный стандартный шрифт. Прозрачность измеряется в сантиметрах.

Цветность воды объясняется главным образом присутствием в воде гумусовых веществ. Измеряется цветность (в градусах) по платино-кобальтовой шкале путем сравнения исследуемой воды с водой, имеющей эталонную цветность. Цветность питьевой воды не должна превышать 20°.

Запах и вкус воды природных источников обусловлены наличием в ней растворенных газов, различных минеральных солей, а также органических веществ и микроорганизмов.

Для производственной воды обогатительных фабрик запах и вкус воды существенного значения не имеют.

Температура воды поверхностных источников колеблется в пределах 0—30 °С. Грунтовые воды на глубине более 10 м имеют постоянную температуру 4—8 °С. Для питьевых целей наиболее желательно использование воды с температурой 7—12 °С.

Химические свойства воды зависят от растворенных в ней различных веществ: извести, гипса, аммиака, кислорода, угольной кислоты, сероводорода, солей железа, кальция, магния, натрия, азота и др. Общее содержание в воде растворенных солей (миллиграмм на литр) характеризуется плотным остатком, который определяется выпариванием профильтрованной воды.

Жесткость воды обусловлена содержанием в ней солей кальция и магния. Жесткость воды выражается в миллимолях на 1 кг воды (1 ммоль кальция содержит 40,08 мг катионов кальция; 1 ммоль магния содержит 24,32 мг катионов магния).

По жесткости вода классифицируется следующим образом: менее 3,5 ммоль/кг — мягкая; 3,5—7 ммоль/кг — среднежесткая; более 7 ммоль/кг — жесткая.

Содержание газов и химических элементов. Высокое содержание в воде кислорода, углекислоты и сероводорода недопустимо, так как они способствуют коррозии металлических и бетонных труб. Содержание различных химических элементов в хозяйственно-питьевой воде должно быть не более, мг/л: 0,3 железа; 1,2 фтора; 0,1 свинца; 1 меди; 5 цинка.

Для флотационных фабрик можно применять воду только с примесями, не влияющими на флотационный процесс. Недопустимо содержание солей тяжелых металлов и органических соединений: масел, жиров и т. п.

Активная реакция воды характеризуется показателем концентрации в ней водородных ионов (рН). Для нейтральной среды рН равно 7; для кислой воды рН меньше 7; для щелочной — рН больше 7. Согласно ГОСТ 2874—82 вода, подаваемая хозяйственно-питьевым водопроводом, должна иметь рН в пределах 6,5—9,5. Для воды большинства природных источников значение рН не выходит из указанных пределов. На обогатительных фабриках применяется вода с рН 6—10. Кислотность воды оказывает влияние на коррозию металлов. Наибольшей агрессивностью отличаются воды, содержащие соли соляной кислоты.

Бактериальная загрязненность воды характеризуется содержанием бактерий в 1 мл воды. Согласно ГОСТ 2874—82, питьевая вода должна содержать не более 100 бактерий в 1 мл. Бактериальное загрязнение воды не препятствует ее использованию на обогатительных фабриках для технических целей.

§ 58. Водозаборные сооружения

Сооружения для забора подземной воды. При определении места расположения приемника подземных вод необходимо учитывать глубину залегания водоносного горизонта, мощность водоносного пласта, напор, направление потока и т. п.

В зависимости от глубины и мощности водоносного пласта применяют следующие водозаборные сооружения: водозаборные скважины, горизонтальные водозаборы, шахтные колодцы, лучевые водозаборы, каптажи.

Водозаборные скважины применяют при глубине залегания подземных вод более 10 м. В проекте скважины должны быть указаны способ бурения, конструкция и глубина скважины, диаметр колонн и труб, типы водоприемной части, водоподъемника и оголовка скважины.

Глубину скважины определяют в зависимости от глубины залегания и мощности водоносного пласта, намечаемого к экс-

плуатации, расчетных значений дебита воды и положения динамического уровня. Водозаборные скважины оборудуют погружными центробежными насосами.

Горизонтальные водозаборы применяют при глубине залегания водоносного горизонта до 5—8 м и небольшой мощности (до 2—3 м). Горизонтальный водозабор состоит из водозаборных труб, водозаборного и смотровых колодцев. Вода по трубам (керамическим, асбестоцементным, железобетонным или пластмассовым) поступает в водозаборный колодец самотеком; из водозаборного колодца вода забирается насосами.

Шахтные колодцы применяют для забора воды из верхнего безнапорного горизонта при мощности водоносного пласта 5—10 м.

Лучевые водозаборы применяют для захвата подземных вод из водоносных пластов мощностью не более 20 м, расположенных на глубине не более 15—20 м. Вода отбирается расположенными в водоносных породах горизонтальными трубчатыми дренами, присоединенными к сборному шахтному колодцу. Лучевые водозаборы выполняют из перфорированных стальных труб.

Каптаж и применяют для забора подземных вод при наличии их концентрированных выходов на поверхность в виде родников. Вода из восходящего родника забирается через дно каптажной камеры, из нисходящего — через отверстия в стене камеры.

Сооружения для забора поверхностной воды подразделяют на: береговые, русловые, специальные. Конструкция водозаборного сооружения должна обеспечивать забор из источника расчетного расхода воды и подачу его потребителю, защищать систему водоснабжения от попадания в нее посторонних предметов (сора, планктона, наносов, льда и пр.), не допускать попадания рыбы в водоприемник на водоемах рыбохозяйственного значения.

Место забора воды для водопровода питьевого назначения должно быть выше по течению реки выпусков сточных вод населенного пункта. Место расположения водоприемников должно быть согласовано с органами санитарного надзора и обеспечивать возможность организации зоны санитарной охраны.

Береговые водоприемники бывают раздельными или совмещенными с насосными станциями. Их сооружают при сравнительно крутых берегах рек.

Размеры основных элементов водоприемника (входных окон, сеток, труб и др.), а также отметки оси насосов определяют гидравлическими расчетами для расчетного расхода и минимального уровня воды в источнике. На сетках задерживается значительная часть загрязняющих веществ, содержащихся в

воде, что в значительной мере облегчает работу сооружений для осветления воды, а в системах производственного водоснабжения позволяет использовать воду без какой-либо дополнительной очистки.

Водоприемники могут быть оборудованы горизонтальными или вертикальными насосами. Береговой водоприемник, совмещенный с насосной станцией, более компактен.

Русловые водоприемники с самотечными линиями применяют для забора воды из рек с пологими берегами, когда глубина реки у берега недостаточна. В русловом водоприемнике вода самотеком поступает в береговой колодец, из которого по всасывающей трубе забирается насосом.

К *специальным водозаборным сооружениям* относятся ковшовые, инфильтрационного типа и передвижные водоприемники.

Ковшовые водоприемники применяют при наличии шуги, подводного льда и в целях уменьшения количества захватываемых из реки наносов. В этом случае воду забирают не из русла реки, а из искусственно созданных заливов-ковшей.

Водоприемники инфильтрационного типа применяют, если речная вода сильно загрязнена, но имеется возможность забирать воду, профильтровавшуюся через грунт дна и берега реки (русло реки сложено водопроницаемыми породами). Водоприемники этого типа по характеру работы близки к рассмотренным выше сооружениям для приема подземных вод (водозаборные скважины, горизонтальные и лучевые водозаборы).

Передвижные водоприемники, расположение которых может меняться в соответствии с изменением уровня воды в реке, совмещены с насосной установкой и позволяют забирать воду при малой и постоянной высоте всасывания. Примером такого водоприемника может служить плавучая насосная станция для подачи осветленной воды из хвостового пруда на обогатительную фабрику.

§ 59. Очистка водопроводной воды и очистные сооружения

Для очистки воды, используемой для хозяйственно-питьевых целей, применяют осветление, обесцвечивание и обеззараживание (дезинфекцию).

Если для производства требуется вода с невысокой прозрачностью, достаточно процедить ее через решетки и сетки, устанавливаемые в водозаборных сооружениях. Более мелкие взвешенные частицы можно осадить с помощью простого механического отстаивания воды в отстойниках, при необходимости осуществив предварительное *коагулирование*. Введение в воду коагулянтов (химических реагентов) ускоряет процесс

осаждения взвешенных частиц, особенно коллоидных. Приготавливают и дозируют реагенты с помощью специальных установок, входящих в состав реагентного хозяйства. Раствор коагулянта перемешивают с обрабатываемой водой в смесителе. Для более глубокого осветления воды применяют ее фильтрование через зернистую загрузку в фильтрах.

Наиболее распространенные способы обеззараживания — хлорирование и бактерицидное облучение. В ряде случаев применяют специальную обработку воды, заключающуюся в обезжелезивании, умягчении, обессоливании, дегазации, аэрировании. Очистные сооружения располагают таким образом, чтобы вода могла передаваться из одного сооружения в другое самотеком.

Принципиальная схема очистки воды действует следующим образом. Вода из источника водоснабжения насосами подается в смеситель. Часть воды поступает в здание реагентного хозяйства для приготовления коагулянта. Раствор реагента смешивается в смесителе со свежей водой и направляется в камеру реакции, а затем в отстойники. Вода из отстойника после фильтрования хлорируется. Обеззараженная вода стекает в резервуар, из которого насосами подается потребителям.

Реагентное хозяйство включает в себя установки для приготовления раствора коагулянта. Коагулянт подается в воду предварительно растворенный.

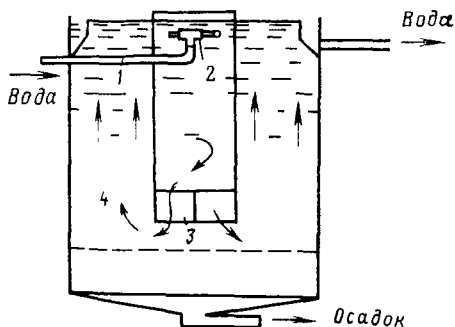
Реагенты должны быстро и хорошо смешиваться с водой. Для этой цели служат смесители. Продолжительность смешивания должна не превышать 2 мин. Наибольшее распространение получили дырчатые, ершовые и вихревые смесители.

Из смесителя вода поступает в камеру реакции, где продолжается перемешивание коагулянта с водой в течение 15—30 мин и заканчивается образованием хлопьев. Скорость воды в камере должна быть такой, чтобы хлопья в ней не выпадали и не разбивались. Камеры реакций бывают водоворотные, перегородчатые, лопастные, вихревые и др.

Водоворотная камера реакции объединяется с вертикальным отстойником (рис. 31). Камера выполнена в виде трубы 2, находящейся внутри вертикального отстойника 4. Движение (вращение) воды происходит благодаря силе струи воды, поступающей в камеру сверху по трубе 1 через сопла. Внизу камеры установлены решетки 3, которые останавливают вращательное движение воды. Скапливающийся на дне осадок периодически удаляют. Время отстаивания 2 ч. Отстоенная вода поступает на фильтры.

Горизонтальный отстойник представляет собой прямоугольный резервуар, вода в котором движется от одной стороны отстойника (впуск) к другой (выпуск). Горизонтальный отстойник может быть выполнен со встроенной камерой реак-

Рис. 31. Схема вертикального отстойника с водоворотной камерой реакции



ции. Осадок скапливается на дне, которое должно иметь уклон, обратный движению воды. Горизонтальные отстойники для одновременного осветления большого объема воды могут разделяться по высоте на несколько этажей. Время отстаивания для горизонтальных отстойников 4 ч. Применяются они на станциях большой производительности.

Разновидность горизонтальных отстойников — радиальные. Они применяются для осветления вод с содержанием взвешенных веществ более 10 г/л. Достоинство радиальных отстойников — возможность непрерывного удаления осадка.

Из отстойника осветленная вода поступает на *фильтрование* в безнапорных (самотечных) или напорных фильтрах. В зависимости от скорости фильтрования фильтры подразделяются на медленные, скорые и сверхскорые. Производительность фильтра определяется скоростью фильтрования.

Фильтр представляет собой резервуар, в нижней части которого расположено дренажное устройство для отвода профильтрованной воды. На дренаж укладывается слой поддерживающего материала (гравий), а на него — слой фильтрующего материала (речной кварцевый песок).

В настоящее время в системах водоснабжения наибольшее распространение получили **безнапорные скорые фильтры**. Скорость фильтрования в них 6—12 м/ч.

Перед подачей потребителю воду *обеззараживают* хлорированием, озонированием, обработкой ультрафиолетовыми лучами, кипячением и другими способами.

Производственную воду очищают от механических примесей без коагуляции на напорных, сверхскоростных грубозернистых фильтрах. Производственная вода при наличии в ней тех или иных нежелательных растворенных веществ может нуждаться в умягчении, обессоливании и других методах улучшения ее качеств.

Умягчение воды — процесс снижения ее жесткости, обусловленной наличием солей кальция и магния. В практике водоподготовки получили распространение следующие методы умяг-

чения воды: реагентный, катионитовый, термический и комбинированный. Способ умягчения воды выбирают исходя из требований к ее качеству (глубины умягчения) и технико-экономических обоснований.

Обессоливание воды — удаление из нее растворенных солей. Частичное удаление растворенных солей называется опреснением. Опреснению подвергается морская или сильно минерализованная грунтовая вода.

Основные методы обессоливания — термический и химический. При термическом методе вода выпаривается, а пар охлаждается. Полученный конденсат не содержит растворенных солей. При химическом методе для удаления из воды катионов и анионов растворенных солей ее пропускают сначала через катионитовые, а затем через анионитовые фильтры.

Дегазация воды — удаление из нее растворенных газов (углекислоты, кислорода, сероводорода и др.) в целях уменьшения коррозионных свойств.

§ 60. Запасные и регулирующие емкости

В связи с тем, что расход воды потребителями в течение суток и подача воды насосной станцией неодинаковы, в системе водоснабжения сооружаются запасные, регулирующие и комбинированные емкости. По способу подачи воды в сеть запасные и регулирующие емкости можно разделить на водонапорные башни и пневматические установки. В первом случае напор обеспечивается установкой резервуара на естественной или искусственной возвышенности; во втором — давлением сжатого воздуха, подаваемого в герметически закрытый резервуар с водой.

Регулирующие емкости позволяют обеспечить относительно равномерную работу насосных станций, так как отпадает необходимость в подаче пиковых расходов воды, а в связи с этим уменьшить диаметр, а следовательно, и стоимость водопроводов. Кроме того, сооружение запасных и регулирующих емкостей повышает надежность систем водоснабжения.

Водонапорная башня состоит из следующих основных элементов: водонапорного бака, поддерживающей конструкции (ствола), обогревающего шатра и системы трубопроводов.

Вместимость бака водонапорной башни и высоту башни определяют при проектировании системы водоснабжения расчетным путем. Вместимость бака колеблется от нескольких десятков до нескольких тысяч кубических метров; высота башни — 10—30 м. Водонапорные башни рекомендуется располагать на естественных возвышенностях; в этих случаях имеется возможность заменить башню напорным резервуаром.

На обогатительных фабриках водонапорные баки иногда располагают на верхних перекрытиях зданий; при использовании оборотной воды сооружают два бака (для свежей и оборотной воды).

Напорные резервуары используют в системах водоснабжения как регулирующие емкости; одновременно они могут служить для хранения пожарных и аварийных запасов воды. При расположении резервуаров на естественных возвышенностях назначение их аналогично водонапорным башням.

Применяются также *безнапорные резервуары*, т. е. такие, из которых вода откачивается насосами. Безнапорные резервуары применяют для хранения пожарных и аварийных запасов воды, приема свежей воды, а также в качестве питающей системы оборотного водоснабжения.

Глава 17

ВОДОПРОВОДНАЯ СЕТЬ

§ 61. Схемы водопроводных сетей

Водопроводная сеть — составная часть системы водоснабжения населенного пункта или промышленного предприятия, предназначенная для бесперебойной подачи заданного объема воды к местам ее потребления с требуемым напором.

В зависимости от расположения водопроводные сети подразделяются на наружные и внутренние.

Наружная водопроводная сеть — система трубопроводов с арматурой и сооружениями, предназначенными для подвода воды от регулировочных сооружений до ввода в здания.

Наружная водопроводная сеть состоит из магистральных и распределительных линий (сетей). По магистральным линиям вода транспортируется транзитом в более отдаленные районы снабжаемой территории. Направление магистральных линий в основном соответствует направлению движения основной массы воды (рис. 32, а, сплошные линии). Основные транзитные магистрали соединяются перемычками, которые также относятся к магистральным линиям. Назначение перемычек — выравнивание загрузки основных продольных магистральных линий и обеспечение надежности системы водоснабжения.

Линии, присоединенные к магистральной сети и осуществляющие подвод воды к зданиям и пожарным гидрантам, составляют распределительную сеть (см. рис. 32, а, штриховые линии).

Наружные водопроводные сети бывают тупиковые и кольцевые.

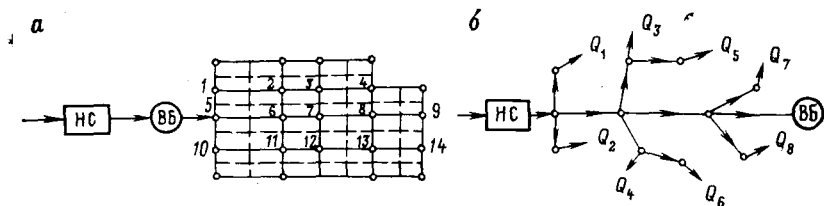


Рис. 32. Схемы наружных водопроводных сетей:

а — кольцевая с резервуаром по пути; *б* — тупиковая с контррезервуаром; 1—14 — узловые точки кольцевой части; Q_1 — Q_8 — сосредоточенные расходы в точках потребления

Тупиковая сеть (рис. 32, б) состоит из одной магистральной линии и отходящих от нее нескольких распределительных линий. Потребители получают воду только по одной линии, и при аварии подача воды всем потребителям, расположенным ниже места аварии по направлению движения воды, прекращается. Тупиковые сети допускается применять для подачи воды: на производственные нужды, если допустим перерыв в водоснабжении на время ликвидации аварии; на хозяйственно-питьевые нужды при диаметре труб не более 100 мм;

на противопожарные нужды при длине распределительной линии не более 200 м.

Требуемая надежность тупиковых сетей может быть обеспечена созданием достаточных резервных емкостей воды у потребителей или устройства водонапорной башни (или контррезервуара) в конце тупика.

Кольцевая сеть (см. рис. 32, а) состоит из нескольких магистральных линий, соединенных между собой перемычками и распределительными линиями. В кольцевой сети вода потребителям может быть подана по нескольким параллельно расположенным линиям. Тем самым кольцевая сеть менее уязвима при возникновении аварий. Водопроводные сети должны быть кольцевыми, за исключением случаев, перечисленных выше.

При выключении одной магистральной линии кольцевой сети подачу воды на хозяйственно-питьевые нужды по остальным линиям допускается снижать на 30—50% в зависимости от числа точек питания сети. Допустимое снижение подачи воды на производственные нужды определяется из расчета работы предприятий по аварийному графику.

Соединение сетей хозяйственно-питьевых водопроводов с сетями производственной воды не допускается.

Внутренняя водопроводная сеть — система трубопроводов с арматурой и сооружениями, расположенными внутри зданий, предназначенная для подвода воды от наружной сети к местам потребления. Внутренний водопровод должен обеспечивать пода-

чу воды соответствующему расчетному числу водопотребителей или установленным водозаборным приборам.

В состав внутреннего водопровода входят следующие элементы: вводы, водомерные узлы, разводящая сеть, подводки к санитарным приборам и технологическим установкам, водоразборная, запорная и регулирующая арматура. В зависимости от назначения здания, местных условий и технологии производства в систему внутреннего водопровода могут быть включены насосные и пневматические установки, водонапорные баки и резервуары, расположенные внутри здания.

Систему внутренних водопроводов следует выбирать с учетом принятой системы наружного водопровода и требований технологии производства. По назначению внутренние водопроводы классифицируются так же, как наружные. На обогатительных фабриках дополнительно сооружают водопроводы для оборотной производственной воды.

Противопожарный водопровод в зданиях, имеющих хозяйственно-питьевой или производственный водопровод, объединяется с одним из них. В отдельной сети противопожарного водопровода максимальный напор не должен превышать 90 м на отметке наиболее низкорасположенных пожарных кранов.

Каждый пожарный кран должен быть снабжен пожарным рукавом (одинакового с ним диаметра, длиной 10 или 20 м) и пожарным стволом.

Гидростатический напор в системе внутреннего хозяйственно-питьевого или хозяйственно-противопожарного водопровода не должен превышать 60 м. Необходимый свободный напор у технологического оборудования принимается в соответствии с технической характеристикой оборудования.

Внутренние водопроводные сети бывают тупиковыми и кольцевыми (или с закольцованными вводами). Тупиковые сети применяются, если допускается перерыв в подаче воды, кольцевые — если необходимо обеспечить непрерывную подачу воды. Они должны быть присоединены к наружной кольцевой сети не менее чем двумя вводами. В местах присоединения вводов к наружным хозяйственно-питьевым и производственным водопроводам устраиваются колодцы с установленными в них задвижками.

§ 62. Расчет водопроводных сетей

Расчет водопроводных сетей заключается в выборе диаметра труб и определении потерь напора в трубах при расчетных расходах воды. При наличии в системе водоснабжения водонапорной башни и запасных резервуаров рассчитывают их вместимость и высоту башни. По расчетным расходам и напорам выбирают насосы.

В связи с тем, что сопротивление трубопровода увеличивается по мере возрастания расхода, необходимо учитывать потери напора в трубопроводе при максимальном расходе. Принято считать, что промышленным предприятиям для производственных и хозяйственно-питьевых целей вода подается в виде сосредоточенных расходов, а для хозяйственно-питьевых целей в населенных пунктах равномерно по длине магистральных линий. Равномерно распределяемый (путевой) расход воды, приходящийся на 1 м длины трубопровода, называется удельным расходом и определяется как частное от деления общего расхода воды на длину сети. Расход воды на отдельных участках равняется произведению удельного расхода на длину участка.

Для магистрального трубопровода кроме путевого расхода рассчитывают транзитный расход воды, идущей на последующие участки.

Транзитный расход $Q_{тр}$ на данном участке постоянен, а путевой изменяется от начального (максимального) значения Q_n до 0 (в конце данного участка). Таким образом, расчетный расход Q_p воды, проходящей по трубопроводу, определяется: в начале участка

$$Q_p = Q_{тр} + Q_n;$$

в конце участка

$$Q_p = Q_n;$$

при определении диаметра трубопровода

$$Q_p = Q_{тр} + \alpha Q_n,$$

где $\alpha = 0,5 \div 0,58$ — коэффициент, зависящий от соотношения транзитного и путевого расхода и от степени равномерности фактического отбора воды по длине линии;

внутренний диаметр d труб

$$d = \sqrt[4]{4Q_p / (\pi v)},$$

где v — скорость движения воды.

В практике проектирования водопроводных сетей пользуются методом подбора диаметра труб по значениям средней экономически целесообразной скорости, определенной в результате исследований, опыта проектирования и эксплуатации:

d , мм		<400	400—900	>900
v , м/с		0,6—1	1,1—1,5	1,6—1,8

В связи с тем, что водопроводные трубы изготавливаются определенного стандартного диаметра, практически приходится принимать в качестве экономически целесообразного стандартный диаметр $d_{ст}$, ближайший по значению к полученному по приведенной формуле. Действительная скорость v_d вычисляется по этой же формуле после замены в ней d на $d_{ст}$.

Потери напора h [м] на трение в водопроводных трубах длиной l [м]

$$h = \lambda v_d^2 l / (2gd_{ст}),$$

где λ — коэффициент сопротивления по длине, зависящий от материала труб, шероховатости их стенок и диаметра, режима движения жидкости (определяется по эмпирическим формулам).

Потеря напора — гидравлический уклон i — на единицу длины трубопровода (на 1, 100 или 1000 м)

$$i = h/l = \lambda v_d^2 / (2gd_{ст}).$$

Потери напора в местных сопротивлениях (фасонные части и арматура) или учитываются коэффициентом, равным 1,05—1,1, или вообще не учитываются из-за малого значения.

Высота H_6 [м] водонапорной башни (от поверхности земли до днища бака)

$$H_6 = z_a - z_6 + H_{св а} + \Sigma h,$$

где z_a и z_6 — геодезические отметки поверхности земли соответственно в диктующей точке и в месте расположения водонапорной башни, м; $H_{св а}$ — требуемый свободный напор в диктующей точке, м; Σh — сумма потерь напора в сети от диктующей точки до водонапорной башни, м.

Диктующей называют точку, требующую наибольшей высоты водонапорной башни. Обычно это наиболее высокорасположенная и удаленная от башни точка.

Необходимый объем V_6 [м³] бака водонапорной башни

$$V_6 = V_p + V_n,$$

где V_p — объем регулировочной емкости, м³; V_n — неприкосновенный запас воды для тушения одного внутреннего и одного наружного пожара в течение 10 мин, м³.

Объем V_p регулировочной емкости в системах водопроводов определяют в зависимости от режима поступления воды в бак и расхода воды из него с помощью таблиц или совмещенных графиков водопотребления и подачи воды насосами.

Напор H_n [м], создаваемый насосами,

$$H_n = z_6 - z_0 + H_6 + H_0 + \Sigma h_{вс} + \Sigma h_{в},$$

где z_0 — геодезическая отметка самого низкого уровня воды в источнике, м; H_0 — высота слоя воды в баке от днища до верхнего уровня воды, м; $\Sigma h_{вс}$ — сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе, м; $\Sigma h_{в}$ — сумма потерь напора в водоводе, м.

§ 63. Устройство водопроводных сетей

К водоводам и водопроводным сетям предъявляются следующие эксплуатационные требования: прочность, герметичность, долговечность.

Под прочностью подразумевается сопротивление возможным внутренним и внешним нагрузкам. Внутренние нагрузки в водопроводных трубах возникают в результате давления воды на внутреннюю поверхность стенок, внешние нагрузки — в результате давления грунта, прогиба от собственной тяжести, движения транспорта и т. п.

Герметичность (водонепроницаемость) водопроводных труб — важнейшее условие надежной и экономичной работы водопровода, так как несоблюдение герметичности вызывает утечку воды и тем самым повышает эксплуатационные затраты.

Долговечность — длительный срок службы, обусловливаемый хорошим сопротивлением материала труб воздействию окружающей среды.

Для водоводов и наружных водопроводных сетей применяют чугунные, стальные, асбестоцементные, железобетонные и пластмассовые трубы. В настоящее время начинают находить применение предварительно напряженные железобетонные трубы.

Наружные сети водопроводов оборудуют *арматурой*, обеспечивающей их правильную эксплуатацию. Устанавливается она в колодцах или камерах.

Для наружных сетей применяют арматуру следующих типов:

запорная и регулирующая — задвижки, вентили и другие затворы;

водоразборная — водоразборные колонки и краны, пожарные гидранты;

предохранительная — обратные клапаны, гасители гидравлических ударов, вантузы, компенсаторы.

Задвижки служат для регулирования расходов воды в сети и отключения участков сети для осмотра и ремонта. Применяют в основном задвижки двух типов: клиновые и параллельные. Задвижки различных типов изготавливают с внутренним диаметром 50—2000 мм. Задвижки диаметром 100 мм и больше снабжают для облегчения управления редукторами, электрическим или гидравлическим приводом.

Водоразборные колонки и краны, пожарные гидранты. В системах водоснабжения обогатительных фабрик вода на производственные нужды поступает по трубам непосредственно к потребителям. Для хозяйственно-питьевых нужд вода из водопроводной сети разбирается через внутренние водопроводные краны, а при отсутствии домовых вводов воду разбирают через водоразборные колонки. Для тушения пожара внутри зданий устанавливают специальные краны, а на наружной водопроводной сети — гидранты (подземные и наземные).

Обратный клапан предназначен для автоматического прекращения потока воды в обратном направлении.

Обратные клапаны устанавливают на трубопроводах около насосов и на ответвлениях от сети в местах, где необходимо создать движение воды только в одном направлении.

Вантузы устанавливают в возвышенных местах водопроводной сети для автоматического удаления скапливающегося в трубопроводах воздуха.

Компенсаторы на водопроводных сетях из стальных труб устанавливают для восприятия угловых или линейных смещений.

Для защиты трубопроводов от гидравлического удара применяют предохранительные клапаны и гасители гидравлических ударов.

§ 64. Прокладка водопроводных сетей и их эксплуатация

Транспортирующие воду сооружения могут быть разделены на два типа: напорные, подача воды по которым осуществляется насосами, и безнапорные, движение воды по которым происходит под действием силы тяжести.

Транспортирующее воду сооружение должно обеспечивать надежность и бесперебойность снабжения объекта водой. Бесперебойность подачи воды достигается:

конструкцией водовода, обеспечивающей его безаварийную работу;

дублированием линий водовода, позволяющим выключать его отдельные участки на ремонт, не прекращая подачи воды потребителям;

устройством в конечных (а иногда и в промежуточных) точках водовода резервных емкостей, позволяющих снабжать водой потребителей на время ремонта или ликвидации аварий на водоводе.

Для напорных водоводов, кроме того, необходима бесперебойная работа насосных станций (наличие резервных насосных агрегатов, резервирование подачи энергии и т. п.).

Для напорных водоводов и сетей, как правило, следует применять неметаллические трубы (железобетонные, асбоцементные, полиэтиленовые и др.). Применение стальных труб допускается на участках с рабочим давлением более 1,2 МПа, для переходов под железными и автомобильными дорогами, а также при пересечениях с другими препятствиями. При прокладке трубопроводов в зоне отрицательных температур материал труб и элементов стыковых соединений должен удовлетворять требованиям морозоустойчивости.

Эксплуатация водопроводов. Перед приемкой в эксплуатацию водопроводных линий для проверки прочности трубопроводов и плотности их стыков проводят гидравлические испытания под давлением: для стальных труб — рабочее плюс не менее 0,5 МПа

суммарное не менее 1 МПа); для чугунных труб — рабочее плюс 0,5 МПа; для железобетонных и асбоцементных — рабочее плюс 0,3 МПа.

Техническая эксплуатация водопроводной сети заключается в наблюдении за работой и состоянием сети и ее оборудования, производстве планово-предупредительного ремонта оборудования, промывке и прочистке водопроводных труб, ликвидации аварий.

Важные мероприятия при эксплуатации водопроводной сети — определение причин утечки воды из сети и их устранение. Причиной утечки могут быть недостаточная плотность стыковых соединений труб и неполное закрытие водоразборной арматуры.

Ремонтные работы подразделяются на два вида: текущий и капитальный ремонт.

Текущий ремонт включает в себя профилактический (планируемый заранее) и непредвиденный (выявляемый в процессе эксплуатации). Капитальный ремонт включает в себя те работы, в процессе которых производится смена изношенных конструкций, узлов и деталей или замена их на более прочные и экономичные.

После ремонта хозяйственно-питьевых водопроводов необходимо их продезинфицировать.

При работе в зимнее время особое внимание следует уделять предохранению водопроводных труб и арматуры от замораживания.

Раздел IV

КАНАЛИЗАЦИЯ И ХВОСТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Глава 18

КАНАЛИЗАЦИЯ

§ 65. Общие сведения

К а н а л и з а ц и я — совокупность инженерных сооружений и мероприятий, предназначенных для приема в местах образования, транспортирования к очистным сооружениям, очистки и обеззараживания сточных вод, а также утилизации полезных веществ, содержащихся в них, и выпуска очищенных вод в водоем.

С то ч н ы е в о д ы — воды, которые в результате использования для хозяйственных и производственных нужд получили дополнительные примеси, изменившие их свойства.

В зависимости от происхождения сточные воды подразделяются на три категории: хозяйственно-бытовые, производственные, атмосферные (дождевые).

Х о з я й с т в е н н о - б ы т о в ы е сточные воды образуются в результате хозяйственной деятельности человека и делятся на две группы: хозяйственные, поступающие из раковин, моек, умывальников, ванн, душевых, прачечных, бань, и фекальные, поступающие из туалетов и загрязненные в основном физиологическими отбросами.

Х о з я й с т в е н н о - б ы т о в ы е сточные воды могут содержать минеральные, органические и бактериальные загрязнения. К минеральным загрязнениям относятся песок, шлак, растворы минеральных солей, кислот и щелочей; к органическим загрязнениям — остатки плодов и овощей, растений, физиологические выделения, органические вещества и т. д.; к бактериальным загрязнениям — различные бактерии, грибки, водоросли.

П р о и з в о д с т в е н н ы е сточные воды образуются в результате использования водопроводной и оборотной воды в производственных процессах обогатительных фабрик и других промышленных предприятий.

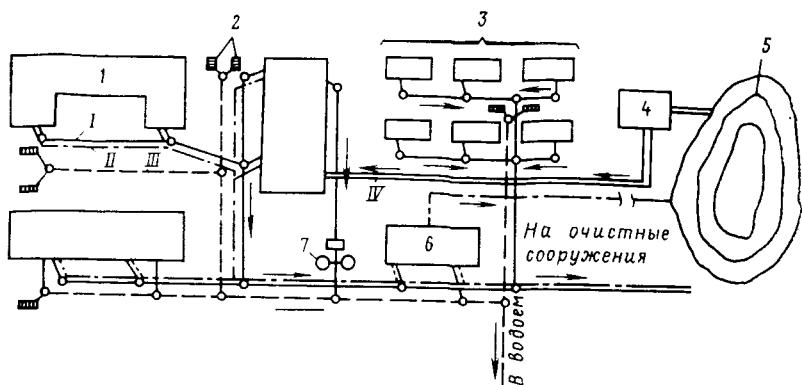


Рис. 33. Схема раздельной канализации обогатительной фабрики и поселка:
 1 — обогатительная фабрика; 2 — дождеприемники; 3 — здания поселка; 4 — насосная станция оборотного водоснабжения; 5 — хвостохранилище; 6 — пульпонасосная станция; 7 — местные очистные сооружения; I — хозяйственные воды; II — производственные воды; III — атмосферные и условно чистые производственные воды; IV — оборотные воды

Производственные сточные воды по составу очень разнообразны. В зависимости от характера производства они могут содержать в различных пропорциях минеральные и органические загрязнения. Производственные сточные воды могут иметь в своем составе различные ядовитые вещества и болезнетворные бактерии.

Хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды подлежат обязательной очистке перед сбрасыванием в водоем.

Атмосферные (дождевые) сточные воды образуются в результате смыва пыли, мусора и т. п. выпадающими атмосферными осадками с поверхности территории населенного пункта или промышленного предприятия.

Атмосферные сточные воды содержат в большей степени минеральные и в меньшей степени органические загрязнения и могут сбрасываться в водоемы без очистки.

Основные типы канализации — общесплавная и раздельная.

Общесплавной называется канализация, единая канализационная сеть которой предназначена для отведения на очистные сооружения сточных вод всех категорий.

Раздельной называется канализация, у которой различные виды сточных вод отводятся по самостоятельным канализационным сетям.

На обогатительных фабриках, как правило, применяют раздельную канализацию сточных вод (рис. 33). Это вызвано тем, что производственные сточные воды можно во многих случаях использовать повторно без предварительной очистки.

§ 66. Канализационные сети

Канализационная система включает в себя следующие основные элементы: внутренние канализационные сети зданий; наружные дворовые канализационные сети; наружные уличные самотечные канализационные сети; насосные станции и напорные трубопроводы; очистные сооружения, выпуски очищенных сточных вод в водоем.

В жилых и административных зданиях сооружают *внутреннюю канализационную сеть для отвода хозяйственных и фекальных сточных вод*. В промышленных зданиях, в том числе и в цехах обогатительных фабрик, сооружают две внутренние канализационные сети: одну — для отвода хозяйственных и фекальных сточных вод; вторую — для производственных. Кроме того, для любых типов зданий сооружают внутренние водостоки — для отвода атмосферных осадков с крыш зданий.

Внутренняя канализационная сеть для хозяйственных и фекальных вод состоит из:

приемников сточной жидкости (раковины, ванны, унитазы и т. п.);

гидравлических затворов — сифонов, расположенных под каждым приемником сточной жидкости и предназначенных для защиты помещений от проникновения газов из канализационной сети;

стояков-трубопроводов, предназначенных для удаления сточных вод и вентиляции канализационной сети;

сети трубопроводов и выпусков из зданий;

устройств для осмотра и прочистки трубопроводов.

Через выпуски сточные воды попадают в *дворовую* (внутриквартальную) *канализационную сеть*, которая заканчивается контрольным колодцем. Из колодца по соединительной ветке сточные воды поступают в *уличную канализационную сеть*, по которой самотеком направляются на очистные сооружения. Очищенная и обеззараженная сточная вода через специальные выпуски спускается в естественные водоемы.

Внутренняя канализационная сеть для отвода хозяйственных вод монтируется из чугунных канализационных труб. Для производственной и дождевой канализации применяют чугунные, стальные, асбоцементные, бетонные, железобетонные, пластмассовые и керамические трубы.

Канализационные сети бытовых сточных вод эксплуатируются, как правило, при самотечном режиме с частичным наполнением трубопровода. Скорость движения сточных вод по трубопроводу должна быть самоочищающей. Самоочищающей называют скорость, соответствующую полному взвешиванию загрязнений. Для бытовых и дождевых сточных вод самоочищающая скорость v принимается в зависимости от диаметра d труб:

d , мм	150—250	300—400	450—500	600—800	900—1200	1300—1500
v , м/с	0,7	0,8	0,9	1	1,15	1,3

Для производственных сточных вод, близких по характеру взвешенных веществ к бытовым, минимальную скорость следует принимать по аналогии с бытовыми сточными водами.

На *наружных канализационных сетях* в местах присоединения выпусков из зданий, на поворотах сетей и в местах изменения уклона устраивают смотровые колодцы.

Дождевая канализация бывает двух видов:

внутренняя — для отвода атмосферных осадков с крыш зданий;

наружная — для отвода атмосферных осадков с территории населенных пунктов и промышленных предприятий.

Внутреннюю сеть водостоков присоединяют к наружной дождевой сети в смотровых колодцах. Наружная дождевая канализация состоит из дождеприемников, подземной сети труб, смотровых колодцев и выпусков.

Производственные сточные воды обогатительных фабрик представляют собой мокрые хвосты, переливы сборников и желобов пульпы, а также воды от смыва просыпанного сухого материала, после промывки оборудования и емкостей для сбора пульпы и т. д.

Все *производственные сточные воды*, кроме мокрых хвостов, которые транспортируются в хвостохранилища для очистки, возвращаются в процессы обогащения без очистки. Для сбора таких сточных вод на обогатительных фабриках устраивается внутренняя канализационная сеть, которая включает в себя дренаж по всей фабрике. Переливы пульпы собираются в дренажные канавы. Для облегчения стока переливов и смыва с полов осевшего и просыпанного сухого материала полы и канавы делают с наклоном $3-4^\circ$ ($5-7\%$). Максимальный угол наклона пола, если по нему ходят люди, не должен превышать 6° (10%). Наклон полов определяется углом естественного склона фабричной площадки, условиями безопасности и удобством обслуживания.

Сточная вода по дренажным канавам поступает в специальные сборники (дренажные или аварийные зумпфы), вместимость которых должна быть достаточной для приема пульпы, выпускаемой из машин. Из дренажных зумпфов сточные воды насосами или эрлифтами подаются в соответствующие точки технологического процесса или направляются в наружную канализационную сеть.

Дренаж сточных вод внутри фабрики в зависимости от технологии обогащения может быть общим и селективным. При флотации полиметаллических руд применяется *селективный дренаж*: переливы отдельных циклов флотации собираются раздельно и возвращаются в основные операции этих циклов.

Во избежание нарушения процесса обогащения руды излишним объемом воды в результате возврата дренажных стоков на флотационных фабриках применяют специальные сгустители, позволяющие сгущать осаждающийся материал и равномерно возвращать его в процесс.

Производственные сточные воды, подлежащие очистке, собираются в коллектор, обычно называемый хвостовой канавой, и выводятся самотеком в сборник, который может находиться внутри здания фабрики или за пределами здания. Из сборника производственные сточные воды транспортируются в хвостохранилище или к месту очистки насосами по трубопроводам, самотеком по желобам или комбинированным способом.

§ 67. Расчет канализационных сетей

Исходные данные для расчета общесплавной канализационной сети — расчетный расход сточной воды населенного пункта и промышленного предприятия.

Расчетным расходом называется объем сточной воды, на который должны быть рассчитаны канализационные сооружения, включая канализационную сеть. За расчетный расход принимается максимально возможный расход $q_{\max}$ сточных вод, измеряемый в литрах в секунду.

Нормой водоотведения называется объем сточных вод, сбрасываемых в водоем в сутки на 1 жителя или на единицу продукции.

Нормы водоотведения на 1 жителя, пользующегося канализацией, равны норме водопотребления (см. § 54); нормы водоотведения хозяйственно-бытовых сточных вод промышленных предприятий также равны норме водопотребления (см. табл. 5); нормы водоотведения производственных сточных вод принимаются по табл. 5. При определении расчетных расходов бытовых сточных вод используют общий коэффициент неравномерности (см. § 54)

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{сут}} K_{\text{ч}}.$$

Общий коэффициент неравномерности бытовых сточных вод зависит от их среднего расхода:

q , л/с	.	.	<5	15	30	50	100	200	300	500	800	≥1250
$K_{\text{общ}}$	.	.	3	2,5	2	1,8	1,6	1,4	1,35	1,25	1,2	1,15

Расход бытовых сточных вод для населенных пунктов

$$q_{\max} = K_{\text{общ}} N q_6 / 86400;$$

расход производственных сточных вод

$$q_{\max} = K_{\text{ч}} P q_{\text{пр}} / (3600 T),$$

где N — численность населения; q_b и $q_{пр}$ — нормы водоотведения соответственно бытовых и производственных сточных вод, л/чел. и л/т; 86400 число секунд в сутках; $K_ч$ — коэффициент часовой неравномерности производственных вод; P — производительность предприятия, т/сут; T — продолжительность работы предприятия, ч/сут.

Гидравлический расчет лотков, труб и каналов самотечных и напорных канализационных сетей всех систем производится на максимальный расход сточных вод в секунду по таблицам и графикам, составленным на основании формул для установившегося равномерного движения:

$$i = \lambda v^2 / (4R2g); \quad q_{\max} = Sv,$$

где i — гидравлический уклон, равный при равномерном движении воды уклону лотка; λ — коэффициент гидравлического трения; v — средняя скорость движения сточных вод, м/с; R — гидравлический радиус, м; g — ускорение свободного падения, м/с²; $q_{\max}$ — максимальный расход сточных вод, м³/с; S — площадь живого сечения потока, м².

Гидравлический расчет можно выполнять также по номограммам, составленным по приведенным формулам (см. СНиП II-32—74).

Минимальный диаметр труб зависит от принятой системы канализации и составляет: для бытовой уличной раздельной сети 200 мм; для производственной раздельной сети 150 мм; для дождевой и общесплавной уличной сети 250 мм.

Сети хозяйственно-бытовой канализации рассчитывают на неполное наполнение трубопровода.

Наполнением трубопровода называют отношение толщины h расчетного слоя воды в трубопроводе к внутреннему диаметру d трубы.

Расчетное наполнение трубопроводов следует принимать в зависимости от диаметра трубы:

d , мм	150—300	350—450	500—900	>900
h/d , не более	0,6	0,7	0,75	0,8

Трубопроводы для дождевой и общесплавной канализационной сети следует рассчитывать на полное наполнение.

Расчет сетей хозяйственно-бытовой и производственной канализации производят по самоочищающей скорости.

Для производственных сточных вод обогатительных фабрик, близких по характеру взвешенных частиц к бытовым, минимальную скорость принимают так же, как для бытовых сточных вод.

Для уменьшения износа труб наибольшую расчетную скорость движения сточных вод следует принимать для металлических труб не более 8 м/с, для неметаллических — не более 4 м/с.

§ 68. Очистка сточных вод

Значительная часть нерастворенных загрязняющих веществ в процессе очистки выделяется в осадок. Органические вещества, содержащиеся в сточных водах, разлагаются микроорганизмами, для жизнедеятельности которых необходим кислород. Массу кислорода, необходимого для окисления органических веществ аэробными микроорганизмами, называют биохимической потребностью в кислороде — БПК. На стойкие органические вещества биохимические процессы не воздействуют, поэтому БПК не характеризует общую массу органических веществ в сточных водах.

Массу кислорода, необходимого для окисления всех органических веществ, содержащихся в сточной воде, называют химической потребностью в кислороде — ХПК. ХПК и БПК выражаются в миллиграммах на литр или в граммах на кубический метр. БПК всегда ниже ХПК и составляет 88 % ХПК для бытовых сточных вод и 25—80 % ХПК для производственных сточных вод. Обычно определяют биохимическую потребность в кислороде за 5 и 20 сут (БПК₅ и БПК₂₀), хотя полное окисление органических примесей при температуре сточной жидкости 20 °С требует не менее 100 сут.

Основные показатели, по которым оценивается степень очистки сточных вод, спускаемых в водоем, следующие:

содержание растворенного в воде кислорода, которое после смешивания с ней сточных вод в любой период года должно быть не ниже 4 мг/л;

биохимическая потребность в кислороде БПК₂₀, которая для водоемов первого вида водопользования должна быть не больше 3 мг/л, а для водоемов второго вида водопользования — 6 мг/л;

содержание взвешенных веществ в воде, которое после спуска сточных вод должно увеличиваться не больше чем на 0,25 мг/л для водоемов первого вида водопользования и на 0,75 мг/л для водоемов второго вида водопользования;

активная реакция воды рН водоема, которая после смешивания со сточными водами должна находиться в пределах 6,5—8,5;

температура сточных вод, которая рассчитывается исходя из условий, что температура воды летом в месте выпуска сточных вод должна повышаться не более чем на 3 °С;

предельно допустимая концентрация ПДК вредного вещества в воде водоема, которая при ежедневном воздействии в течение длительного времени на организм человека не вызывает каких-либо патологических изменений и заболеваний, а также не нарушает биологического равновесия в водоеме.

Для водоемов также установлены нормативные показатели по окраске, наличию плавающих примесей и возбудителей заболеваний, запаху и привкусу, минеральному составу.

При определении необходимой степени очистки сточных вод следует учитывать самоочищающую способность водоема, под которой понимают снижение концентрации загрязняющих веществ вследствие естественных биохимических и физических процессов, протекающих в водоеме.

Содержащиеся в сточных водах примеси могут рассматриваться не только как вещества, вызывающие отрицательные последствия при сбросе в естественные водоемы, но и как вещества, которые при выделении из воды могут иметь самостоятельное народнохозяйственное значение. Присутствующие в сточных водах примеси разделяются на отходы и отбросы.

Отходы — примеси, возвращение которых в производство может дать определенный экономический эффект;

отбросы — малоценные для народного хозяйства вещества.

Следует иметь в виду, что граница между отходами и отбросами условна и с течением времени доля отбросов уменьшается в результате изыскания способов рационального использования их в народном хозяйстве. Поэтому очистка сточных вод производится не только с целью защиты природных водоемов от загрязнений, но и утилизации отходов для последующего их использования.

Для очистки сточных вод применяют механические, биологические, физико-химические и механохимические методы. Перед выпуском в водоем очищенные воды подвергаются дезинфекции.

Механическая очистка предназначена для удаления из сточных вод нерастворенных минеральных и органических загрязняющих веществ. Механическая очистка бытовых сточных вод осуществляется на решетках, в песколовках, жироловках, отстойниках, напорных гидроциклонах, фильтрах и хлораторах. Механическая очистка производственных сточных вод обогатительных фабрик производится в радиальных сгустителях или хвостовых прудах.

В начале очистки бытовые сточные воды попадают на решетки, которые предназначены для улавливания крупных нерастворимых загрязняющих веществ. Уловленные на решетках загрязняющие вещества подвергаются дроблению, после чего возвращаются в поток воды перед решетками.

После решетки сточные воды попадают на песколовку, предназначенную для улавливания песка, шлака и других минеральных нерастворенных загрязняющих веществ.

Для удаления всплывающих жиров, масел и т. п. применяют жироловки, принцип действия которых основан на том, что при уменьшении скорости движения воды в резервуаре легкие жировые частицы всплывают. При повышении уровня воды жи-

ровые частицы сливаются в боковые желоба и поступают в сборный резервуар.

Отстойники предназначены для улавливания из сточных вод находящихся во взвешенном состоянии нерастворенных загрязняющих веществ, в том числе жира и масел. В зависимости от направления движения воды отстойники подразделяются на три типа: горизонтальные, вертикальные и радиальные. По назначению отстойники разделяются на первичные (для осветления сточных вод перед биологической очисткой) и вторичные (для осветления сточных вод после биологической или физико-химической очистки). Тип и число отстойников выбирают на основании технико-экономического сравнения с учетом местных условий.

Для глубокой очистки сточных вод, а также для их доочистки после биологической или других методов очистки применяют зернистые фильтры.

На очистных станциях для механической очистки сточных вод находят применение напорные гидроциклоны (табл. 6).

Биологическая очистка сточных вод применяется после механической очистки для удаления из сточных вод растворенных органических примесей и мельчайших взвешенных частиц. Их биологическое окисление производится в естественных или искусственно созданных условиях. В первом случае для этого используют почвы и замкнутые водоемы, во втором— специальную аппаратуру (аэротенки, биофильтры и т. п.).

При проектировании схем канализации населенных пунктов и промышленных предприятий необходимо рассматривать возможность использования очищенных сточных вод для удобрения и орошения сельскохозяйственных культур. Для этих целей применяются поля фильтрации и орошения.

Поля фильтрации—участки земли, предназначенные для полной биологической очистки предварительно осветленных сточных вод. При очистке сточных вод на полях фильтрации используется самоочищающая способность почвы. Наиболее интенсивно процесс окисления органических загрязняющих веществ протекает в верхних слоях почвы (0,2—0,3 м), где соблюдается благоприятный кислородный режим.

Поля орошения—специально подготовленные и спланированные участки, на которых выращивают сельскохозяйственные культуры, а для орошения и удобрения используют сточные воды после их биологической очистки.

Биологические пруды. Процесс очистки в этих сооружениях аналогичен процессам, происходящим при самоочищении водоемов. Для устройства биологических прудов могут быть использованы естественные впадины местности, заброшенные карьеры, а также специально созданные водоемы. При очистке производственных сточных вод роль биологических прудов вы-

Таблица 6

Технические характеристики напорных гидрциклонов

Параметр	ГЦ-75	ГЦ-150, ГЦ-150K*	ГЦ-250, ГЦ-250K*	ГЦ-350, ГЦ-350K*	ГЦ-500, ГЦ-500K*
Диаметр, мм:					
внутренний	75	150	250	350	500
эквивалентный входного отверстия	15	30,5	60	71,4	106,7
песковой насадки	8; 12; 17	12; 17; 24; 34	24; 34; 48; 75	34; 48; 75; 96	48; 75; 96; 150
сливного патрубка	28	50	80	115	160
Угол конусности, градус	20	20	20	20	20
Размеры питающего отверстия, мм	10×30	22×50	40×80	50×125	80×160
Производительность при давлении (3÷÷25) · 10 ⁴ Па, м ³ /ч	3—9	12—35	30—86	55—160	98—281
Крупность слива, мкм	22—60	28—95	37—135	44—180	52—240

* Футерован каменным литьем.

полняют хвостохранилища, в которых достигается некоторая очистка от растворенных примесей в результате окислительного воздействия кислорода воздуха.

Аэротенки применяют для полной и неполной биологической очистки сточных вод. Они представляют собой резервуары, в которых смесь очищаемой сточной воды и активного ила, перемешиваясь, насыщается воздухом.

Окстенки — герметически закрытые резервуары, в которые подается технический кислород. Их окислительная мощность в несколько раз выше, чем обычных аэротенков.

Биологические фильтры предназначены для биологической очистки сточных вод. Сточная вода фильтруется через грубозернистый загрузочный материал, покрытый биологической пленкой, образованной колониями микроорганизмов. Биофильтры бывают с объемной (гравий, шлак, щебень, керамзит и др.) и плоской (пластмассы, асбестоцемент, керамика, металл, ткани) загрузкой.

Механохимические и физико-химические методы применяют для очистки производственных сточных вод. К этим методам прибегают, если перечисленные выше методы очистки малоэффективны. К механохимическим методам очистки относятся нейтрализация и окисление; к физико-химическим — коагуляция, сорбция, флотация, ионный обмен.

Дезинфекция сточных вод перед выпуском в водоем после их очистки тем или иным способом производится для уничтожения патогенных микробов и исключения заражения водоемов этими микробами. Обеззараживание производится жидким хлором, хлорной известью, гипохлоритом кальция, озоном и др. Ориентировочный расход хлора для сточных вод, прошедших механическую очистку, 30 г/м³; для прошедших биологическую очистку, 10—15 г/м³. Хлорирование сточной жидкости производится в контактных резервуарах. Продолжительность контакта хлора с водой должна быть не менее 30 мин.

Выпуск — сооружение, предназначенное для сбрасывания очищенных сточных вод в водоем. Конструкция выпуска должна обеспечивать хорошее перемешивание с водой водоема. Выпуски бывают сосредоточенные, если очищаемые воды выпускаются в водоем через одно отверстие, и рассеивающие, если имеется несколько выпускных отверстий.

§ 69. Проблемы охраны водоемов от загрязнений

Охрана окружающей среды, рациональное использование природных ресурсов неизменно являются одними из первоочередных народнохозяйственных задач Советского государства.

Статья 18 Конституции СССР гласит: «В интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые

меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды».

Об этом свидетельствуют решения съездов КПСС, постановления правительства и законы Верховного Совета СССР, принятые в последние годы.

Эти документы подтверждают государственную собственность на воду и устанавливают порядок предоставления права использования природных водоемов; порядок и условия сброса в природные водоемы сточных вод; меры по охране водоемов от загрязнения и системы контроля за эксплуатацией природных водоемов.

В законе предусмотрен своевременный и полный учет вопросов охраны водных ресурсов от загрязнения и истощения при размещении, проектировании, строительстве и эксплуатации всех предприятий и сооружений. Закон устанавливает перечень нарушений водного законодательства, за которые виновные лица несут административную и уголовную ответственность.

Валовое потребление воды в СССР, как и во всем мире, должно возрасти. При сохранении эффективных мер борьбы с загрязнением природных вод на современном уровне большая часть требуемой для народного хозяйства воды должна быть использована для разбавления сточных вод до приемлемой концентрации примесей. Этот объем воды значительно превышает реальные водные ресурсы страны.

Ориентировочные расчеты показывают, что даже при наличии очистных сооружений с современной технологией очистки (при 80—95% удаления сбрасываемых примесей из сточных вод) на каждом предприятии задача охраны естественных водоемов не будет полностью решена. С одной стороны, очищать воду современными методами до предельно допустимых концентраций — дорогостоящее мероприятие. С другой стороны, ежегодные убытки от загрязнения воды даже с учетом технического прогресса в области очистки воды будут непременно возрастать.

Одна из эффективных мер защиты природных водоемов от загрязнений и рационального использования источников водоснабжения — широкое распространение системы оборотного водоснабжения с многократным использованием воды и постепенным переходом на замкнутые системы водоснабжения, полностью исключающие сброс сточных вод в естественные водоемы.

Применение системы оборотного водоснабжения выгодно и в другом отношении. Оно позволяет сократить потери ценного сырья и готовой продукции. Так, на Балхашском горно-металлургическом комбинате эксплуатируется промышленная установка по ионной флотации молибдена из сточных вод. Эта установ-

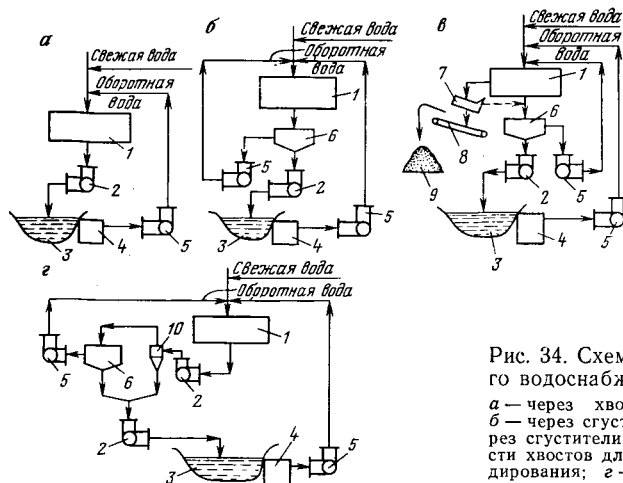


Рис. 34. Схемы оборотного водоснабжения:

а — через хвостохранилище; *б* — через сгустители; *в* — через сгустители с подачей части хвостов для сухого складирования; *г* — через гидроциклоны и сгустители

ка не только очищает от вредных примесей сточные воды, что позволяет вторично использовать их, но и дает возможность ежегодно дополнительно извлекать ценный металл, ранее безвозвратно терявшийся в отходах.

§ 70. Оборотное водоснабжение обогатительных фабрик

В Основах водного законодательства Союза ССР и союзных республик указывается, что система водоснабжения должна быть, как правило, с оборотом воды для всего промышленного предприятия или в виде замкнутых циклов для отдельных цехов; при этом следует предусматривать необходимую очистку сточных вод, обработку и повторное их использование. Схемы прямоточного и последовательного использования воды на производственные нужды со сбросом очищенных сточных вод в водоем следует допускать только в случаях невозможности или нецелесообразности использования воды в системе оборотного водоснабжения.

Система водоснабжения обогатительных фабрик включает в себя ряд замкнутых циклов оборотного водоснабжения отдельных цехов с возвратом всех или части очищенных или отработанных вод через общий пруд хвостохранилища или иные очистные сооружения.

На обогатительных фабриках применяются схемы оборотного водоснабжения, представленные на рис. 34.

Схема *а* до настоящего времени имеет наибольшее распространение. Технологическая вода (смесь оборотной и свежей воды) поступает на обогатительную фабрику 1. Использованная вода с хвостами обогащения (пульпа) грунтовыми насосами 2

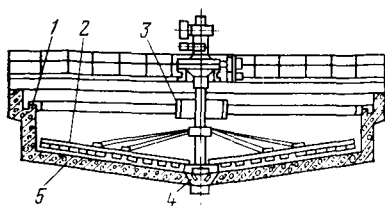


Рис. 35. Схема радиального сгустителя с центральным приводом

подается в хвостохранилище 3. Осветленная вода из хвостохранилища, пройдя водоподготовку 4 или минуя ее, насосами 5 оборотной воды подается на обогатительную фабрику.

Схема б отличается от схемы а тем, что в хвостохранилище поступает не вся пульпа обогатительной фабрики, а только сгущенная ее часть. Осветленная в сгустителе б вода подается в систему оборотного водоснабжения насосами 5.

Схема в предусматривает классификацию хвостов I стадии магнитной сепарации в спиральных классификаторах с последующей подачей их на обезвоживающую установку 7, а затем ленточным конвейером 8 на склад 9 сухих хвостов. В остальном эта схема аналогична схеме б.

Схема г предусматривает предварительную классификацию хвостов в гидроциклоне 10. Слив гидроциклона подается на сгуститель б. Слив сгустителя используется в качестве оборотной воды, а сгущенные хвосты из сгустителя и пески из гидроциклона грунтовыми насосами 2 подаются в хвостохранилище. В остальном эта схема аналогична предыдущим.

Схему оборотного водоснабжения следует выбирать в зависимости от типа руды, технологии обогащения, мощности источника водоснабжения и т. д.

Для осветления хвостов по схемам б—г на обогатительных фабриках применяют радиальные сгустители с периферическими и центральными приводами. Принцип действия сгустителей основан на использовании сил тяжести твердых частиц пульпы.

В радиальном сгустителе с центральным приводом (рис. 35) пульпа подводится по трубопроводу или желобу к загрузочному устройству 3, расположенному в центре чаши 5. Осветленная вода сливается по периметру чаши в кольцевой желоб 1, а из него — в приемное устройство, откуда насосами подается в систему оборотного водоснабжения. Твердая фаза оседает на дно чаши, сгущается и перемещается вращающимися гребками 2 к выпускному отверстию 4.

В табл. 7 приведены технические характеристики сгустителей с центральным приводом.

Показателем оценки схем оборотного водоснабжения является степень оборота P , [%]

$$P = 100 q_{об} / (q_{об} + q_{св}),$$

Таблица 7

Технические характеристики сгустителей с центральным приводом

Параметры	Ц-12	Ц-15	Ц-18	Ц-25	Ц-30	Ц-40	Ц-50	Ц-70	Ц-100
Диаметр чана, м	12	15	18	25	30	40	50	70	100
Глубина чана в центре, м	3,0	3,6	3,6	4	4	4,5	5	6,5	7,5
Номинальная площадь осаднения, м ²	110	175	250	490	700	1250	1950	3850	7850
Частота вращения гребков, мин ⁻¹	4	4	4	7,5	7,5	7,5	13	17	22
Потребляемая мощность привода гребков, кВт	14	17	20	27	32	42	52	72	106

где $q_{об}$ и $q_{св}$ — расход соответственно оборотной и свежей воды, м³/ч.

Особенностью систем оборотного водоснабжения углеобогаательных фабрик является то, что они одновременно с очисткой воды должны осуществлять обогащение шламов, состоящих в основном из углей мелких классов.

Система оборотного водоснабжения углеобогаательных фабрик состоит из различных аппаратов и устройств, осуществляющих классификацию, сгущение, обогащение и обезвоживание шламов и продуктов их разделения, а также осветления шламовых вод. Число операций только по обработке шламовой воды без учета очистки сточных вод колеблется от 4 до 10. Эти вопросы подробно изложены в работе [8].

Глава 19

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

§ 71. Общие сведения

Перемещение твердых частиц потоком жидкости называется гидравлическим транспортированием.

Явление переноса твердых частиц, имеющих большую плотность, чем транспортирующая их среда (вода), объясняется кинематической структурой потока, которая зависит от режима движения (ламинарного или турбулентного). В системах гидравлического транспортирования турбулентный режим — основная форма движения гидросмеси.

Взвешивание и перемещение твердых частиц турбулентным потоком — результат наложения друг на друга турбулентных пульсаций жидкости и относительного движения твердых частиц.

Гидросмесь — механическая смесь частиц горных пород определенной крупности с жидкостью (водой). Гидросмесь характеризуется крупностью твердых частиц и содержанием их в смеси. В зависимости от крупности частиц меняются условия гидродинамического взаимодействия их с потоками несущей жидкости.

По преимущественному содержанию твердых частиц определенного класса крупности можно выделить следующие основные виды гидросмесей:

структурные (гидрозоли) — крупность частиц 1—50 мкм, полученные в процессах осадконакопления, измельчения, а чаще диспергирования;

тонкодисперсные — крупность частиц 50—150 мкм, полученные в процессах осадконакопления или измельчения;

грубодисперсные — крупность частиц 100 мкм—2 мм, полученные в процессах осадконакопления или измельчения;

неоднородные грубодисперсные — крупность частиц более 1,5 мм;

полидисперсные — частицы различной крупности, полученные в процессах осадконакопления, диспергирования, измельчения или дробления.

На обогатительных фабриках черной и цветной металлургии чаще встречаются смеси с преимущественным содержанием классов частиц, характерных для тонкодисперсных и грубодисперсных систем.

Основные параметры потоков гидросмесей характеризуют их физико-механические свойства и условия установившегося движения в системе гидравлического транспорта. К основным физико-механическим свойствам гидросмесей относятся: содержание твердого (объемное S или массовое S_1); удельный вес γ [кН/м³]; псевдовязкость μ [Н·с/м²] (для диспергированных или тонкодиспергированных смесей).

Условия установившегося движения горизонтальных потоков гидросмесей в системе гидравлического транспорта характеризуют следующие параметры:

критическая скорость потока $u_{кр}$ [м/с] — минимальная средняя в поперечном сечении потока скорость, при которой еще происходит перемещение твердых частиц без отложения неподвижного слоя на нижней стенке;

рабочая скорость потока u [м/с] — скорость, большая или равная критической, т. е. $u \geq u_{кр}$;

гидравлический уклон, или удельные потери напора, i [доли ед.] или [%] — отношение напора или перепада давления

между двумя поперечными сечениями потока на единице длины транспортной линии (обусловлены гидравлическими сопротивлениями движению).

Если транспортирование осуществляется при наличии на нижней стенке неподвижного слоя частиц, то значения критической $u_{кр}$ и рабочей u скорости совпадают.

Гидравлический транспорт по типу используемой энергии подразделяется на самотечный (безнапорный) и с естественным или искусственным напором (напорный).

В установках самотечного транспорта перемещение материалов происходит потоком, движущимся под действием силы тяжести. В качестве транспортных средств в этом случае используют дренажные канавы, желоба, трубы и течи специального профиля. Самотечный транспорт применяется, если между начальным и конечным пунктами имеется разность геодезических отметок, обеспечивающая необходимую скорость движения пульпы. Так как прокладка трассы самотечного транспорта зависит от рельефа и уклона местности, этот вид гидротранспорта не везде применим, что является его основным недостатком.

На обогатительных фабриках самотечный транспорт применяется для перемещения продуктов обогащения между гравитационными аппаратами, при флотации, при транспортировании хвостов в хвостохранилище.

В установках напорного транспорта материал перемещается потоком жидкости по трубам при избыточном давлении, создаваемом с помощью насосов или в результате разности отметок начала и конца трубопровода.

На обогатительных фабриках гидравлический транспорт применяется для транспортирования руды, угля, концентратов, удаления хвостов.

Гидравлический транспорт обладает следующими достоинствами: маневренностью и непрерывностью; простотой прокладки и обслуживания трубопроводов; высокой пропускной способностью и малой трудоемкостью; возможностью попутного обогащения полезных ископаемых и транспортирования материалов на большие расстояния, исчисляемые сотнями километров.

К недостаткам гидравлического транспорта следует отнести: значительные энергозатраты; большой расход воды; необходимость (в большинстве случаев) обезвоживания продукта в конце трубопровода и предварительного дробления материала до транспортабельных размеров; значительный гидроабразивный износ оборудования.

Гидравлический транспорт в сочетании с гидравлическими методами обогащения полезных ископаемых более эффективен по сравнению с другими видами транспорта.

По назначению гидротранспортные установки делятся на производственные (внутрифабричные), применяемые при добыче, обогащении и складировании продуктов обогащения и отходов (хвостов обогащения), и магистральные, применяемые для транспортирования полезных ископаемых и концентратов руд на большие расстояния (десятки и сотни километров). Например, гидротранспортная система Лебединский ГОК — Оскольский электрометаллургический комбинат подает с помощью насосов железорудный концентрат для производства окатышей на расстояние 26,5 км. На Норильском комбинате медные концентраты перекачиваются насосами по стальному трубопроводу на расстояние около 7 км без перекачных станций, по другому трубопроводу в обратном направлении подается осветленная вода. Проектируется магистральный трубопровод длиной свыше 200 км для подачи концентрата от обогатительной фабрики Стойленского ГОКа до Новолипецкого металлургического завода.

Напорный транспорт применяется для перемещения материалов в любых направлениях, что при сравнительно небольшом диаметре трубопроводов обеспечивает его большую маневренность.

Широко применяется напорный гидравлический транспорт на флотационных обогатительных фабриках. Концентраты руд могут направляться по трубопроводам в сгустители, в смесители, на фильтры или другие обезвоживающие установки диафрагмовыми или песковыми насосами. На обогатительных фабриках в зависимости от производительности и технологии обогащения применяют системы гидравлического транспорта с различными насосами — от небольших песковых до мощных поршневых высоконапорных.

Для создания избыточного давления в трубопроводе, обеспечивающего перемещение твердых сыпучих материалов в потоке воды, возможны два способа использования насосов: гидросмесь проходит через корпус насосов и нагнетается ими в трубопровод; насосы работают на чистой воде, а твердый сыпучий материал загружается в трубопровод загрузочными аппаратами различной конструкции.

Эксплуатация магистральных гидротранспортных установок показала экономическую эффективность применения этого вида транспорта по сравнению с железнодорожным.

На некоторых рудниках применяют гидравлический напорный транспорт закладочных материалов, представленных хвостами обогащения. На обогатительных фабриках наибольшее распространение получили гидротранспортные системы для транспортирования хвостов в пруды-отстойники.

§ 72. Желоба и пульпопроводы

Самотечный гидравлический транспорт осуществляется по желобам (лоткам) или трубам. Характер движения твердых частиц в желобах аналогичен движению в безнапорных трубопроводах. Форма лотков и желобов может быть различной — круглой, полукруглой, квадратной, прямоугольной, трапециевидальной, яйцевидной и т. д. Форма лотка характеризуется гидравлическим радиусом, который равен отношению площади поперечного сечения потока к смоченному периметру лотка. Чем больше гидравлический радиус, тем меньший уклон требуется для поддержания заданной скорости движения гидросмеси. Наиболее выгодный профиль лотка — полукруглый, так как при той же площади поперечного сечения он имеет наибольший гидравлический радиус.

В практических условиях выбор профиля лотков во многом зависит от срока их эксплуатации, характеристики перемещаемых материалов, режимов работы системы гидравлического транспорта и др. Так, при перемещении крупного кускового материала наилучшие условия транспортирования обеспечиваются в лотках прямоугольного поперечного сечения.

Лотки изготавливают из железобетона, листовой стали, прочных сортов дерева с армировкой в виде чугунных, базальтовых или диабазовых плит. Коэффициенты сопротивления стали, железобетона, дерева и резиновой ленты почти одинаковы.

Сборные коллекторы хвостов на обогатительных фабриках выполняются из железобетона, а гидравлический транспорт между аппаратами внутри фабрики осуществляется по металлическим желобам прямоугольного поперечного сечения. Нашли также применение желоба из металлических труб диаметром 450—500 мм, разрезанных пополам вдоль оси.

Во избежание переливания пульпы через край желоба высота его стенок и ширина потока должны быть равны двойной высоте потока.

Срок службы лотков и желобов зависит от перемещаемого материала (крупности, формы частиц), скорости движения пульпы, материала, из которого изготовлен лоток или желоб. Наименьший износ характерен при транспортировании пылевидных пород, наибольший — при перемещении кусковых острогранных материалов. Наиболее износостойки лотки и желоба из железобетона, особо прочных пород дерева (береза, белая сосна) и высококачественных марок стали.

При безнапорном движении пульпы с большими скоростями для предотвращения износа желобов следует на безнапорном участке системы устраивать перепады. Один из распространенных методов борьбы с износом лотков и желобов — футеров-

ка их стенок резиной, в том числе использованной конвейерной лентой.

Для увеличения срока службы лотков эффективным является режим работы самотечного гидротранспорта с частичным заиливанием. Режим заиливания достигается укреплением на дне лотков и желобов деревянных брусков или металлических уголков, задерживающих твердые частицы пульпы, образующих естественную облицовку, толщина которой должна составлять 0,2—0,6 глубины потока. Работа с частичным заиливанием может быть рекомендована для мелкозернистых и пылевидных материалов.

Лотки и желоба выполняются стационарными или передвижными и укладываются на почве или на эстакадах при значительном изменении рельефа местности.

Самотечная система гидравлического транспорта должна быть рассчитана применительно к самым тяжелым условиям работы, т. е. принятые уклон, профиль и площадь поперечного сечения лотка или желоба должны обеспечивать максимальную пропускную способность.

Минимальный гидравлический уклон i пульпопровода и желобов зависит от средневзвешенного геометрического размера d транспортируемых частиц и содержания S твердого в пульпе.

d , мм	.	.	.	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
S , %	.	.	.	50	50	50	50	15	15
i , доли ед.	.	.	.	0,005	0,008	0,013	0,02	0,025	0,03
d , мм	.	.	.	0,4	0,5	1	1,5	2	
S , %	.	.	.	15	15	15	15	15	
i , доли ед.	.	.	.	0,034	0,038	0,042	0,046	0,06	

Повысить эффективность самотечного гидравлического транспорта можно в результате уменьшения уклона, применения дешевых износостойчивых материалов для изготовления и футеровки лотков и желобов, а также устройств для поддержания равномерного поступления пульпы в гидротранспортную систему. В качестве таких устройств при эксплуатации хвостового хозяйства обогатительных фабрик применяют аккумулирующие приемники, обеспечивающие равномерное поступление пульпы в желоба в определенном объеме и с заданным содержанием твердого.

Напорный гидравлический транспорт осуществляется по трубам. Применяют чугунные, стальные, железобетонные, асбестоцементные, деревянные (фанерные; клепочные), пластмассовые трубы.

Магистральные пульпопроводы должны быть оборудованы следующей *арматурой*: предохранительными устройствами для защиты трубопровода от гидравлических ударов; компенсаторами, обеспечивающими изменение длины трубопровода в зависимости от колебания температуры; вантузами, предназначенными

для выпуска воздуха; устройствами для аварийного выпуска пульпы; шиберными или секторными задвижками.

Износ пульпопроводов зависит от вида перемещаемого материала, скорости движения пульпы и содержания в ней твердого. Срок службы пульпопроводов колеблется в широких пределах и во многом зависит от условий эксплуатации. Например, при работе с частичным заиливанием труб срок службы их повышается в 2—3 раза. В целях равномерного износа при транспортировании кусковых материалов трубы следует периодически поворачивать на 90°, срок службы труб в этом случае увеличивается почти вдвое. Заслуживает внимания способ повышения срока службы труб закалкой их внутренней поверхности токами высокой частоты. Для защиты пульпопроводов от абразивной пульпы применяют футеровочные резиновые смеси.

§ 73. Грунтовые и песковые насосы

Типоразмер грунтового или пескового насоса выбирают по расходу Q_n пульпы и манометрическому напору H_m с учетом ограничений, определяемых геометрической крупностью твердой составляющей гидросмеси.

За расчетный расход Q_n пульпы при выборе землесоса принимают максимальный расход пульпы. При колебании расхода пульпы в процессе эксплуатации необходимо, чтобы пределам колебания соответствовала устойчивая часть напорной характеристики землесосов. Если это условие выполнить невозможно, то следует применить параллельную работу землесосов на общий трубопровод.

Манометрический напор H_m [м] определяют гидравлическим расчетом трубопровода:

$$H_m = H_r + iL + \Sigma h_i,$$

где H_r — геодезическая высота подачи пульпы, м; i — гидравлический уклон, доли ед.; L — расчетная длина трубопровода, м; Σh_i — сумма местных потерь напора, м.

Гидравлический уклон и местные потери определяют в соответствии с изложенными выше рекомендациями. В случае, если H_m превышает максимальный напор выбранного по расходу Q_n пульпы землесоса, следует применять последовательное соединение землесосов, расположенных в здании пульпонасосной станции, или устраивать по трассе трубопровода перекачные станции.

Для напорно-принудительного гидравлического транспортирования хвостов обогащения применяют грунтовые насосы марки Гр (табл. 8).

В марках серийных грунтовых насосов применяют следующие буквенные обозначения: У — увеличенное проходное сечение проточной части; Гр — грунтовый; Л — легкий однокорпусный;

Таблица 8

Технические характеристики грунтовых насосов

Марка	Подача Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор H , м	Частота вращения вала n , мин^{-1}	Коэффициент полезного действия η , %	Электродвигатель	
					Тип	Мощность, кВт
ГрК50/16	50	16	1450	62	A02-52-4	10
ГрТ50/16	50	16	1450	62	A02-52-4	10
ГрК160/31,5	160	31,5	1450	62	A02-81-4	40
ГрТ160/31,5	160	31,5	1450	62	A02-81-4	40
ГрУ160/16	160	16	1450	64	A02-81-4	22
ГрК400/40	400	40	985	64	A03-315М-6	132
ГрТ400/40	400	40	985	64	A03-315М-6	132
ГрУ400/20	400	20	985	64	A02-91-6	55
ГрТ800/71	800	71	985	65	A12-49-6	400
					ДА30-13-42-6	400
ГрУ800/40	800	40	750	68	A0113-8	200
ГрК1600/50	1600	50	735	69	A3-13-52-8	500
ГрТ1600/50	1600	50	735	69	ДА30-13-70-8	500
ГрУ1600/25	1600	25	740	67	A3-12-42-8	250
					A03-400М	250
					ДА30-12-59-8	250
ГрУ2000/63	2000	63	580	68	АКН2-15-62-10	800
					АКН2-15-57-10	630
ГрТ4000/71	4000	71	500	70	СНД3-16-51-12	1600
ГрТ8000/71	8000	71	365	74	СДУ18-54-16-2	3200

Т — тяжелый двухкорпусный с защитной футеровкой; Р — легкий с футеровкой из резины; К — корундовый. Цифры, стоящие после букв, обозначают подачу (числитель) и напор (знаменатель). Например, марка насоса ГрК50/16 означает — грунтовый корундовый с подачей $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором 16 м.

В технической литературе встречается маркировка насосов (устаревшая), при которой цифры перед буквами обозначают диаметр всасывающего патрубка, уменьшенный в 25 раз; последние цифры — коэффициент быстроходности насоса, уменьшенный в 10 раз.

Технические характеристики центробежных песковых насосов, применяемых на обогатительных фабриках, представлены в табл. 9.

Следует иметь в виду, что технические и напорные характеристики грунтовых и песковых насосов даны при работе на воде. Характеристики этих насосов при работе на пульпе значительно отличаются в связи с тем, что параметры пульпы (расход, плотность и крупность хвостов) являются переменными. Методы пересчета характеристик грунтовых и песковых насосов с воды на пульпу изложены ниже (см. § 75).

Таблица 9

Технические характеристики центробежных песковых насосов

Марка	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Частота вращения вала n , мин ⁻¹	Электродвигатель	
				Тип	Мощность, кВт
НП-1М	7,2	12	1450	A02-31-4	2,2
2,5ПС-6	34	18	1450	A02-42-4	5,5
3ПРС-6*	54	24	1450	A02-61-4	13
3ПВР-6*	54	24	1450	A02-52-4	10
				A02-61-4	13
3ПВК-6	54	24	1450	A02-52-4	10
4ПС-6	85	32	1460	A02-72-4	30
4ПС-6	85	16	1460	A02-61-4	13
4ПСП-10*	85	16	1460	A02-61-4	13
5ПС-6	135	44	1470	A02-82-4	55
5ПС-10	135	22	1470	A02-72-4	30
				A3-315-1-4	132
6ПС-6	216	58	1450	A02-92-4	100
6ПС-10	216	30	1460	A02-82-4	55
8ПС-8	342	52	1450	A03-315-4	160
8ПС-10	342	41	1450	A02-92-4	100

* Гуммированный.

§ 74. Пульпонасосные станции

Пульпонасосные (землесосные) станции предназначены для транспортирования хвостов обогащения от обогатительной фабрики до хвостохранилища. Пульпонасосные станции по расположению подразделяются на головные, расположенные внутри обогатительной фабрики или в непосредственной близости от нее, и перекачные, расположенные по трассе пульпопровода.

Число пульпонасосных станций зависит от геометрической высоты подачи пульпы, рельефа местности, длины пульпопровода и типа землесосов. Пульпонасосные станции, как правило, сооружаются из сборных железобетонных конструкций. Размеры станций составляют от 24×12 до 60×20 м при высоте соответственно 6,5—12,2 м и зависят от числа устанавливаемых землесосов. В пульпонасосных станциях необходимо предусматривать установку наиболее совершенных типов землесосов в износоустойчивом исполнении.

Перекачные пульпонасосные станции могут работать по двум схемам:

с последовательной работой землесосов — нагнетательный пульпопровод первого землесоса подключается во всасывающий трубопровод последующего землесоса;

с промежуточными зумпфами — нагнетательный пульпопровод первого землесоса подает пульпу в зумпф, к которому подключен всасывающий трубопровод последующего землесоса.

Вторая схема более перспективна, так как обладает большей маневренностью и бесперебойностью в работе. В этом случае следует предусматривать на каждый землесос свой зумпф.

При максимальном расходе пульпы, превышающем максимальную подачу одного землесоса, допускается установка нескольких (как правило, однотипных) землесосов при параллельном их включении на один магистральный пульпопровод.

В пульпонасосных станциях необходимо предусматривать установку одного рабочего и одного резервного землесосов. При быстром износе отдельных деталей землесосов следует устанавливать три землесоса (один — в работе, второй — в резерве, третий — в ремонте). Последнее условие связано с тем, что до сих пор не разработаны конструкции износоустойчивых землесосов. Как только будут выпускаться износоустойчивые землесосы, сразу же следует отказаться от проектирования пульпонасосных станций с двойным резервом землесосов, так как это приводит к значительному увеличению капитальных затрат. Необходимо отметить, что в некоторых случаях расходы на увеличение размеров зданий насосных станций для установки резервных насосов значительно меньше, чем убытки при остановке обогачительной фабрики в результате перебоев в работе пульпонасосных станций.

В зависимости от типов землесосов пульпонасосные станции могут быть с зумпфами, расположенными выше оси насоса (работа «под заливом») или ниже оси насоса (работа на всасывание). Для перекачных пульпонасосных станций независимо от типов установленных землесосов рекомендуется зумпфы располагать выше оси насосов, что обеспечивает быстрый пуск насосов, компактность расположения оборудования, устойчивую работу землесосов. Расположение зумпфов ниже оси насосов дешевле и проще, но эксплуатация землесосов при этом затруднительна, так как требуется специальное устройство для размыва твердого материала, быстро оседающего на дно зумпфа при перерывах в работе землесосов; затруднен также пуск землесосов. Поэтому такие схемы применяются сравнительно редко.

§ 75. Основы расчета гидравлического транспорта

Расчет систем гидравлического транспорта заключается в определении критической скорости потока, гидравлического уклона и необходимого напора для транспортирования гидросмеси, диаметра трубопровода (для напорного транспорта) или размеров желоба (для безнапорного транспорта). По результатам расчета выбирают необходимое оборудование.

Между расходом пульпы, ее плотностью, крупностью частиц и площадью сечения пульпопровода существует зависимость, определяемая критической скоростью движения пульпы.

Рекомендуются следующие режимы гидравлического транспорта гидросмеси:

при скорости движения гидросмеси, близкой или равной критической скорости, т. е. $u \approx u_{кр}$;

при скорости движения гидросмеси, значительно большей критической скорости, т. е. при $u > u_{кр}$;

при скорости движения гидросмеси, меньшей критической скорости, т. е. $u < u_{кр}$ с образованием слоя отложившихся частиц.

В первом и втором режимах твердые частицы движутся во взвешенном состоянии. Наиболее экономичен первый режим, поскольку для него характерны наименьшие удельные потери напора. Этот режим рекомендуется как основной. Рабочую скорость транспортирования гидросмеси рекомендуется принимать в пределах $(1,15 \div 1,2)u_{кр}$. Второй режим характеризуется повышенным гидравлическим сопротивлением и рекомендуется в тех случаях, когда требуется увеличить производительность установки без замены трубопровода. Третий режим в связи с отложением частиц на твердой стенке характеризуется увеличением срока службы желобов и пульпопроводов.

Зависимость изменения гидравлического сопротивления от скорости транспортирования гидросмеси получают экспериментальным путем и приводят в виде графиков $i=f(u)$. Для трубопровода определенного диаметра при транспортировании по нему материала определенной крупности и плотности строят график. На рис. 36 приведены графики зависимости $i=f(u)$ для воды и тонкодисперсного концентрата медной руды (средневзвешенный диаметр частиц 0,05 мм, плотность твердой фазы 3,9 т/м³, диаметр трубы 105 мм). Из графика следует, что гидросмесь в отличие от воды перемещается устойчивым потоком только при повышенной скорости. При этом существует такая минимальная критическая скорость $u_{кр}$, которой соответствуют наименьшие потери напора.

Хвосты руд по дисперсному составу обычно мало отличаются от концентратов, но имеют меньшую плотность. Движение тонкодисперсных гидросмесей, представленных хвостами руд цветных металлов, характеризуются зависимостью, графики которой аналогичны приведенным на рис. 36.

Хвосты и концентраты железных руд более крупные. На рис. 37 представлены графики зависимости $i=f(u)$ для грубодисперсных смесей (средневзвешенный диаметр частиц 0,12 мм, плотность твердой фазы 3 т/м³). Из графиков следует, что зависимости $i=f(u)$ для гидросмесей данного вида и воды значительно различаются. Критическая скорость имеет повы-

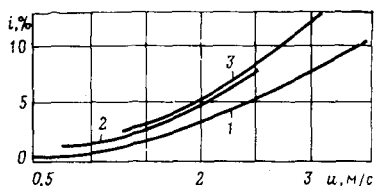


Рис. 36. График зависимости $i = f(u)$ для концентрата медной руды:

1 — вода; 2, 3 — пульпа плотностью соответственно 1,45 и 1,5 т/м³

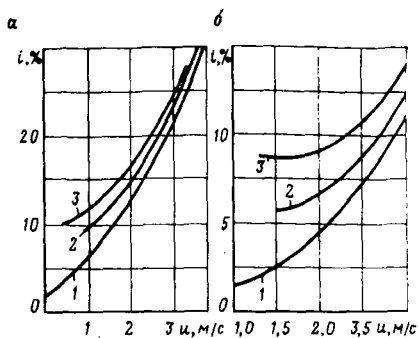


Рис. 37. График зависимости $i = f(u)$ для хвостов железных руд:

а, б — труба диаметром соответственно 450 и 500 мм; 1 — вода; 2, 3 — пульпа плотностью соответственно 1,07 и 1,13 т/м³

шенные значения и тем больше, чем выше содержание твердого в гидросмеси (или ее плотность). Область с экстремальным значением i , соответствующим $u_{кр}$, увеличивается и по мере повышения содержания твердого сдвигается в зону повышенных скоростей.

До настоящего времени отсутствует универсальная методика расчета гидравлического транспорта. Предложено несколько эмпирических формул для определения критической скорости, пользоваться которыми рекомендуется при определенных характеристиках гидросмеси (определенные диапазоны крупности твердой фазы, ее содержания, плотности).

Так, в работе [6] при плотности твердой фазы в пульпе 2,7—4,2 т/м³ предлагается пользоваться следующими формулами:

при средневзвешенном диаметре частиц $d_{ср} > 0,15$ мм

$$u_{кр} = 15D^{0,33}W^{0,25}j^{0,1}(\rho_{п}/\rho_{в} - 0,4);$$

$$D_{кр} = \left[\frac{0,85 Q_{п}}{W^{0,25}j^{0,1}(\rho_{п}/\rho_{в} - 0,4)} \right]^{0,43};$$

при средневзвешенном диаметре частиц $d_{ср} < 0,15$ мм

$$u_{кр} = 11D^{0,33}W^{0,25}(\rho_{п}/\rho_{в} - 0,4);$$

$$D_{кр} = \left[\frac{0,9 Q_{п}}{W^{0,25}(\rho_{п}/\rho_{в} - 0,4)} \right]^{0,43},$$

где $u_{кр}$ — критическая скорость гидросмеси, м/с; D — диаметр трубопровода, м; W — гидравлическая крупность хвостов, м/с; $j = 3d_{10}/d_{90}$ — коэффициенты разнородности твердых частиц (d_{10} и d_{90} определяются по характеристике крупности как диаметры, соответствующие выходу по минусу соответственно 10

и 90% материала); $\rho_{\text{п}}$ — плотность пульпы, т/м³; $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, т/м³; $D_{\text{кр}}$ — диаметр трубопровода, соответствующий критической скорости пульпы, м; $Q_{\text{п}}$ — расход пульпы, м³/с.

Гидравлической крупностью называют постоянную скорость свободного падения зерна в воде. В гравитационных методах обогащения эту скорость называют конечной скоростью падения.

Гидравлическую крупность хвостов можно определить по средневзвешенному диаметру частиц с учетом плотности и температуры гидросмеси с помощью таблиц, приведенных в работе [4].

Средневзвешенный диаметр [мм]

$$d_{\text{ср}} = 0,01 \sum d_i P_i,$$

где d_i — средняя арифметическая крупность фракций хвостов, мм; P_i — содержание (по массе) фракций хвостов данного диапазона крупности, %.

Расход пульпы [м³/ч]

$$Q_{\text{п}} = G/\rho_{\text{т}} + Q_{\text{в}},$$

где G — пропускная способность по массе твердого, т/ч; $\rho_{\text{т}}$ — плотность твердой фазы, т/м³; $Q_{\text{в}}$ — расход воды, м³/ч.

Плотность гидросмеси [т/м³]

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{в}} + (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}}) S,$$

где $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, т/м³; S — содержание твердого в гидросмеси — отношение объема (массы) твердой фазы к объему (массе) гидросмеси, доли ед.

$$S = Q_{\text{т}}/Q_{\text{п}} = T/(T + Ж) < 1,$$

где T — масса твердой составляющей в пульпе, т; $Ж$ — масса жидкой составляющей в пульпе, т.

Консистенция (соотношение твердой и жидкой фаз) по массе или объему

$$C_{\text{м}} = T/Ж; \quad C_{\text{о}} = T\rho_{\text{т}}/(Ж\rho_{\text{в}}),$$

где $C_{\text{м}}$ — консистенция по массе; $C_{\text{о}}$ — объемная консистенция. Значения $D_{\text{кр}}$ и $u_{\text{кр}}$ (для $d_{\text{кр}} > 0,15$ мм и $\rho_{\text{т}} = 2,7 \div 4,2$ т/м³) можно также определить по номограмме (рис. 38), которая построена по приведенной для указанных условий формуле.

Рабочая скорость u [м/с] в пульпопроводе круглого сечения

$$u = Q_{\text{п}}/F,$$

где F — площадь поперечного сечения пульпопровода стандартного диаметра D , м²; $F = 0,785 D^2$.

Гидравлический уклон (удельные потери напора) при скорости, близкой к критической или выше,

$$i_{\text{п}} = i_{\text{в}} \rho_{\text{п}} / \rho_{\text{в}},$$

где $i_{\text{п}}$ и $i_{\text{в}}$ — гидравлический уклон соответственно для гидро-смеси и воды (потери напора на единицу длины), доли ед. Гидравлический уклон для воды находят по таблицам для расчета водопроводных труб [16].

Потери напора $h_{\text{п}}$ [м] в пульпопроводе с учетом местных потерь, которые принимают равным 10—15% потерь по длине L , определяют из выражения

$$h_{\text{п}} = 1,1 - 1,15 Li.$$

Необходимый манометрический напор землесоса

$$H_{\text{м}} = H_{\text{г}} + h_{\text{п}},$$

где $H_{\text{г}}$ — геодезическая высота подачи пульпы, м.

Технические характеристики землесосов приведены при работе их на воде, поэтому перед выбором землесоса необходимо пересчитать значения $Q_{\text{п}}$ и $H_{\text{п}}$ на воду.

Следует иметь в виду, что при работе на пульпе напор, развиваемый насосом, и кпд снижаются, а мощность возрастает.

Для пересчета характеристик с пульпы на воду (или с воды на пульпу) рекомендуется применять формулы:

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{п}} (1 + 1/C_{\text{м}}); \quad H_{\text{в}} = H_{\text{п}} \rho_{\text{в}} / \rho_{\text{п}}; \quad N_{\text{в}} = N_{\text{п}} \rho_{\text{в}} / \rho_{\text{п}},$$

где $Q_{\text{в}}$ и $Q_{\text{п}}$ — подача землесоса при работе соответственно на воде и пульпе, м³/ч; $C_{\text{м}}$ — соотношение Ж:Т (по массе); $H_{\text{в}}$ и $H_{\text{п}}$ — напор при работе землесоса соответственно на воде и пульпе, м; $\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{п}}$ — плотность соответственно воды и пульпы, м/т³; $N_{\text{в}}$ и $N_{\text{п}}$ — потребляемая землесосом мощность при работе соответственно на воде и пульпе, кВт.

Мощность $N_{\text{п}}$ [кВт] на валу землесоса

$$N_{\text{п}} = Q_{\text{п}} \rho_{\text{г}} H_{\text{п}} / (3600 \cdot 1000 \eta),$$

где η — кпд землесоса. Мощность электропривода принимают с коэффициентом запаса $K = 1,1$.

Для самотечных пульпопроводов необходимый гидравлический уклон можно принимать в соответствии с рекомендациями, приведенными в § 72, которые составлены для материала с плотностью $\rho_{\text{т}} = 2,7$ т/м³. При другой плотности значение гидравлического уклона i умножают на коэффициент

$$K = [(\rho_{\text{т}} - 1) / 1,7]^2.$$

Коэффициент заполнения пульпопровода

$$A = h/D,$$

где h — высота заполнения пульпопровода, м; D — диаметр пульпопровода, м.

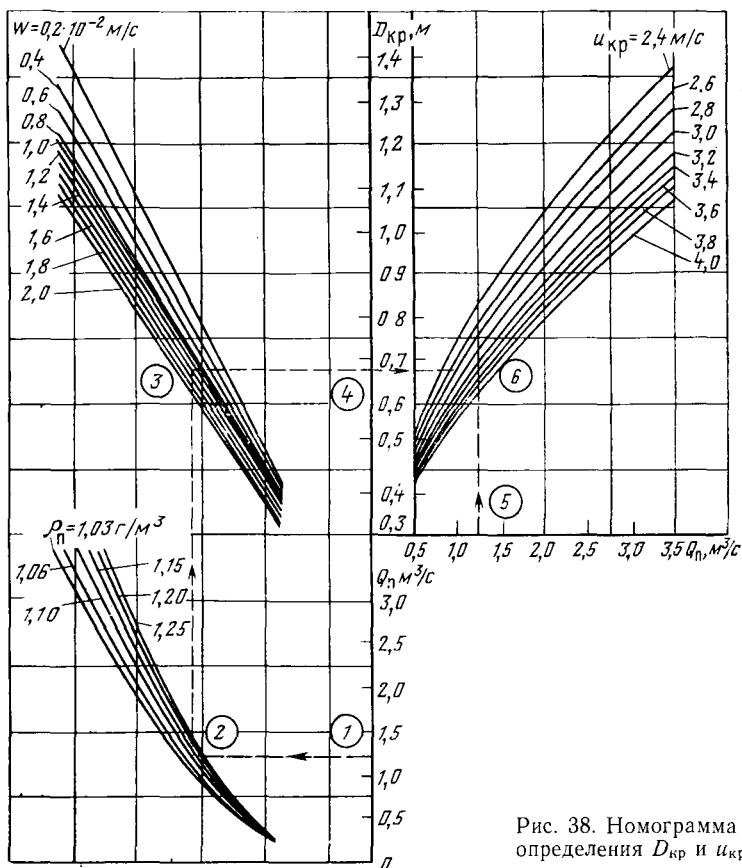


Рис. 38. Номограмма для определения $D_{кр}$ и $u_{кр}$

Площадь сечения потока

$$F = \beta \pi D^2 / 4,$$

где β — коэффициент, равный 0,64 при $A=0,6$; 0,87 при $A=0,8$; 1 при $A=1$.

Диаметр D [м] самотечного пульпопровода определяют по формулам:

для деревянных клепочных труб

$$D = \sqrt[4,77]{0,00136 Q^{1,8/i}};$$

для металлических труб

$$D = \sqrt[4,9]{0,00179 Q^{1,9/i}}.$$

Порядок расчета безнапорного транспорта зависит от заданных условий. Обычно задается необходимый объем (масса)

транспортируемого материала, а остальные параметры рассчитываются. Сначала необходимо задать соотношение $T:Ж$, определить консистенцию гидросмеси, содержание в ней твердого, а также ее плотность. Затем необходимо выбрать минимальный уклон транспортирования или, если он задан условиями местности, определить его. Для гидросмесей из различных материалов рекомендованы следующие уклоны желобов, доли ед.:

Отходы флотации	0,02—0,03	Порода	0,25—0,3
Флотационный концентрат	0,04—0,08	Мелкий песок	0,026—0,03
Слив классификаторов	0,03—0,05	Крупный песок	0,035—0,05
Рудный концентрат	0,05—0,1	Гравий	0,05—0,1
Рядовой уголь	0,15—0,2		

При безнапорном равномерном движении пульпы гидравлический уклон равен геометрическому уклону дна желоба и, следовательно, имеет место равенство

$$i = i_r = \sin \alpha,$$

где i_r — геометрический уклон дна желоба (потери напора на единицу длины прямолинейного участка); α — угол наклона линии дна желоба к горизонту.

По расходу пульпы и геометрическому уклону определяют сечение желоба. Для желобов с наибольшей пропускной способностью глубину живого сечения потока принимают в два раза меньше его ширины, т. е. $b = 2a$, где b — ширина желоба, м; a — глубина живого сечения потока, м.

Площадь живого сечения потока в желобе $F = ab = 2a^2$; смоченный периметр желоба $P = 2a + 2a = 4a$; гидравлический радиус $R = F/P = a/2$.

Гидравлический расчет желобов при равномерном движении пульпы производят по формуле Шези

$$u = c\sqrt{Ri_r},$$

где u — скорость равномерного движения пульпы, м/с; c — коэффициент Шези; R — гидравлический радиус, м.

Подставив значения R в формулу Шези, получим:

$$u = c\sqrt{ai_r/2}.$$

Подставив значение u в уравнение расхода $Q_n = Fu$, получим:

$$Q_n = 2a^2c\sqrt{ai_r/2},$$

откуда

$$a = \sqrt[5]{Q_n^2/(2c^2i_r)}.$$

Коэффициент Шези

$$c = \sqrt[5]{1000 \rho_n / (0,206 + \rho_n - 1)}.$$

При средних значениях $c=80$ и $i_r=0,025$

$$a = 0,315 \sqrt[5]{Q_n^2}.$$

Глубина живого сечения потока должна быть не менее критической глубины $h_{кр}$ живого сечения, при которой скорость движения потока равна критической.

При заданных расходе пульпы и размерах желоба геометрический уклон

$$i_r = Q_n^2 / (Fc^2R).$$

При заданных геометрическом уклоне желоба, форме и размерах его сечения гидравлический расчет сводится к определению транспортирующей способности потока, т. е. к определению максимально допустимой консистенции пульпы при заданной плотности и гранулометрическом составе твердой составляющей. Сначала определяют площадь живого сечения F и скорость u . Полагая затем $u = u_{кр}$, определяют транспортирующую способность потока.

Местные сопротивления на поворотах желоба учитывают увеличением расчетного (или заданного) геометрического уклона на 5—15% в зависимости от радиуса кривизны желоба в плане.

Глава 20

ХВОСТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО

§ 76. Общие сведения

Хвосты представляют собой мелкие частицы песка, пустой породы и малоценной руды, получающиеся в результате переработки полезных ископаемых (дробления, измельчения, классификации, флотации, магнитной сепарации и др.). Хвосты подразделяют на мокрые и сухие, к которым относят также крупные обезвоженные хвосты мокрого обогащения. Твердая фаза хвостовой пульпы состоит из частиц различного размера, а жидкая фаза — из воды, остатков флотационных реагентов и нефтепродуктов, применяемых для смазки оборудования обогатительных фабрик.

Комплекс сооружений и оборудования, предназначенных для транспортирования, укладки хвостов и обратного водоснабжения обогатительной фабрики, называется хвостовым хозяйством.

Совершенствование технологии добычи и переработки полезных ископаемых должно включать природоохранные мероприятия, предусматривающие защиту воздушного и водного бассейнов от загрязнения промышленными отходами, а также рекультивацию земель, отчуждаемых в процессе горных работ. Рациональное использование породы и хвостов, образующихся при обогащении (до 80% которых в настоящее время складывается в отвалы), позволяет получить дополнительные виды продукции для народного хозяйства. Некоторая часть хвостов может быть использована для закладки выработанного пространства при горных работах. Крупные хвосты, остающиеся после сухой магнитной сепарации магнетитовых руд, пригодны в качестве строительного щебня, тонкоизмельченные кварцевые пески магнитообогажительной фабрики — для производства силикатного кирпича, отходы углеобогащения — для получения аглопорита (пористого заполнителя для легких бетонов), известняковые породы — для производства удобрений.

Рациональное размещение сооружений хвостового хозяйства предусматривает соответствующую защиту окружающей среды, наименьшую стоимость строительства, удобство эксплуатации и, в конечном счете, наименьшую стоимость выпускаемой обогажительной фабрики продукции.

Площадка под хвостохранилище выбирается на основании изучения материалов топографических, инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий. В зависимости от близости расположения хвостохранилища к населенным пунктам и наличия в хвостовой пульпе вредных реагентов радиус гидрогеологических исследований увеличивается до 5 км от границ хвостохранилища.

При выборе площадки под хвостохранилище необходимо учитывать следующие условия:

- площадка должна быть достаточной по размерам для размещения хвостов на все время эксплуатации обогажительной фабрики;

- при содержании в хвостах ценных компонентов, которые в будущем сложно будет извлекать, или при возможности использования хвостов в других отраслях промышленности необходимо предусмотреть простой способ их отгрузки из хвостохранилища;

- для удобства и удешевления транспортирования хвостов в хвостохранилище желательно, чтобы оно располагалось по отношению к обогажительной фабрике на более низких отметках, что позволяет применять безнапорный или напорно-самотечный гидротранспорт хвостов в течение всего или большей части срока эксплуатации фабрики;

- для устройства хвостохранилища наиболее выгодной формой рельефа местности являются естественные впадины или долины,

позволяющие при небольшой длине ограждающей дамбы получить необходимый по объему и поверхности хвостовой пруд;

должны быть удовлетворены санитарные требования в отношении создания условий минимальных пылеобразований и загрязнения воздушного бассейна, грунтовых вод и водоемов в районах расположения населенных пунктов и промышленных предприятий;

расстояние между границами застроенных территорий и хвостохранилищем должно быть не менее 250 м;

под хвостохранилища следует занимать площади, наименее пригодные для культурной обработки земли.

Выбор места под хвостохранилище необходимо согласовать с организациями, ведающими отчуждением земель.

При проектировании хвостового хозяйства необходимо удовлетворение следующих требований:

максимальной защиты окружающей среды;

наибольшей экономичности транспортирования и складирования хвостов по капитальным и эксплуатационным затратам;

максимальной надежности;

простоты и удобства эксплуатации, обеспечивающих бесперебойную работу обогатительной фабрики.

Хвостовые хозяйства различают по следующим признакам:

по характеру материала — для мокрых хвостов, для сухих и обезвоженных хвостов; по способу компоновки — высотные, образуемые на ровной местности, глубинные, использующие овраги, балки, долины, заброшенные карьеры и другие естественные углубления; по способу транспортирования — конвейерные, рельсовые, с подвесными канатными дорогами, с автомобильным транспортом, с гидравлическим транспортом; по форме штабеля — плоские, хребтовые, конические, коноидальные.

§ 77. Укладка мокрых хвостов

Укладка мокрых хвостов обогатительных фабрик производится в естественные или искусственные водоемы — хранилища. В качестве естественных хвостохранилищ можно использовать огражденные участки природных водоемов (озер, рек и т. п.). Искусственные хвостохранилища сооружают, ограждая земную поверхность дамбами, обваловывая или перегораживая балки, овраги, речные долины.

Место расположения хвостохранилища должно обеспечивать необходимую вместимость для укладки хвостов в течение заданного срока эксплуатации.

Необходимая вместимость V [м³] хвостохранилища

$$V = \frac{Qn}{\gamma_p(1-m)},$$

где Q — масса укладываемых хвостов за год, t ; n — число лет эксплуатации обогатительной фабрики; η — коэффициент заполнения хвостохранилища; ρ — плотность твердой фазы хвостов, t/m^3 ; $m = 0,38 \div 0,5$ — пористость отложений хвостов, зависящая от их крупности.

Коэффициент заполнения хвостохранилища в зависимости от его вместимости колеблется от 0,75 (при вместимости меньше 1 млн. m^3) до 0,9 (при вместимости больше 30 млн. m^3).

В зависимости от вместимости и площади хвостохранилища и календарного плана укладки хвостов намечаются высота первоначальной и конечной дамб хвостохранилища, а также план наращивания дамбы по годам. Наращивание дамбы часто производится из самих хвостов. Возможность использования хвостов для этой цели определяется их строительными свойствами, которые зависят главным образом от их гранулометрического состава.

Принято считать, что намыв дамбы из хвостов возможен в том случае, если они содержат не более 60% класса — 0,074 мм.

Классификация хвостов на дамбе производится в гидроциклонах или классификаторах, пески используются для намыва дамбы, а сливы сбрасываются в пруд хвостохранилища.

Выбор способа транспортирования и укладки хвостов зависит от количества хвостов, их физических свойств, рельефа местности и расстояния от обогатительной фабрики до хвостохранилища.

В зависимости от рельефа местности хвостохранилища подразделяют на равнинные, пойменные, косогорные, овражные и речные.

Хвостохранилища равнинного типа устраивают на местности с малопересеченным рельефом. В этих условиях дамбы обваловывания сооружают по всему периметру хвостохранилища.

Разновидностью такого типа служат хвостохранилища без ограждающих дамб. В этом случае под хвостохранилища используют естественные впадины и отработанные карьеры.

Хвостохранилища пойменного типа устраивают в поймах рек; дамбы обваловывания сооружают, как правило, с трех сторон. Дамба обваловывания со стороны реки имеет относительно сложную конструкцию, обеспечивающую прочность и неразрываемость низового откоса, что увеличивает расходы на сооружение и эксплуатацию хвостохранилища.

Хвостохранилища косогорного типа сооружают на склонах возвышенностей с устройством дамб обваловывания с трех сторон. Паводковые и дождевые воды отводятся водосбросными сооружениями для удаления осветленных вод или специальными водоотводными каналами.

Хвостохранилища овражного типа сооружают в оврагах и балках, перегораживая выход из них дамбой. В этом случае хвостохранилище должно вмещать не только хвосты фабрики, но и паводковые и дождевые воды, объем которых вследствие большой площади водосбора может быть весьма значительным.

Хвостохранилища речного типа сооружают в долинах рек, перегораживая их русла плотинами. К устройству хвостохранилища такого типа вследствие его сложности прибегают в исключительных случаях, при невозможности устройства хвостохранилищ других типов.

На сильнопересеченной местности устраивают хвостохранилища комбинированного типа — равнинно-овражные, пойменно-косогорные и пр.

При выборе класса капитальности хвостохранилища и его сооружений можно руководствоваться табл. 10.

В отдельных случаях допускается повышение или понижение на один класс капитальности хвостохранилища или отдельного сооружения.

Существуют три способа заполнения хвостохранилищ: «от плотины к берегам», «от берегов к плотине» и комбинированный.

При способе «от плотины к берегам» (рис. 39, а) хвосты обогатительной фабрики 4 по магистральному трубопроводу 3 подаются к распределительному пульпопроводу 2, уложенному вдоль гребня плотины 1. Распределительный пульпопровод имеет отверстия, из которых пульпа поступает в хвостохранилище. Твердые частицы пульпы выпадают на дно хвостохранилища, образуя конус отложения. Постепенно вершина конуса доходит до устья выпусков и из отложившихся хвостов создается откос (пляж), поверхность которого выше уровня воды хвостового пруда.

Распределительный пульпопровод поднимается и горизонт воды в хвостохранилище повышается.

Основные преимущества такого способа: большая часть поверхности отложений находится под водой, что значительно уменьшает пылеобразование в летнее время; возможность наращивания различных частей плотины из хвостов необходимой крупности.

При способе «от берегов к плотине» (рис. 39, б) распределительный пульпопровод 2 укладывается на значительном расстоянии от уровня воды в хвостохранилище. Пульпа из выпускных отверстий сбрасывается на естественную поверхность, имеющую уклон, и стекает к воде, образуя пляж из твердых частиц хвостов. По мере достижения отложениями хвостов выпускных отверстий пульпопровода последний поднимается и происходит намыв следующего слоя хвостов; горизонт воды в хвостохранилище остается на прежнем уровне.

Класс капитальности	Вместимость хвостохранилища, млн. м ³	Выход хвостов, тыс. т/сут.	Высота ограждающей дамбы, м	Степень ответственности сооружений и последствия их разрушения
I	>100	>10	>50	Особо ответственные, авария которых сопряжена с катастрофическими последствиями для населенных пунктов и предприятий, а также с отравлением, загрязнением водоемов и водотоков питьевого назначения
II	>100	>10	>50	Особо ответственные, авария которых не сопряжена с катастрофическими последствиями для населенных пунктов и предприятий, но вызывает затопление сельскохозяйственных угодий, отравление и загрязнение водоемов и водотоков, имеющих народнохозяйственное значение
III	100—10	10—5	50—20	Малоответственные, авария которых не может вызвать серьезных последствий для населенных пунктов и предприятий и вызывает затопление местности, не имеющей народнохозяйственного значения
IV	<10	5—1	<20	Размещены в незастроенных местностях; авария вызывает затопление земель и загрязнение водоемов и водотоков, не пригодных к использованию в данное время
V	<10	<1	<10	Временные сооружения, авария которых вызывает затопление земель и загрязнение водоемов, не пригодных к использованию в данное время

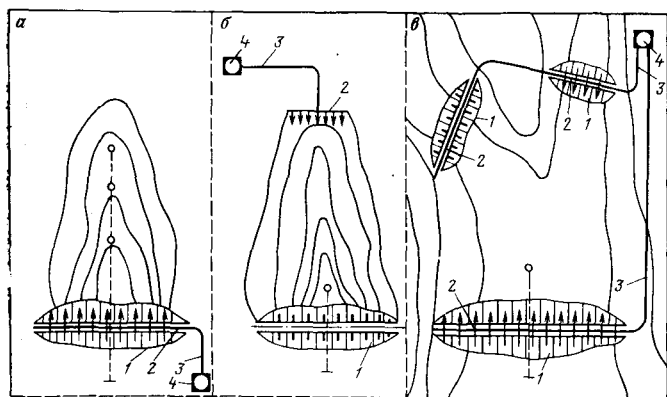


Рис. 39. Схемы заполнения хвостохранилищ

Преимущество такого способа — максимальное использование рельефа местности для укладки хвостов без повышения высоты плотины. Недостатки: необходимость возведения первоначальной плотины на высоту, обеспечивающую вместимость хвостохранилища на весь период эксплуатации обогатительной фабрики; трудность эксплуатации в зимнее время вследствие образования наледей; пыление хвостов в летнее время.

Этот способ заполнения хвостохранилищ применяется сравнительно редко при наличии специального обоснования в проекте.

Комбинированный способ заполнения хвостохранилищ (рис. 39, в) применяют, если крупные фракции хвостов используются для намыва дамбы, а мелкие сбрасываются в хвостохранилище у берегов. С этой целью у места устройства плотины магистральный хвостопровод разветвляется: одна ветка направляется на плотину, вторая укладывается вдоль берега хвостохранилища. Крупные частицы пульпы, перемещающиеся в нижней части сечения магистрального трубопровода, попадают в хвостопровод, направленный на плотину. Этот хвостопровод помещается ниже магистрального и соединяется с ним вертикальными патрубками, на которых установлены дроссельные затворы для регулирования расхода пульпы.

В некоторых случаях применяют раздельное транспортирование хвостов различных фракций от обогатительной фабрики до хвостохранилища.

В последнее время находят применение хвостохранилища с центральной подачей сгущенных хвостов (рис. 40). При размещении хвостохранилища на равнине вокруг отведенной для складирования территории сооружается невысокая дамба. Сгущенные хвосты подаются в центральную часть территории на

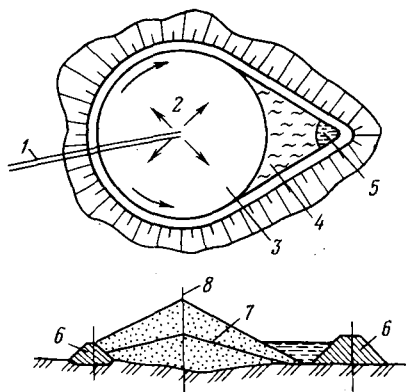


Рис. 40. Схема хвостохранилища при центральной подаче сгущенных хвостов:

1 — разводящий пульпопровод; 2 — выпуски; 3 — хвосты; 4 — отстойная зона; 5 — осветленная вода; 6 — ограждающая дамба; 7 — промежуточное положение откоса; 8 — ось конуса хвостов

небольшой высоте над поверхностью земли и постепенно образуют пологий конус, центральная часть которого состоит преимущественно из крупных фракций, а периферия — из более мелких. Когда вершина конуса достигнет точки подачи хвостов, разводящий пульпопровод приподнимают, а процесс наращивания конуса продолжается. При такой схеме заполнения необходимо, чтобы содержание твердого в пульпе составляло не менее 30%. Это обеспечит образование конуса с уклоном откосов 5—6%. В начале заполнения плотность хвостов должна быть невысокой, чтобы площадь образовавшегося конуса имела достаточные размеры. Это позволяет отдалить срок первого повышения отметки разводящего пульпопровода.

Данная схема позволяет значительно уменьшить строительный объем ограждающей дамбы, а также отказаться от высоких колодцев для забора осветленной воды. Требуемая для такого хвостохранилища площадь может оказаться меньше, чем для хвостохранилищ традиционного типа, так как к моменту заполнения оно представляет собой высокий конус, вершина которого находится значительно выше ограждающей дамбы.

Недостатки способа: невозможность применения при значительных объемах складирования, повышенных требованиях к качеству оборотной воды, высокой крупности материала; необходима разработка специальных мероприятий по предотвращению чрезмерного загрязнения воздушного бассейна пылящими частицами хвостов, намытых в конус.

§ 78. Основные сооружения хвостового хозяйства

В состав хвостового хозяйства обогатительной фабрики входят следующие основные сооружения: плотины (насыпные и намывные) и дамбы обваловывания; водосбросные сооружения; дренажные устройства; насосные станции оборотного водоснаб-

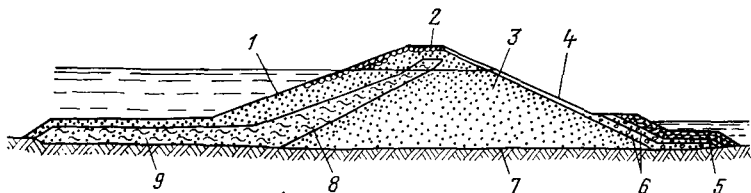


Рис. 41. Профиль насыпной плотины

жения; сооружения для химической очистки осветленной воды; пульпонасосные станции и пульпопроводы.

Плотины и дамбы. Хвостохранилища сооружают в две очереди: I — устройство насыпных плотин и дамб обваловывания; II — устройство намывных плотин из хвостов.

Насыпная плотина (рис. 41) состоит из следующих основных элементов:

тело 3 плотины — искусственно образованная насыпь, ограниченная гребнем, подошвой и откосами плотины;

гребень 2 плотины — горизонтальная плоскость, ограничивающая тело плотины сверху;

подошва 7 плотины — поверхность сопряжения тела плотины с ее естественным основанием;

верховой откос 1 плотины — откос со стороны хвостового пруда;

низовой откос 4 плотины — откос с противоположной стороны плотины;

водоупорные части тела плотины (экран 8, понур 9) — противофильтрационные устройства, предназначенные для ослабления фильтрации через тело плотины и ее основание;

дренажные устройства — дренажная призма 5 и двухслойный обратный фильтр 6, предназначенные для предупреждения выхода фильтрующих вод непосредственно на низовой откос плотины выше ее подошвы.

Как правило, плотины I очереди сооружают из местных или привозных естественных грунтов: песков, супесей, суглинков и глин. Отдельные части плотины образуют из камней или щебня. В некоторых случаях плотину I очереди можно сооружать непосредственно из хвостовой пульпы. Необходимо иметь в виду, что чем более неоднороден по гранулометрическому составу применяемый грунт, тем меньше его сопротивляемость внутреннему размыву.

Земляные плотины прудов хвостохранилищ и их основания должны обладать водоупорностью, прочностью и устойчивостью.

Высота насыпных плотин I очереди обуславливается следующими основными требованиями: объем водного бассейна должен обеспечивать необходимое осветление пульпы в первый период эксплуатации хвостохранилища; должна быть обеспечена уклад-

ка хвостов за период зимней эксплуатации обогатительной фабрики; необходимо аккумулятивное накопление части объема паводковых вод; необходимо превышение гребня плотины над нормальным уровнем воды в хвостохранилище во избежание ее перелива через гребень с учетом высоты волны. Поперечное сечение насыпной плотины должно быть трапецеидальным.

При конструировании и строительстве насыпных плотин I очереди необходимо иметь в виду, что эти плотины при заполнении хвостохранилищ способом «от плотины к берегам» являются упором для намывного откоса отложений хвостов, образующих тело плотины II очереди.

Наполнение водой хвостохранилища начинается после образования (путем намыва из хвостовой пульпы) на верховом откосе водоупорной части плотины экрана.

Низовые откосы насыпных плотин в целях предохранения от распыления ветром и размыва дождевыми водами укрепляются дерном или посадкой зеленых насаждений. Верховые откосы плотин и дамб хвостохранилищ укрепляются только, если верховой откос не замывается хвостами, т. е. при способе заполнения хвостохранилища «от берегов к плотине».

Водосбросные сооружения предназначены для отвода из хвостохранилища осветленных и приточных с поверхности водосбросного бассейна (паводковых и ливневых) вод и для полного (или частичного) опоражнивания хвостохранилища.

Конструкция водосбросных сооружений должна предусматривать возможность отвода воды с различных отметок горизонта, так как уровень воды в хвостохранилище непрерывно повышается. Применяются водоприемники шахтного типа, которые располагаются в хвостохранилище таким образом, чтобы в любой момент эксплуатации расстояние от места выпуска пульпы до места слива осветленной воды было достаточным для выпадения твердых частиц хвостов на дно хвостохранилища.

Конструкция и способ прокладки водоспускного коллектора по дну хвостохранилища определяются инженерно-геологическими условиями. Коллекторы рекомендуется сооружать из сборных бетонных и железобетонных элементов. По мере заиливания ближайшего к плотине водоприемника и повышения уровня воды в хвостохранилище водоспускной коллектор наращивается и на нем устраивается новый водоприемник. Колодец закрывается после того, как в верхний ряд окон начинает поступать недостаточно осветленная вода; после этого водоприемник заиливается, а вода сливается через расположенный выше водоприемник.

При проведении водоспускного коллектора через тело насыпной плотины I очереди необходимо принимать меры против фильтрации воды из хвостохранилища вдоль стенок коллектора. Уклон водоспускного коллектора выбирается из условия пропуска соответствующего расхода осветленных и паводковых вод.

Дренажные устройства предназначены для предупреждения выхода фильтрующих вод непосредственно на низовой откос плотины выше ее подошвы, а также для защиты от заболачивания территорий, прилегающих к хвостохранилищу. Для этой цели в низовом откосе плотины устраивают дренажные призмы из камня. Дренажи оборудуют обратными фильтрами для предотвращения выноса мелких частиц грунтов из тела плотины и ее основания. Обратные фильтры в зависимости от грунтов основания и тела плотины могут состоять из слоев песка, гравия и гальки различных фракций.

Фильтрационные воды отводятся от плотины к ближайшему естественному водоему с помощью канав, устраиваемых вдоль подошвы низового откоса плотины, и сбрасываются в водобойные колодцы насосных станций оборотного водоснабжения.

Насосные станции оборотного водоснабжения предназначены для возврата осветленной воды на обогатительную фабрику. Эти насосные станции бывают нескольких типов: стационарные и передвижные береговые; плавучие; расположенные у низового откоса плотины.

Стационарные береговые станции размещаются на берегу хвостохранилища или в непосредственной близости от него. Водозаборные сооружения этих станций обеспечивают прием осветленной воды с разных отметок горизонта воды в хвостохранилище.

Передвижная береговая насосная станция разработана Механобром для Ковдорского хвостохранилища. Здание насосной станции перемещается лебедками по рельсам, уложенным на специально спланированной поверхности откоса одного из бортов хвостохранилища. Насосная станция изменяет свое положение в соответствии с подъемом горизонта воды в хвостохранилище. Насосы подключаются к предварительно проложенным всасывающему и нагнетательному трубопроводам с помощью соответствующих патрубков.

Плавучая насосная станция представляет собой судно, на котором установлены два вертикальных центробежных насоса. Всасывающие линии насосов забирают воду из специально водоприемного устройства типа погруженного в воду ящика с днищем, одна или две боковые стенки которого представляют собой водослив. Применение плавучих насосных станций для системы оборотного водоснабжения сдерживается трудностями эксплуатации их в зимний период.

Типичный пример насосной станции оборотного водоснабжения, расположенной у низового откоса первичной плотины, — станция Джекказганского хвостохранилища. В конце водоспускного коллектора устроен для гашения энергии потока осветленных хвостовых вод водобойный железобетонный колодец, из которого вода попадает в водозаборное устройство, а из

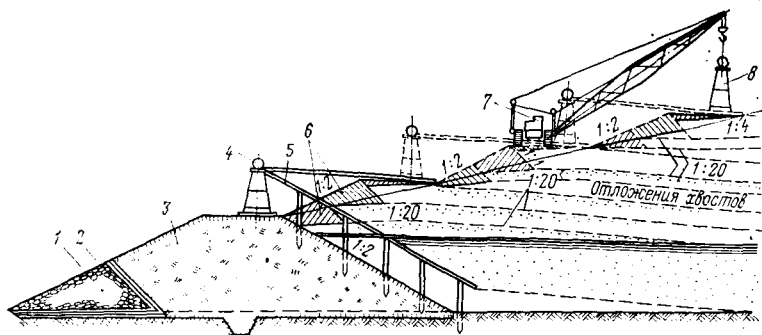


Рис. 42. Эстакадный способ намыва дамбы:

1 — дренажная призма; 2 — каменная наброска; 3 — насыпная плотина; 4 — пульпопровод; 5 — деревянный желоб (первоначальное положение); 6 — насыпные дамбочки; 7 — кран-трубоукладчик; 8 — опоры пульпопровода

него по самотечным линиям — во всасывающие колодцы насосной станции. Насосы подают осветленную воду по двум трубопроводам в водонапорный бак обогатительной фабрики.

При выборе места расположения насосных станций обратного водоснабжения необходимо стремиться к обеспечению наилучших условий для осветления хвостовых вод и наименьшей протяженности водоводов обратной воды. Выбор типа насосной станции определяется типом хвостохранилища и способом его заполнения, климатическими условиями и т. д.

Сооружения для химической очистки предназначены для очистки осветленной воды перед сбросом ее в естественные водоемы. При проектировании хвостового хозяйства необходимо проводить специальные исследования для решения вопроса о необходимости химической очистки хвостовых вод и разработки ее технологической схемы.

§ 79. Основы намыва дамб

Существует несколько способов намыва дамб обваловывания хвостохранилищ из хвостов: эстакадный, зенитный, безэстакадный.

Эстакадный способ (рис. 42) состоит в следующем. Распределительный напорный хвостопровод укладывают на деревянные эстакады высотой 1,5—2 м, установленные вдоль намываемой плотины. В пульпопроводе через каждые 6—8 м имеются обращенные вниз выпускные отверстия, через которые пульпа по деревянным желобам поступает на верховой откос плотины I очереди. При растекании пульпы в направлении, перпендикулярном продольной оси эстакады, выпадающие твердые частицы образуют откос с постепенно повышающимся гребнем против линии выпусков.

Намыв первого яруса производится при всех открытых отверстиях, поэтому наиболее интенсивно он происходит у первого отверстия, через которое выходит наиболее плотная пульпа, содержащая самые крупные твердые частицы. После того, как отложения хвостов подойдут к выпуску, первое отверстие закрывают и крупные хвосты поступают ко второму отверстию и т. д. Предотвращение растекания пульпы по низовому откосу и формирование последнего производится благодаря насыпным дамбам обваловывания из отложившихся крупных частиц хвостов с помощью бульдозеров. По мере роста отложений хвостов и до достижения ими гребня плотины I очереди соответствующие звенья распределительных желобов разбирают; деревянные опоры замываются хвостами. По намытому экрану плотины I очереди устанавливают переносные эстакады, по которым прокладывают распределительный хвостопровод.

Применяют как переносные эстакады, так и стационарные, располагаемые внутри хвостохранилища на некотором расстоянии от гребня плотины. Стационарные эстакады периодически замываются хвостами и остаются в теле намываемой плотины, что ведет к большим потерям лесоматериалов. Поэтому в настоящее время широко применяют переносные эстакады.

При проектировании хвостохранилищ Механобр предусматривает механизацию работ по переносу эстакад и распределительных хвостопроводов, а также по устройству дамб обваловывания с помощью экскаватора или крана.

При *зенитном способе* (рис. 43) распределительный хвостопровод укладывается на деревянных брусках непосредственно по гребню плотины I очереди. В днище хвостопровода через каждые 6—10 м имеются выпускные отверстия с затворами, из которых на верховом откосе плотины намыывают экран из хвостов. После намыва экрана к выпускным отверстиям хвостопровода присоединяют наклонные патрубки, по которым подают хвосты для намыва до уровня гребня первого этажа дамб обваловывания. По мере роста гребня отложений хвостов патрубки от распределительного хвостопровода наращивают, после чего намыывают следующие этажи плотины. Дамбочки обваловывания, предназначенные для предупреждения растекания пульпы, устраивают с помощью бульдозеров.

Механобр рекомендует наращивание выпусков на 8—10 м в соответствии с опытом намыва дамб на строительстве канала им. Москвы, где впервые был применен этот способ.

Безэстакадный способ намыва дамбы с *наклонных прогонов* (рис. 44) был осуществлен на Каджаранском комбинате. Вдоль оси гребня плотины I очереди через 4—5 м друг от друга устанавливают на деревянных сваях лаги с наклоном, равным уклону низового откоса намывной части плотины. На наклонные лаги укладывают хвостопровод, в нижней части которого через

Выбор способа намыва дамбы в каждом конкретном случае определяется местными условиями и зависит от суточного расхода хвостов, их гранулометрического состава, консистенции пульпы, длины плотины, необходимой скорости наращивания гребня плотины.

При малой и средней производительности обогащительных фабрик по хвостам и невысокой скорости наращивания плотины рекомендуется применять эстакадный способ намыва дамбы; при малой производительности фабрик и большой скорости намыва плотин — безэстакадный с наклонных прогонов; при средней производительности фабрик по хвостам и небольшой по длине плотине — зенитный; при большой производительности фабрик по хвостам, длинных плотинах, значительных крупности хвостов и консистенции пульпы — безэстакадный. Следует отметить, что последний способ намыва не нашел пока апробации в практике эксплуатации хвостохранилищ.

Наилучшей механизации поддаются безэстакадный способ намыва дамб и намыв с переносных эстакад (разновидность эстакадного способа).

§ 80. Транспортирование и укладка хвостов в отвал

Транспортирование мокрых хвостов осуществляется от обогащительной фабрики до естественного или искусственного хвостохранилища, где происходит осаждение твердой фазы.

Выбирая систему гидравлического транспорта, необходимо учитывать следующие основные факторы: рельеф местности; перепад абсолютных отметок начала и конца хвостопровода и его протяженность; гидравлический уклон для транспортирования пульпы заданной консистенции с заданной плотностью и гранулометрическим составом.

Возможность использования различных систем гидравлического транспорта хвостов применительно к заданным условиям необходимо рассматривать в следующей последовательности: безнапорная; напорно-самотечная; напорно-принудительная; смешанная. Выбирая систему гидротранспорта, следует прежде всего ориентироваться на применение безнапорной и напорно-самотечной системы транспортирования хвостов.

Гидравлическая укладка хвостов в хвостохранилище по способу «от плотины к берегам» осуществляется двумя способами: одноэтажным и многоэтажным.

При одноэтажном способе заполнения хвостохранилища плотина намывается непрерывно (за исключением зимнего периода при отрицательной температуре воздуха) на полную высоту, обеспечивающую вместимость хвостохранилища на весь проектный срок эксплуатации обогащительной фабрики, после чего производится постепенное заполнение хвостового пруда.

При многоэтажном способе плотину намывают периодически по мере заполнения хвостохранилища до определенной отметки (меньшей, чем отметка, обеспечивающая необходимую вместимость хвостового пруда на весь проектный срок эксплуатации фабрики). После заполнения хвостохранилища до этой отметки намывают плотину до следующей запланированной отметки, достигнув которой, приступают к заполнению созданной емкости. Операции по намыву плотины и заполнению хвостохранилища периодически повторяются.

Следует учитывать *особенности эксплуатации* хвостохранилищ в зависимости от времени года.

В летний период путем наращивания дамбы должна быть подготовлена емкость хвостохранилища для укладки хвостов в зимнее время. При этом расстояние от уровня воды до гребня плотины должно быть не менее 1 м для предотвращения перелива воды через плотину при высокой волне.

В весенний период необходимо принять меры для пропуска через хвостохранилище паводковых вод, не допуская переливания воды через гребень плотины, что может служить причиной ее разрушения. Готовясь к весеннему паводку, необходимо понизить уровень воды в хвостохранилище, привести в порядок дренажные сооружения и нагорные канавы, очистить ото льда приемные колодцы. В период паводка необходимо вести постоянные наблюдения за уровнем воды в хвостохранилище.

В зимний период производят укладку хвостов под лед и отвод осветленной воды. При подготовке к зиме следует поднять уровень воды в хвостовом пруде с учетом толщины льда и глубины, необходимой для отложения хвостов подо льдом. От распределительного хвостопровода делают ответвление, которое укладывают на сваи; ответвление подводят к проруби, через которую хвосты выпускают под лед. Крупные частицы пульпы образуют у выпуска конус, мелкие частицы потоком воды относятся в глубь хвостохранилища. По мере того как отложившиеся подо льдом хвосты достигнут верха дамбы отводящий трубопровод переставляют дальше от дамбы. Осветленную воду отводят обычным способом.

§ 81. Укладка сухих и обезвоженных хвостов

Выбор способа компоновки хвостохранилища (отвала) и транспортирования сухих хвостов зависит от их количества, физических свойств, рельефа местности и расстояния от обогатительной фабрики.

Отвалы сухих хвостов — источники загрязнения воздушного бассейна, пожаро- и взрывоопасны. Поэтому размещать их целесообразно вне территории обогатительной фабрики и населенных пунктов. Если это сделать трудно, то при выборе площадки

для отвала минимальные разрывы между отвалами породы и гражданскими и промышленными сооружениями должны быть не менее: до населенного пункта 500 м, до линии электропередачи напряжением 3—6 кВ — 100 м, 35 кВ и выше — 300 м, до административных зданий 50 м, до вспомогательных зданий и сооружений 20 м.

Способ транспортирования и укладки хвостов выбирают на основе технико-экономического сравнения возможных вариантов с учетом охраны окружающей среды и увязкой с существующей и проектируемой застройкой данного района.

Конвейерные отвалы оборудованы ленточными конвейерами: стационарным, подающим хвосты от фабрики до подножья отвала конусообразной формы; передаточным, перегружающим хвосты со стационарного на головной конвейер; головным, транспортирующим хвосты по отвалу на укладку. Головной конвейер оборудован телескопическим устройством для удлинения его по мере заполнения отвала; он может быть выполнен в виде поворотной консоли с вылетом до 30—40 м и углом поворота в плане до 120°. Угол подъема передаточных и головного конвейеров до 20°.

Отвалы этого типа обладают большой производительностью. Недостаток — сложность обслуживания.

Рельсовые отвалы конусообразной формы (терриконы) оборудованы одно- или двухколейными путями, по которым в саморазгружающихся вагонетках или скипах транспортируются хвосты. Грузенные сосуды канатной откаткой поднимаются по рельсовому пути на вершину отвала и разгружаются опрокидыванием вперед на передвижной ферме. Угол наклона рельсовых путей на отвале 20—30°; угол, образованный свободно скатывающейся породой, 40—45°.

Откаточные сосуды загружают автоматически из бункеров, вместимость которых рассчитана на объем хвостов, получаемых за смену, минимально — на 2—3 ч работы обогатительной фабрики.

Производительность откатки составляет: при однорельсовом пути 5—18 м³/ч, при двухрельсовом — 15—55 м³/ч. По мере заполнения отвала концевая ферма передвигается вперед с помощью домкрата или лебедки.

Отвалы такого типа применяют в условиях горизонтальной площадки отвала и при расположении его на расстоянии от фабрики не далее 700 м.

Достоинство рельсовых отвалов: простота конструкции, малые капитальные затраты; небольшая занимаемая площадь. Недостатки — трудоемкость работ по поддержанию рельсового пути и передвижки разгрузочных ферм.

Отвалы, оборудованные подвесными канатными дорогами, могут быть: конусообразными (рис. 45, а) — при одной конче-

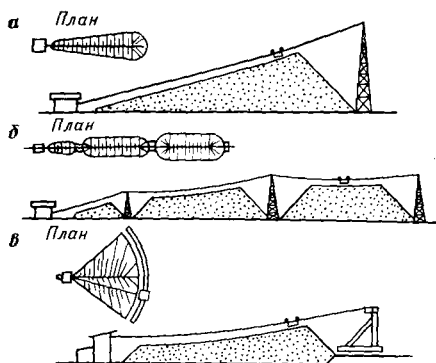


Рис. 45. Схемы образования отвалов хвостов с помощью подвесных канатных дорог

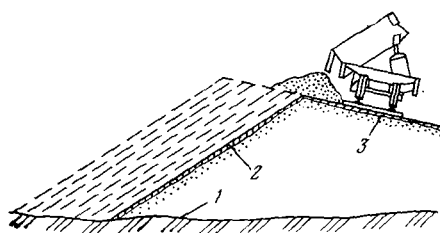


Рис. 46. Образование плоского отвала:

1 — линия начальной поверхности; 2 — начальный откос; 3 — начальная насыпь

вой мачте; штабельными (рис. 45, б) — при нескольких мачтах с размещением штабелей в пролетах между ними; секторными (рис. 45, в) — при передвижении концевой мачты по дуговому рельсовому пути.

Принцип работы подвесных канатных дорог приведен в § 29. Достоинства и недостатки отвалов этого типа определяются достоинствами и недостатками подвесных канатных дорог. При большом расстоянии и сильнопересеченной местности отвалы такого типа являются наиболее экономичными, несмотря на большие капитальные затраты на сооружение высоких стальных мачт.

При транспортировании хвостов в отвалы в опрокидных железнодорожных вагонах (думпкарах) и автосамосвалах образуются плоские отвалы (рис. 46), расположенные на наклонной площадке. Хвосты доставляют по рельсовому пути или дороге, первоначально уложенным на небольшой насыпи, что создает некоторый начальный откос, сбрасывают под откос и разравнивают бульдозерами. Отсыпав хвосты по всему фронту, путь или дорогу передвигают к бровке откоса и цикл отсыпки повторяют.

Отвалы такого типа применяют при большой производительности обогатительной фабрики и значительном расстоянии от фабрики до отвала.

Эксплуатация хвостового хозяйства должна обеспечивать: запланированную производительность обогатительной фабрики; бесперебойную работу транспорта, укладки хвостов и системы обратного водоснабжения; охрану естественных водоемов и воздушного бассейна от загрязнений; использование энергетического и гидромеханического оборудования в оптимальных режимах; надежную и безаварийную работу гидротехнических сооружений; рациональное использование емкости хвостохранилища; наименьшую стоимость транспортирования и укладки хвостов.

Рекультивация земель, занятых отвалами и хвостохранилищами, предусматривает приведение их в состояние, пригодное для дальнейшего использования.

Рекультивация хвостохранилищ обычно состоит из двух этапов: технического (горно-технического) и биологического. Технический этап включает в себя подготовку хвостохранилища для последующего целевого использования в народном хозяйстве. К нему относятся: планировка, формирование откосов; снятие, транспортирование и нанесение почв и плодородных пород на поверхность хвостохранилища; строительство дорог и др. Биологический этап предусматривает мероприятия по восстановлению (приобретению) плодородия отходов обогащения, осуществляемые после технической рекультивации. Он предполагает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на возобновление флоры и фауны, восстановление хозяйственной продуктивности рекультивируемых площадей.

Площади, занятые терриконами, подготавливают под застройку или озеленение следующими способами: разборка терриконов с вывозом породы на закладку или для заполнения отработанных карьеров, оврагов и т. п.; преобразование их в плоские отвалы, покрытие плодородным слоем почвы.

Раздел V

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Глава 21

ЛОПАСТНЫЕ НАСОСЫ

§ 82. Общие сведения

Насос — энергетическая машина, в которой механическая энергия привода преобразуется в гидравлическую энергию перекачиваемой жидкости. Насосы, в которых преобразование энергии основано на силовом взаимодействии лопастей рабочего колеса и перекачиваемой жидкости, называют лопастными.

Лопастные насосы в зависимости от характера силового воздействия и направления потока жидкости разделяют на центробежные (радиальные), осевые (пропеллерные) и диагональные.

В центробежном насосе жидкость в рабочем колесе движется от центральной части к периферии по радиальным направлениям в результате действия центробежных сил, т. е. в потоке частиц жидкости отсутствуют осевые составляющие абсолютной скорости. В осевых насосах частицы жидкости движутся только в осевом направлении, т. е. в потоке частиц жидкости отсутствуют радиальные составляющие абсолютной скорости. Диагональные насосы занимают промежуточное положение между центробежными и осевыми насосами. В них осевые и радиальные составляющие абсолютной скорости частиц жидкости — величины одного порядка.

Кпд лопастных насосов достаточно высок (0,8—0,85), поэтому при невысоком и среднем напоре и большой подаче применяют преимущественно лопастные насосы. Область их применения обширна: для водоснабжения, канализации, мелиорации, шахтного водоотлива, гидротранспорта, в горнодобывающей, металлургической, химической, пищевой промышленности и т. д.

Основные параметры, характеризующие работу насосов: подача, давление (напор), мощность, КПД, частота вращения, вакуумметрическая высота всасывания.

Объемная подача Q [$\text{м}^3/\text{ч}$], [$\text{м}^3/\text{мин}$], [$\text{м}^3/\text{с}$], [$\text{л}/\text{с}$] — объем жидкости, подаваемой насосом в единицу времени. Массовая подача G [$\text{т}/\text{ч}$], [$\text{т}/\text{мин}$], [$\text{т}/\text{с}$], [$\text{кг}/\text{с}$] — масса жид-

кости, подаваемой в единицу времени. Объемная и массовая подачи связаны соотношением $\dot{G} = \rho Q$, где ρ — плотность жидкости.

Принято различать подачу: номинальную $Q_{\text{ном}}$ — по технической характеристике насоса; оптимальную $Q_{\text{опт}}$ — в режиме максимального КПД насоса.

Давление p [Па] определяется разностью удельной механической энергии потока жидкости на выходе из гидравлической машины и на входе в нее, т. е. приращением удельной механической энергии жидкости, проходящей через гидравлическую машину:

$$p = p_k - p_n + \rho(v_k^2 - v_n^2)/2 + \rho g(Z_k - Z_n),$$

где p_k и p_n — абсолютное давление соответственно на выходе из насоса и на входе в него, Па; v_k и v_n — скорость жидкости соответственно на выходе из насоса и на входе в него, м/с; Z_k и Z_n — геометрическая высота от плоскости сравнения до сечения соответственно при выходе из насоса и на входе в него, м.

Применительно к насосам пользуются понятием напор H (м):

$$H = (p_k - p_n)/(\rho g) + (Z_k - Z_n) + (v_k^2 - v_n^2)/(2g).$$

Давление и напор связаны зависимостью $p = \rho g H$. Давление в отличие от напора зависит от плотности перекачиваемой среды.

Полное давление и напор складываются из статического и динамического давления и напора:

$$p = p_{\text{ст}} + p_{\text{дин}}; \quad H = H_{\text{ст}} + H_{\text{дин}}.$$

Статический напор определяется приращением удельной потенциальной энергии жидкости в гидравлической машине:

$$H_{\text{ст}} = Z_k - Z_n + (p_k - p_n)/(\rho g).$$

Динамический напор определяется приращением удельной кинетической энергии жидкости в гидравлической машине

$$H_{\text{дин}} = (v_k^2 - v_n^2)/(2g).$$

Обычно значения $Z_k - Z_n$ и $(v_k^2 - v_n^2)/(2g)$ пренебрежимо малы по сравнению с энергией давления $(p_k - p_n)/(\rho g)$. Поэтому напор насоса ориентировочно можно оценивать по показаниям манометра и вакуумметра на выходе из насоса и на входе в него.

Для проектируемых насосных установок полный напор [м]

$$H = H_r + \Sigma h_n + h_{\text{св}},$$

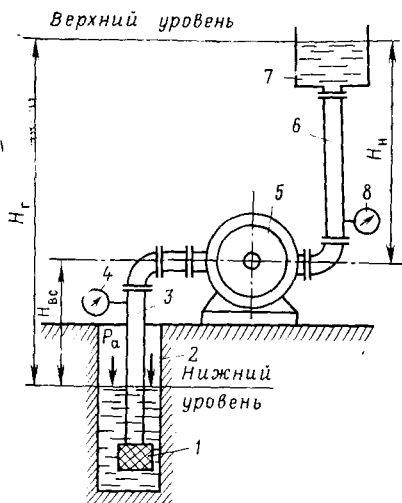


Рис. 47. Схема насосной установки:
1 — приемный клапан с сеткой; 2 — водо-
заборный колодезь; 3 — всасывающий тру-
бопровод; 4 — вакуумметр; 5 — насос; 6 —
нагнетательный трубопровод; 7 — напор-
ный бак; 8 — манометр

где H_g — геометрический напор — высота от уровня жидкости в приемном колодезе до верхнего уровня жидкости в напорном резервуаре (этот напор равен статическому $H_{ст}$), м; Σh_n — суммарные потери напора от приемной сетки на всасывающем трубопроводе до верхнего уровня жидкости в напорном резервуаре,

м; $h_{св}$ — избыточный напор на свободный излив жидкости, м.

Из рис. 47 следует, что $H_g = H_{вс} + H_n$, где $H_{вс}$ и H_n — геометрическая высота соответственно всасывания и нагнетания, м.

Мощность на валу N_n [кВт], или полезная мощность насоса, определяется приращением энергии, получаемой жидкостью, проходящей через насос в единицу времени:

$$N_n = Q \rho g H / 1000,$$

где Q — подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ — плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; H — напор, м.

Коэффициентом полезного действия насоса называется отношение полезной мощности N_n к полной затрачиваемой мощности N :

$$\eta = N_n / N = Q \rho g H / (1000 N).$$

Полная мощность

$$N = N_r + \Delta N',$$

где N_r — гидродинамическая мощность, передаваемая жидкости рабочим колесом насоса, кВт; $\Delta N'$ — потери мощности на механическое трение, кВт.

В свою очередь, гидродинамическая мощность

$$N_r = N_n + \Delta N'',$$

где $\Delta N''$ — потери мощности, вызванные гидравлическими потерями в насосе, объемными потерями жидкости, гидродинамическими потерями, трением о жидкость нерабочих поверхностей рабочих органов и т. п., кВт.

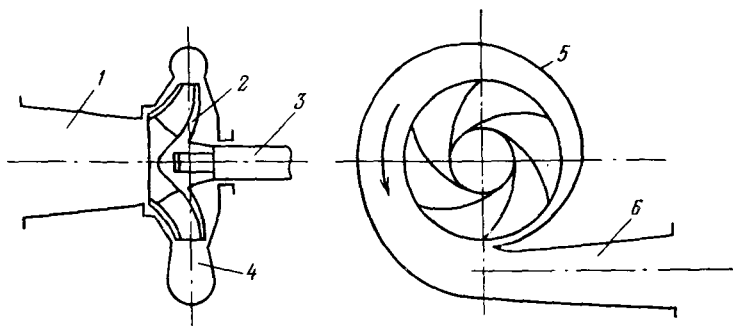


Рис. 48. Схема центробежного насоса

Коэффициент полезного действия (кпд) η [доли ед.], [%] насоса характеризует суммарные потери энергии в насосе. Отдельные виды потерь характеризуются гидравлическим кпд $\eta_{\text{г}}$, объемным кпд $\eta_{\text{об}}$, механическим кпд $\eta_{\text{м}}$.

Полный кпд насоса

$$\eta = \eta_{\text{г}} \eta_{\text{об}} \eta_{\text{м}}.$$

Для лопастных насосов такие параметры как подача, напор и мощность при постоянной частоте вращения n однозначно взаимосвязаны между собой.

Вакуумметрическая высота всасывания

$$H_{\text{вак}} = H_{\text{вс}} + \sum h_{\text{п.в}} + v_{\text{в}}^2 / (2g),$$

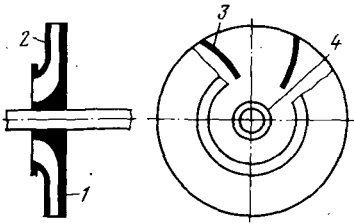
где $H_{\text{вс}}$ — геометрическая высота всасывания, м; $\sum h_{\text{п.в}}$ — суммарные потери напора во всасывающем трубопроводе, м; $v_{\text{в}}$ — скорость жидкости во всасывающей патрубке насоса, м/с.

Вакуумметрическая высота всасывания, при которой обеспечивается работа насоса без изменения основных параметров, называется допустимой вакуумметрической высотой всасывания $H_{\text{доп.вак}}$. Она указывается в технической характеристике насоса и колеблется в пределах 1—6 м. С увеличением температуры перекачиваемой жидкости вакуумметрическая высота всасывания уменьшается.

§ 83. Принцип действия, классификация и область применения центробежных насосов

Центробежный насос (рис. 48) состоит из следующих основных конструктивных элементов: подводящего устройства 1, рабочего колеса 2, жестко посаженного на вал 3, отводящего устройства 4, корпуса 5 и диффузора 6. При вращении рабочего колеса в потоке жидкости возникает разность давлений по обе стороны каждой лопатки.

Рис. 49. Рабочее колесо насоса



Силы воздействия лопаток на поток создают вынужденное вращательное и поступательное движение жидкости, увеличивая ее скорость. Приращение энергии поток жидкости получает только в рабочем колесе. Остальные элементы центробежного насоса неподвижны и в них происходит преобразование одного вида энергии жидкости в другой. Например, в диффузоре кинетическая энергия потока жидкости преобразуется в потенциальную.

Рабочее колесо (рис. 49) закрытого типа центробежного насоса представляет собой два диска 1 и 2: один плоский со втулкой, а второй в виде широкого кольца. Между дисками находятся лопасти 3, образующие расширяющиеся каналы. В центре рабочего колеса имеется втулка 4, с помощью которой оно крепится на валу. Все элементы рабочего колеса изготавливаются в виде единой отливки либо соединяются с помощью сварки.

Рабочее колесо полуоткрытого типа не имеет диска в виде широкого кольца. Его роль выполняет специально приточенная крышка корпуса насоса. При отсутствии обоих дисков рабочее колесо называется открытым. В этом случае лопасти консольно выступают из втулки рабочего колеса.

В некоторых конструкциях центробежных насосов жидкость поступает в отводящее устройство не сразу, а предварительно пройдя направляющий аппарат, представляющий собой два неподвижных кольцевых диска, между которыми смонтированы лопасти, отогнутые в сторону, противоположную направлению выхода жидкости из рабочего колеса.

Принцип действия центробежного насоса заключается в следующем. При вращении рабочего колеса его лопасти оказывают силовое воздействие на частицы жидкости. Под действием центробежной силы жидкость, находящаяся в межлопастном пространстве рабочего колеса, движется вдоль лопастей от центра колеса к его периферии и через спиральный корпус (или направляющий аппарат и корпус) поступает в отводящее устройство, освобождая межлопастные каналы рабочего колеса. В результате этого в центральной части рабочего колеса давление снижается и под действием внешнего (чаще всего атмос-

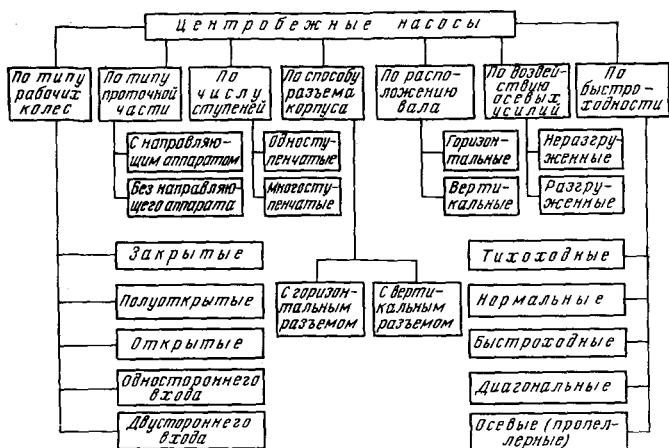


Рис. 50. Классификация центробежных насосов

ферного) давления жидкость поступает в подводящее устройство и через него к центральной части рабочего колеса.

При наличии направляющего аппарата жидкость, выходящая из каналов рабочего колеса, попадает в его межлопастное пространство. В направляющем аппарате скорость жидкости уменьшается и ее кинетическая энергия частично преобразуется в потенциальную. Если направляющий аппарат отсутствует, то преобразование кинетической энергии потока в потенциальную происходит в спиральном корпусе насоса и диффузоре.

Классификация центробежных насосов по конструктивным признакам приведена на рис. 50. В приведенной классификации осевые и диагональные насосы рассматриваются как разновидность центробежных.

Центробежные насосы классифицируются также по назначению: для чистой воды; фекальные; грунтовые; песковые; для агрессивных сред и т. п.

§ 84. Основы теории центробежных насосов

При выводе уравнения центробежного колеса принимаются следующие допущения: число лопастей рабочего колеса принято бесконечно большим; лопасти расположены параллельно друг другу и поток жидкости в каждом межлопастном пространстве состоит из бесконечно большого числа элементарных струек, движущихся параллельно друг другу; работа, совершаемая рабочим колесом, происходит без гидравлических потерь.

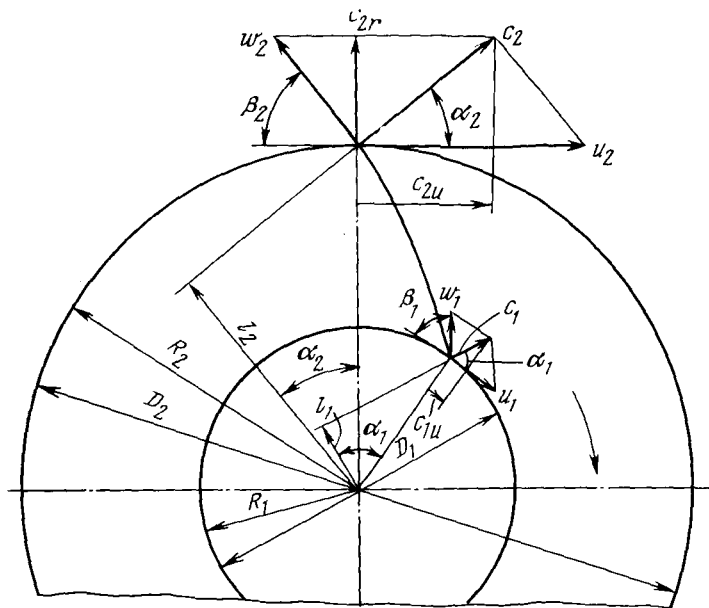


Рис. 51. Схема движения жидкости в рабочем колесе центробежного насоса

В центробежном насосе жидкость по подводящему устройству подводится к рабочему колесу со скоростью, направленной параллельно оси вала.

Жидкость поступает в межлопастные каналы рабочего колеса со скоростью c_1 , меняет осевое направление движения на радиальное и на выходе из рабочего колеса имеет скорость $c_2 > c_1$. В межлопастных каналах рабочего колеса частицы жидкости одновременно участвуют в двух движениях: переносом, вращаясь вместе с колесом с окружной скоростью u , направленной по касательной к окружности колеса, и относительным, перемещаясь вдоль лопасти колеса с относительной скоростью w , направленной по касательной к поверхности лопасти. Геометрическое сложение (по правилу параллелограмма) этих скоростей дает абсолютную скорость c движения жидкости в межлопастных каналах рабочего колеса:

$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u}.$$

Обозначим соответствующие скорости на входе в канал рабочего колеса u_1 , w_1 и c_1 , на выходе — u_2 , w_2 и c_2 .

На рис. 51 показана схема прохождения жидкости по каналу рабочего колеса и построены параллелограммы скорости жидкости при входе и выходе из канала. На рисунке приняты следующие обозначения: α_1 и α_2 — угол между абсолютной и

окружной скоростью жидкости соответственно на входе и выходе; β_1 и β_2 — угол между относительной и окружной скоростью соответственно на входе и выходе (углы входа и выхода); l_1 , l_2 — перпендикуляры, опущенные из центра колеса на направление абсолютной скорости c_1 и c_2 .

Приращение напора в рабочем колесе происходит в результате увеличения абсолютной скорости c_2 на выходе по сравнению с входной скоростью c_1 .

Момент внешних сил (крутящий момент на валу насоса) $M = N/\omega$, а подведенная мощность $N = \rho g Q H_T$, где Q , H_T — соответственно подача и теоретический напор; ρ — плотность жидкости; ω — угловая скорость рабочего колеса.

Из приведенных зависимостей получаем выражение для теоретического напора

$$H_T = M\omega / (Q\rho g). \quad (27)$$

Пользуясь теоремой об изменении момента количества движения, определим зависимость между приложенным к рабочему колесу внешним моментом и создаваемым им приращением напора. Обусловленное внешним моментом изменение количества движения массы жидкости

$$M = M_2 - M_1 = mc_2 l_2 - mc_1 l_1 = m(c_2 l_2 - c_1 l_1), \quad (28)$$

где $m = \rho Q$ — масса жидкости.

Выразим плечи l_1 и l_2 через радиусы R_1 и R_2 :

$$l_1 = R_1 \cos \alpha_1; \quad l_2 = R_2 \cos \alpha_2. \quad (29)$$

Учитывая, что $u_1 = \omega R_1$, а $u_2 = \omega R_2$ уравнение (28) примет вид

$$M = (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1) Q \rho / \omega. \quad (30)$$

Подставив значение M из уравнения (30) в уравнение (27), получим выражение теоретического напора, развиваемого рабочим колесом:

$$H_T = (u_2 c_2 \cos \alpha_2 - u_1 c_1 \cos \alpha_1) / g. \quad (31)$$

Уравнение (31), называемое уравнением центробежного колеса, было впервые выведено акад. Эйлером на основании струйной теории и носит его имя.

Тангенциальная проекция абсолютной скорости $c_{1u} = c_1 \cos \alpha_1$ и $c_{2u} = c_2 \cos \alpha_2$ называется скоростью закручивания потока. В некоторых конструкциях насосов жидкость подводится к рабочему колесу без закручивания ($c_{1u} = 0$). В этом случае

$$H_T = u_2 c_{2u} / g. \quad (32)$$

Анализ уравнения (32) показывает, что напор центробежного насоса тем больше, чем больше окружная скорость на внешней окружности рабочего колеса, пропорциональная его диаметру D и частоте вращения n , и чем больше тангенциальная проекция абсолютной скорости c_{2u} на окружную скорость, т. е. чем меньше угол α_2 и больше угол β_2 .

В действительности напор, создаваемый рабочим колесом, меньше теоретического по двум причинам:

при конечном числе лопастей рабочего колеса не все частицы жидкости равномерно отклоняются лопастями, что вызывает уменьшение абсолютной скорости или проекции абсолютной скорости на окружную скорость;

наблюдаются гидравлические потери внутри насоса, для преодоления которых расходуется часть напора.

Уравнение действительного напора

$$H = K \eta_r u_2 c_{2u} / g, \quad (33)$$

где $K = 0,7 \div 0,9$ — коэффициент, учитывающий конечное число лопастей; $\eta_r = 0,8 \div 0,95$ — гидравлический кпд насоса, зависящий от конструкции насоса.

Теоретический напор можно также определить, пользуясь вихревой теорией, разработанной акад. Г. Ф. Проскурой на основании теоремы проф. Н. Е. Жуковского о подъемной силе крыла. В этом случае теоретический напор

$$H_T = (G_2 - G_1) \omega / (2\pi g), \quad (34)$$

где $G_1 = 2\pi R_1 c_{u1}$ и $G_2 = 2\pi R_2 c_{u2}$ — циркуляция потока соответственно на входе и выходе.

Уравнение (34) справедливо для рабочего колеса любого лопастного насоса (центробежного, осевого, диагонального).

В формулы (32) — (34) не входит плотность жидкости, следовательно, напор центробежного насоса не зависит от рода жидкости.

§ 85. Теоретическая и действительная напорные характеристики центробежных насосов

Анализ основного уравнения (32) центробежного насоса показывает, что теоретический напор прямо пропорционален окружной составляющей $c_2 \cos \alpha_2$ абсолютной скорости на выходе.

Из параллелограмма скоростей (см. рис. 51) видно, что при увеличении угла β_2 окружная составляющая абсолютной скорости c_{2u} увеличивается, а следовательно, согласно уравнению (33), увеличивается и напор насоса. Таким образом, можно сделать вывод, что угол β_2 влияет на набор, развиваемый насосом.

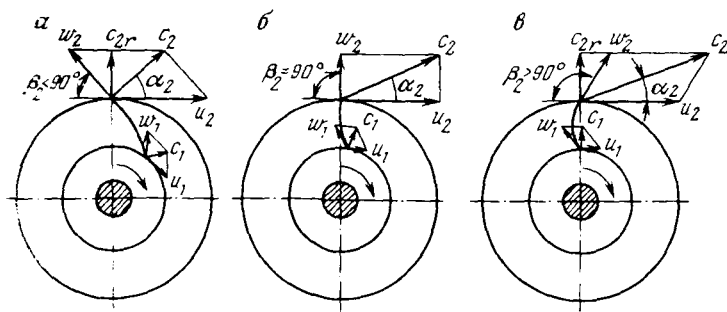


Рис. 52. Типы лопаток рабочих колес центробежного насоса:

а — лопатки загнуты назад; б — лопатки направлены радиально; в — лопатки загнуты вперед

Динамический напор, создаваемый рабочим колесом насоса,

$$H_{\text{дин}} = (c_2^2 - c_1^2) / (2g).$$

Принимая $c_1 = c_{2r}$ (где c_{2r} — радиальная составляющая абсолютной скорости), что соблюдается при конструировании центробежных насосов, получаем:

$$H_{\text{дин}} = (c_2^2 - c_{2r}^2) / (2g).$$

Так как из параллелограмма скоростей (см. рис. 51)

$$c_2^2 - c_{2r}^2 = c_{2u}^2; \quad H_{\text{дин}} = c_{2u}^2 / (2g).$$

Известно, что полный напор складывается из статического и динамического напоров:

$$H_{\text{т}} = H_{\text{ст}} + H_{\text{дин}} = u_2 c_{2u} / g.$$

Установим значение динамического напора в полном напоре в зависимости от значений угла: $\beta_2 < 90^\circ$ — лопатки колеса загнуты назад (рис. 52, а); $\beta_2 = 90^\circ$ — лопатки колеса направлены радиально (рис. 52, б); $\beta_2 > 90^\circ$ — лопатки колеса загнуты вперед (рис. 52, в). При $\beta_2 < 90^\circ$ $c_{2u} < u_2$. Следовательно, $c_{2u}^2 < u_2 c_{2u}$. Разделив обе части неравенства на $2g$, получим:

$$c_{2u}^2 / (2g) < u_2 c_{2u} / (2g),$$

откуда следует, что $H_{\text{дин}} < H_{\text{т}} / 2$.

При лопатках, загнутых назад, рабочее колесо насоса развивает в основном статический напор.

При $\beta_2 = 90^\circ$ $c_{2u} = u_2$ и $c_{2u}^2 = c_{2u} u_2$. Разделив обе части равенства на $2g$, получим:

$$H_{\text{дин}} = c_{2u}^2 / (2g) = c_{2u} u_2 / (2g) = H_{\text{т}} / 2.$$

При радиально направленных на выходе лопатках полный напор, создаваемый рабочим колесом, делится на динамический и статический поровну.

При $\beta_2 > 90^\circ$ $c_{2u} > u_2$, следовательно $c_{2u}^2 > c_{2u} u_2$. Разделив обе части неравенства на $2g$, получим:

$$c_{2u}^2 / (2g) > c_{2u} u_2 / (2g),$$

откуда $H_{\text{дин}} > H_{\text{т}}/2$.

При лопатках, загнутых вперед, рабочее колесо создает в основном динамический напор.

Таким образом, с увеличением угла наклона лопаток статическая часть полного напора уменьшается, а динамическая увеличивается.

Для перемещения и поднятия жидкости необходим статический напор, поэтому центробежные насосы выпускаются с рабочими колесами с лопатками, загнутыми назад. Угол установки лопаток колеблется в пределах $15-40^\circ$. В таких насосах статический напор создается непосредственно в рабочем колесе, а не в диффузорных устройствах (спиральном отводе, направляющем аппарате, диффузоре), что связано с большими гидравлическими потерями и снижением общего кпд насоса.

Зависимость между подачей Q и напором H при постоянной частоте вращения n , представленная графически, называется напорной характеристикой насоса.

Рассмотрим, как будет изменяться теоретический напор при изменении подачи, если частота вращения остается постоянной. Выразим скорость закручивания потока c_{2u} через Q .

Из параллелограмма скоростей при выходе из колеса (см. рис. 51) имеем

$$c_{2u} = u_2 - c_{2r} \operatorname{ctg} \beta_2,$$

где c_{2r} — радиальная составляющая абсолютной скорости.

Подача насоса без учета стеснения потока лопатками

$$Q = \pi D_2 b_2 c_{2r},$$

где D_2 — внешний диаметр рабочего колеса; b_2 — ширина рабочего колеса на входе.

Отсюда $c_{2r} = Q / (\pi D_2 b_2)$.

В соответствии с приведенным выше уравнением

$$c_{2u} = u_2 - Q \operatorname{ctg} \beta_2 / (\pi D_2 b_2).$$

Подставив это значение c_{2u} в основное уравнение (32) теоретического напора, получим:

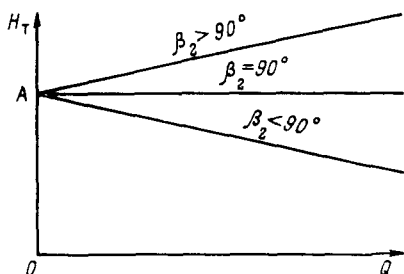
$$H_{\text{т}} = [u_2 - Q \operatorname{ctg} \beta_2 / (\pi D_2 b_2)] u_2 / g,$$

или

$$H_{\text{т}} = u_2^2 / g - Q u_2 \operatorname{ctg} \beta_2 / (\pi D_2 b_2 g). \quad (35)$$

Обозначим величины, постоянные при постоянной частоте вращения для насоса определенного размера следующим образом:

Рис. 53. Теоретические характеристики центробежного насоса при $n = \text{const}$



$$A = u_2^2/g; \quad B = u_2 \operatorname{ctg} \beta_2 / (\pi D_2 b_2 g).$$

Подставив их в уравнение (35), получим зависимость теоретического напора центробежного насоса от подачи, т. е. теоретическую напорную характеристику насоса:

$$H_T = A - BQ.$$

График этой характеристики в координатах H_T и Q имеет вид прямой линии, наклон которой зависит от угла β_2 (рис. 53). При $\beta_2 < 90^\circ \operatorname{ctg} \beta_2 > 0$, $B > 0$ и $H_T = A - BQ$, т. е. напор, развиваемый рабочим колесом с лопатками, загнутыми назад, уменьшается с увеличением подачи насоса.

При $\beta_2 = 90^\circ \operatorname{ctg} \beta_2 = 0$, $B = 0$ и $H_T = A$, т. е. напор, развиваемый рабочим колесом с радиальными лопатками, не зависит от подачи и прямая теоретического напора параллельна оси Q с постоянной ординатой $H_T = Au_2^2/g$.

При $\beta_2 > 90^\circ \operatorname{ctg} \beta_2 < 0$, $B < 0$ и $H_T = A + BQ$, т. е. напор, развиваемый рабочим колесом с лопатками, загнутыми вперед, увеличивается с увеличением подачи насоса.

Теоретические характеристики соответствуют идеальной жидкости и рабочему колесу с бесконечным числом лопаток. При построении действительной напорной характеристики центробежного насоса (рис. 54) необходимо учитывать следующее:

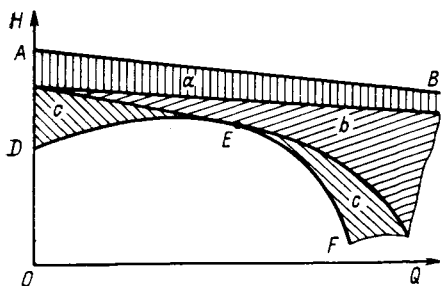
напор при конечном числе лопаток всегда меньше теоретического, изображенного прямой AB , на площадь a ;

потери напора на трение жидкости в проточной части насоса пропорциональны расходу в квадрате (площадь b);

потери напора на удар и вихреобразование при входе на лопатки колеса пропорциональны расходу в квадрате и имеют минимум равный нулю (точка E) при работе насоса на расчетном режиме (площадь c).

Кривая DEF (см. рис. 54) — напорная характеристика реального центробежного насоса. Построение действительной напорной характеристики насоса расчетным путем представляет большие трудности вследствие влияния большого числа факторов, не поддающихся точному определению. Поэтому действи-

Рис. 54. Построение действительной характеристики центробежного насоса



тельные характеристики центробежных насосов обычно получают опытным путем в результате испытания на специальных стендах или в производственных условиях.

При испытаниях насосов, помимо кривой напора $H=f(Q)$, строят кривые зависимости мощности на валу от подачи $N=f(Q)$, зависимости кпд от подачи насоса $\eta=f(Q)$, зависимости высоты всасывания от подачи $H_{вс}=f(Q)$. Эти кривые снимаются при постоянной частоте вращения и называются эксплуатационными характеристиками насоса.

§ 86. Характеристика трубопровода

Установка для транспортирования жидкости (см. рис. 47) состоит из насоса, всасывающего и нагнетательного трубопроводов, напорного бака. Всасывающий трубопровод с приемным клапаном помещен в водозаборный колодец. Внешняя сеть насосной установки состоит из всасывающего и нагнетательного трубопроводов.

При проектировании, испытаниях и анализе работы насосов возникает необходимость в определении их рабочих режимов.

Рабочий режим насосной установки определяется точкой A (рис. 55) пересечения характеристики D насоса и характеристики B трубопровода.

Характеристикой трубопровода называется параболическая кривая зависимости напора от подачи, имеющая вершину на оси ординат на высоте H_r от начала координат.

Выведем уравнение трубопровода. Полный напор H насоса (см. § 82)

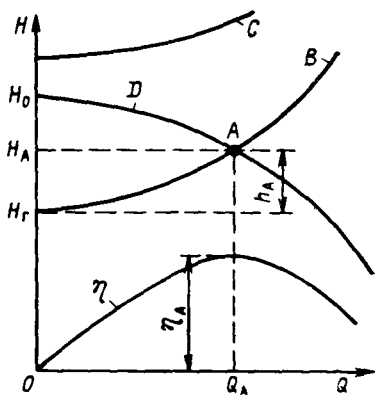
$$H = H_r + h_n + h_{св}, \quad (36)$$

где $h_{св} = v^2/(2g)$ — избыточный напор на свободный излив жидкости, м; v — скорость жидкости на сливе, м/с.

Потери напора во внешней сети определяются по известной из гидравлики формуле

$$h_n = (\lambda l/d + \Sigma \xi) v^2/(2g), \quad (37)$$

Рис. 55. Определение рабочего режима насосной установки



где λ — коэффициент Дарси, зависящий от шероховатости стенок трубопровода; l — длина трубопровода, м; d — диаметр трубопровода, м; $\Sigma \xi$ — сумма коэффициентов местных потерь.

Уравнение (36) можно записать следующим образом:

$$H = H_r + (\lambda l/d + \Sigma \xi + 1) v^2 / (2g) = H_r + K v^2 / (2g), \quad (38)$$

где $K = (\lambda l/d + \Sigma \xi + 1)$ — суммарный коэффициент потерь.

Выразив скорость v через расход Q жидкости и подставив в уравнение (38) значение площади поперечного сечения трубопровода $F = \pi d^2/4$, получим:

$$H = H_r + K Q^2 / [2g (\pi d^2/4)^2] = H_r + R Q^2, \quad (39)$$

где $R = K / [2g (\pi d^2/4)^2]$ — постоянная трубопровода, $\text{с}^2/\text{м}^5$.

Постоянная трубопровода R характеризует его геометрические размеры (длину и диаметр), местные сопротивления (наличие арматуры и фасонных частей) и состояние внутренней поверхности труб.

Используя выражение (39), можно построить характеристику трубопровода при работе данного насоса. Для этого нужно прибавлять к H_r соответствующие определенным значениям Q потери напора. Точка A (см. рис. 55) определяет режим работы данного насоса (его подачу Q_A , напор H_A , кпд η_A) на трубопровод с характеристикой B .

Выбирая насос для работы на заданный трубопровод, необходимо стремиться к тому, чтобы заданные режимы работы находились в области наиболее выгодных значений кпд насоса. Необходимо учитывать, что насос сможет работать на данный трубопровод только, если его характеристика $H = f(Q)$ пересечется с характеристикой B трубопровода. Для этого необходимо, чтобы статический напор H_0 при закрытой задвижке был больше геодезической высоты H_r подачи. Насос не будет работать на трубопровод с характеристикой C , так как $H_0 < H_r$.

§ 87. Законы пропорциональности и быстроходность центробежных насосов

При изменении частоты вращения вала насоса происходит одновременное изменение его напора, подачи и потребляемой мощности.

Предположим, что колесо центробежного насоса при частоте вращения n имеет соответственный параллелограмм скоростей u_2 , c_2 , ω_2 у выхода (см. рис. 51). При этом окружная скорость

$$u_2 = \pi D_2 n / 60,$$

где D_2 — наружный диаметр колеса.

Увеличив частоту вращения колеса до n_1 , получим новую окружную скорость

$$u'_2 = \pi D_2 n_1 / 60.$$

Из этих зависимостей видно, что при постоянном диаметре колеса окружная скорость прямо пропорциональна частоте вращения. Скорости ω_2 и c_2 также прямо пропорциональны частоте вращения колеса, так как новый параллелограмм скоростей u'_2 , c'_2 и ω'_2 должен оставаться подобным прежнему параллелограмму скоростей.

Исходя из этого, можно написать:

$$u_2/u'_2 = c_2/c'_2 = \omega_2/\omega'_2 = c_{2r}/c'_{2r} = n/n_1. \quad (40)$$

Известно, что теоретическая подача центробежного насоса определяется по формуле $Q = \pi D_2 b_2 c_{2r}$.

Следовательно, радиальная составляющая абсолютной скорости

$$c_{2r} = Q / (\pi D_2 b_2), \quad (41)$$

т. е. прямо пропорциональна подаче Q , так как $\pi D_2 b_2$ имеет постоянное значение для данного колеса.

Из формул (40) и (41) для Q и Q_1 при частоте вращения колеса n и n_1 имеем

$$Q/Q_1 = n/n_1. \quad (42)$$

При изменении частоты вращения скорость потока должна измениться пропорционально, т. е. при $n_1/n = k$

$$u'_2 = k u_2 \quad \text{и} \quad c'_2 = k c_2.$$

Теоретический напор, создаваемый центробежным насосом, согласно формуле (32)

$$H_T = u_2 c_{2u} / g = u_2 c_2 \cos \alpha_2 / g,$$

$$H'_T = k^2 u_2 c_2 \cos \alpha_2 / g.$$

После преобразования получим

$$H'_\tau = k^2 H_\tau = H_\tau n_1^2 / n^2.$$

В общем виде

$$H'_\tau / H_1 = n^2 / n_1^2. \quad (43)$$

Так как мощность, потребляемая насосом, пропорциональна Q и H , то из уравнений (42) и (43) следует, что

$$N / N_1 = n^3 / n_1^3. \quad (44)$$

Соотношения (42)—(44) называются законами пропорциональности и формулируются следующим образом: при изменении частоты вращения рабочего колеса центробежного насоса его подача изменяется пропорционально первой степени, напор — пропорционально квадрату, а потребляемая мощность — пропорционально кубу изменения частоты вращения. Законы пропорциональности выведены в предположении, что КПД остается постоянным и справедливым при изменении частоты вращения не более, чем на 20 %.

При пересчете характеристик необходимо учитывать, что заводы-изготовители центробежных насосов не рекомендуют работать с частотой вращения вала насоса, превышающей номинальную (данную в технической характеристике).

Законы пропорциональности — частный случай закона подобия центробежных насосов, который показывает изменение Q , H и N не только от частоты вращения, но и от размеров рабочего колеса насоса.

Первый закон подобия показывает, что подача геометрически подобных насосов пропорциональна третьей степени диаметров их рабочих колес и первой степени частоты вращения, т. е.

$$Q / Q_1 = (D / D_1)^3 (n / n_1).$$

Второй закон подобия показывает, что напоры геометрически подобных насосов пропорциональны квадратам диаметров и частоты вращения их рабочих колес, т. е.

$$H / H_1 = (D / D_1)^2 (n / n_1)^2.$$

Третий закон подобия показывает, что потребляемая геометрически подобными насосами мощность пропорциональна пятой степени диаметров и кубу частоты вращения, т. е.

$$N / N_1 = (D / D_1)^5 (n / n_1)^3.$$

В настоящее время принято классифицировать центробежные насосы по коэффициенту быстроходности, так как их классификация только по абсолютному напору и подаче не может

дать полного представления об особенностях конструкции, поскольку один и тот же насос, согласно законам пропорциональности, может развивать различную подачу и напор в зависимости от частоты вращения вала.

Коэффициентом быстроходности n_s называется частота вращения условного насоса, геометрически подобного данному, размеры которого подобраны таким образом, что при напоре $H_s=1$ м мощность его составляет 0,736 кВт, что соответствует подаче $Q_s=0,075$ м³/с.

На основании первого и второго законов подобия для условного и реального насосов

$$Q/Q_s = n/n_s (D/D_s)^3; \quad H/H_s = (n/n_s)^2 (D/D_s)^2.$$

Решая систему этих уравнений относительно n_s , получаем:

$$n_s = n H_s^{3/4} Q^{1/2} / (H^{3/4} Q_s^{1/2}).$$

Принимая $Q_s=0,075$ м³/с и $H_s=1$ м, получаем:

$$n_s = 3,65 n Q^{1/2} / H^{3/4}.$$

По коэффициенту быстроходности центробежные насосы классифицируют на тихоходные ($n_s=40 \div 80$ мин⁻¹); нормальные ($n_s=80 \div 150$ мин⁻¹); быстроходные ($n_s=150 \div 300$ мин⁻¹); диагональные ($n_s=300 \div 600$ мин⁻¹); осевые ($n_s=600 \div 1200$ мин⁻¹).

§ 88. Высота всасывания и кавитация

В зависимости от расположения насоса относительно уровня воды в приемном резервуаре различают насосные установки с положительной и отрицательной высотой всасывания.

Высотой всасывания называется расстояние по вертикали от свободной поверхности жидкости в приемном резервуаре до оси насоса. На рис. 47 это расстояние обозначено через $H_{вс}$.

В процессе работы насоса высота всасывания изменяется по мере движения зеркала жидкости в приемном резервуаре. В системах водоснабжения, канализации, гидравлического транспорта и других, использующих центробежные насосы, применяют схемы как с положительной, так и с отрицательной высотой всасывания. Установки с отрицательной высотой всасывания, как правило, требуют больших капитальных затрат, но надежнее в эксплуатации.

Рассмотрим работу центробежного насоса с положительной высотой всасывания (см. рис. 47). Составим уравнение Бернулли относительно плоскости отсчета, за которую принят нижний

уровень жидкости в резервуаре, и плоскости, проходящей по горизонтальной оси насоса:

$$p_0/(\rho g) + v_0^2/(2g) + z_0 = p_n/(\rho g) + v_n^2/(2g) + z_n + h_{п.в}, \quad (45)$$

где $p_0 = p_a$ — давление окружающей среды (атмосферное), Па; p_n — давление на входе в насос, Па; v_0 и v_n — скорость жидкости соответственно на уровне плоскости отсчета и на входе в насос, м/с; ρ — плотность воды, кг/м³; z_0 и z_n — геометрические высоты над плоскостью отсчета ($z_0 = 0$; $z_n = H_{вс}$ — геометрическая высота всасывания, м); $h_{п.в}$ — потери напора во всасывающем трубопроводе, м.

Так как $z_0 = 0$, а величиной $v_0^2/(2g)$ можно пренебречь, поскольку скорость v_0 движения воды в приемном резервуаре невелика, уравнение (45) примет вид

$$H_{вс} = (p_a - p_n)/(\rho g) - h_{п.в} - v_n^2/(2g),$$

где $(p_a - p_n)/(\rho g) = H_{вак}$ — вакуумметрическая высота всасывания, м.

В результате преобразований получим:

$$H_{вс} = H_{вак} - h_{п.в} - v_n^2/(2g) \quad \text{или} \quad H_{вак} = H_{вс} + h_{п.в} + v_n^2/(2g).$$

Из последнего уравнения следует, что вакуумметрическая высота всасывания больше геометрической на значение потерь напора во всасывающем трубопроводе и скоростного напора при входе в насос. Высота всасывания увеличивается с повышением атмосферного давления в месте установки насоса и уменьшением температуры перекачиваемой жидкости. Каждый центробежный насос имеет допустимую вакуумметрическую высоту всасывания $H_{доп.вак}$, которая приведена в технической характеристике насоса.

Если абсолютное давление жидкости при входе в рабочее колесо насоса окажется меньше давления парообразования при данной температуре, то начинается кавитация. Это явление заключается в том, что в местах наименьшего давления образуются полости (пузырьки), заполненные паром и содержащими в жидкости газы; при попадании в область более высоких давлений пары, находящиеся в пузырьках, конденсируются и в образовавшиеся пустоты устремляются частицы жидкости, вызывая удар о поверхность деталей насоса. Явление кавитации сопровождается возникновением шума и вибраций насоса, происходящих вследствие конденсации пузырьков пара и газа в области повышенного давления.

При кавитации происходит резкое изменение эксплуатационных характеристик насоса — уменьшаются кпд, подача, напор. При длительной работе в кавитационном режиме насос полностью прекращает подачу. Одна из основных причин возникновения кавитации — работа насоса при большой высоте

всасывания. Кавитация вызывает механическое и электрохимическое разрушение материалов. Вероятность возникновения кавитации повышается при перекачке загрязненной воды.

Средства предупреждения кавитации: уменьшение геометрической высоты всасывания, потерь напора и скорости жидкости во всасывающем трубопроводе, а также температуры перекачиваемой жидкости; работа с отрицательной высотой всасывания (с подпором); применение устойчивых к кавитации материалов для деталей насоса.

Допустимая вакуумметрическая высота всасывания

$$H_{\text{доп. вак}} \leq 0,8 H_{\text{мах вак}},$$

где $H_{\text{мах.вак}}$ — максимальная вакуумметрическая высота всасывания.

§ 89. Осевая сила и способы ее уравнивания

Во время работы центробежного насоса на его рабочее колесо действует осевая сила, которая стремится сдвинуть ротор насоса (вал с насаженным на него колесом) в сторону, обратную направлению движения входящей жидкости.

На рис. 56 показано рабочее колесо насоса с внешним диаметром всасывающей полости D_1 и выходным диаметром D_2 , а также эпюра сил, действующих на левую и правую поверхности колеса.

На колесо со стороны всасывания жидкости действует сила

$$F_{\text{в}} = p_1 \pi (D_1^2 - d^2) / 4 + p_2 \pi (D_2^2 - D_1^2) / 4,$$

где p_1 — давления на входе в рабочее колесо, Па; d — диаметр вала насоса, м; p_2 — давление на выходе из рабочего колеса, Па.

Со стороны нагнетания на колесо действует сила

$$F_{\text{н}} = p_2 \pi (D_2^2 - d^2) / 4.$$

Осевая сила $F_{\text{ос}}$ равна разности сил $F_{\text{н}}$ и $F_{\text{в}}$ и направлена в сторону действия большей силы, т. е. в сторону всасывания.

Осевая сила у многоступенчатых центробежных насосов пропорциональна числу ступеней (рабочих колес) и достигает

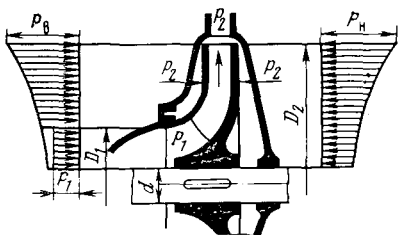


Рис. 56. Схема действия осевой силы в центробежном насосе

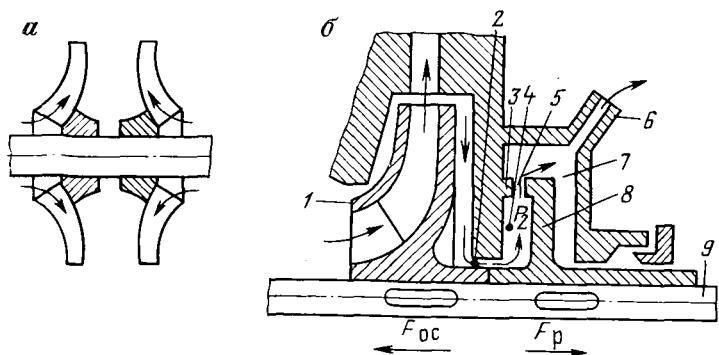


Рис. 57. Способы уравнивания осевой силы в многоступенчатых насосах

большого значения (до $2 \cdot 10^5$ Н), что приводит к разрушению подшипников, истиранию уплотнительных колец, а затем и взаимному истиранию рабочих колес и корпуса насоса.

В одноступенчатых центробежных насосах используются следующие способы уравнивания осевой силы:

- применение рабочих колес двустороннего входа;
- применение упорных и радиальных подшипников, воспринимающих осевое усилие;
- применение рабочих колес с отверстиями в заднем диске, с помощью которых выравнивается давление жидкости с обеих сторон рабочего колеса. При этом кпд насоса снижается на 4—6%.

В многоступенчатых насосах нашли применение следующие способы уравнивания осевой силы:

симметричное взаимопротивоположное расположение рабочих колес (рис. 57, а) — применяется в основном в спиральных центробежных насосах;

с помощью разгрузочной пяты (упорного подшипника);

с помощью разгрузочного диска 8 (рис. 57, б), который жестко закрепляется на валу 9 за рабочим колесом 1 последней ступени насоса. Жидкость из рабочего колеса поступает через кольцевой зазор 2 в промежуточную камеру 4, из которой через торцевой зазор 5 поступает в разгрузочную камеру 7, соединенную трубкой 6 с подводом 1 ступени насоса. Благодаря тому что давление в промежуточной камере значительно больше, чем в разгрузочной, на разгрузочный диск действует усилие $F_{р}$, уменьшающее силу $F_{ос}$. При работе насоса быстро изнашиваются кольца 3, поэтому они делаются съемными. Недостаток этого способа — снижение кпд насоса вследствие больших объемных потерь при увеличении зазора.

§ 90. Регулирование центробежных насосов

Режим работы насоса определяется точкой пересечения характеристик насоса и сети, на которую он работает. Искусственное изменение характеристики сети (трубопровода) или насоса для обеспечения необходимых значений подачи и напора называется *регулированием*.

Работу центробежного насоса можно регулировать при постоянной или переменной частоте вращения его вала.

Работу центробежного насоса при постоянной частоте вращения регулируют изменением сопротивления всасывающего и нагнетательного трубопроводов, изменением диаметра или числа колес, перепуском жидкости из нагнетательного трубопровода во всасывающий.

Первые два способа регулирования наиболее простые, так как осуществляются дросселированием потока жидкости с помощью задвижек, установленных на всасывающем и нагнетательном трубопроводах.

Регулирование дросселированием во всасывающем трубопроводе применяют в исключительных случаях, поскольку уменьшение подачи насоса увеличивает высоту всасывания и тем самым способствует возникновению кавитации. Этот способ регулирования используют при работе насосов с отрицательной высотой всасывания, если необходимо снизить давление на сальники со стороны всасывания.

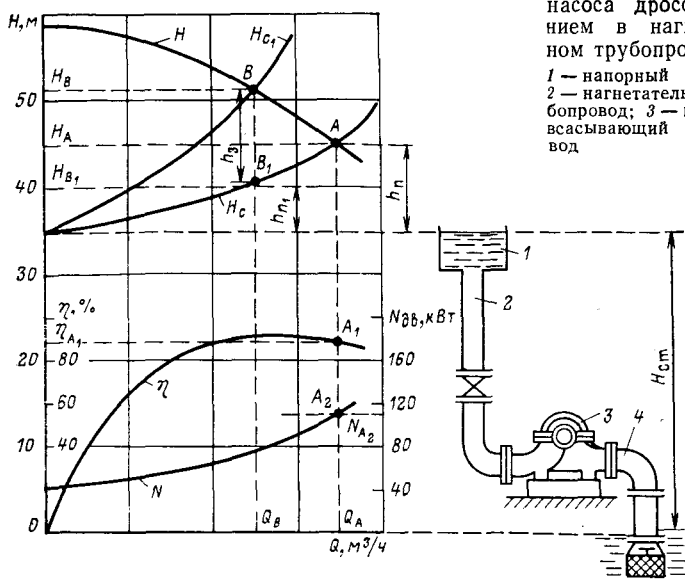
Регулирование дросселированием в нагнетательном трубопроводе (рис. 58). Прикрывая или открывая задвижку, можно изменять характеристику трубопровода H_c при сохранении напорной характеристики насоса $H=f(Q)$. Точка A ($Q_A=700 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_A=44,5 \text{ м}$; $\eta_{A1}=88\%$; $N_{A2}=108 \text{ кВт}$) определяет режим работы насоса с полностью открытой задвижкой. Напор $H_A=44,5 \text{ м}$ складывается из статического напора $H_{ст}=35 \text{ м}$ и потерь напора в трубопроводе $h_{п}=9,5 \text{ м}$. Если несколько прикрыть нагнетательную задвижку, характеристика трубопровода H_{c1} изменится и режим работы насоса будет определяться точкой B ($Q_B=500 \text{ м}^3/\text{ч}$; $H_B=50,5 \text{ м}$). Подача насоса уменьшилась (на $200 \text{ м}^3/\text{ч}$), напор увеличился (на 6 м). Напор H_B складывается из статического напора $H_{ст}=35 \text{ м}$, потерь напора в трубопроводе $h_{п1}=4,5 \text{ м}$ и непроизводительных потерь напора от прикрытия нагнетательной задвижки $h_3=11 \text{ м}$.

Очевидно, что такой способ регулирования неэкономичен, так как происходят непроизводительные потери напора. Вместе с тем, благодаря своей простоте этот способ регулирования широко применяется.

Регулирование изменением диаметра рабочего колеса. При этом способе регулирования в насосах с направляющими аппаратами подрезают лопатки на рабочем колесе, а в спиральных

Рис. 58. Регулирование центробежного насоса дросселированием в нагнетательном трубопроводе:

1 — напорный резервуар; 2 — нагнетательный трубопровод; 3 — насос; 4 — всасывающий трубопровод



насоса obtачивают также рабочее колесо по наружному диаметру.

Необходимый диаметр D_2 [м] подрезанного колеса определяется в зависимости от требуемой подачи:

$$D_2 = D_1 \sqrt[3]{Q_2/Q_1},$$

где D_1 — диаметр нормального колеса, м; Q_1 и Q_2 — подача соответственно нормального и подрезанного колеса, м³/ч.

В этом случае характеристики насоса с подрезанным колесом изменяются в соответствии с теоремой подобия:

$$Q_2 = (D_2/D_1)^3 Q_1; \quad H_2 = (D_2/D_1)^2 H_1; \quad N_2 = (D_2/D_1)^5 N_1,$$

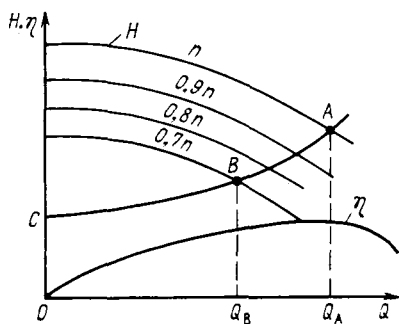
где H_1 и H_2 — напор соответственно нормального и подрезанного колеса, м; N_1 и N_2 — мощность соответственно нормального и подрезанного колеса, кВт.

Регулирование изменением числа рабочих колес. Число рабочих колес z многоступенчатого центробежного насоса определяется манометрическим напором H_M и напором, создаваемым одним рабочим колесом H_K ,

$$z = H_M/H_K.$$

Манометрический напор определяется при расчете насосной установки, а напор, создаваемый одним рабочим колесом, при-

Рис. 59. Регулирование центробежного насоса изменением частоты вращения



водится в технической характеристике многоступенчатого насоса. Таким образом, зная значения этих величин, можно определить необходимое число колес многоступенчатого насоса. Регулирование уменьшением числа рабочих колес производят, если необходимо снизить напор на значение, больше напора, создаваемого одним колесом. Колеса снимают со стороны нагнетания.

Регулирование перепуском жидкости из нагнетательного трубопровода во всасывающий применяют для предупреждения срыва работы насоса при небольшой подаче, например, при превышении подачи скважинного насоса над дебитом скважины.

Регулирование изменением частоты вращения вала насоса позволяет изменять режим работы насоса без дополнительных затрат энергии. При таком способе регулирования характеристику трубопровода CA (рис. 59) оставляют неизменной, а характеристику $H=f(Q)$ изменяют, меняя частоту вращения вала насоса таким образом, чтобы новая характеристика прошла через требуемую рабочую точку B . Подача насоса при этом уменьшится с Q_A до Q_B .

Изменение подачи насоса сопровождается изменением напора и кпд. Чем больше изменение подачи, тем больше отклонение кпд от максимального значения. Не рекомендуется работать на режимах, при которых кпд насоса уменьшится больше, чем на 5—7% максимального значения.

Частоту вращения вала насоса можно регулировать как изменяя частоту вращения вала электродвигателя, так и оставляя ее постоянной, применяя при этом гидравлические и магнитные муфты. Первый способ регулирования наиболее экономичен.

§ 91. Совместная работа центробежных насосов

Совместной называется работа нескольких насосов (с одинаковыми или различными характеристиками) на общую сеть (один или несколько трубопроводов). Совместная работа насосов применяется в тех случаях, когда один насос не обеспечивает необходимую подачу или напор.

Центробежные насосы могут работать как параллельно, так и последовательно.

Параллельная работа центробежных насосов применяется, если один насос не обеспечивает необходимую подачу. Параллельная работа насосов широко применяется на водопроводных, канализационных и пульпонасосных станциях. На параллельную работу можно включать насосы с одинаковыми и различными напорными характеристиками.

На рис. 60, а приведены характеристики $H_{1,2}=f(Q)$; $\eta_{1,2}=f(Q)$; $N_{1,2}=f(Q)$ двух одинаковых параллельно работающих насосов на общий трубопровод с характеристикой H_c .

Для определения рабочего режима при параллельной работе насосов прежде всего необходимо построить их суммарную характеристику. Ее строят графически, суммируя подачу (абсциссы) этих насосов при одинаковых напорах (ординатах). Поскольку характеристики $H=f(Q)$ однотипных насосов совпадают, построение их суммарной характеристики $H_{1+2}=f(Q)$ сводится к удвоению их подачи при одинаковых значениях напора. Режим работы двух параллельно работающих насосов определяется точкой А ($Q_A=1300$ м³/ч; $H_A=95$ м), а режим каждого из включенных на параллельную работу насосов определяется точкой D ($Q_D=650$ м³/ч; $H_D=H_A=95$ м).

Мощность N и кпд η каждого насоса определяются соответственно точками D_2 ($N_{D2}=200$ кВт) и D_1 ($\eta_{D1}=84\%$). Мощность двух работающих насосов $N_A=2N_{D2}=2\cdot 200=400$ кВт. При индивидуальной работе одного насоса на этот же трубопровод режим его работы определяется точкой В ($Q_B=800$ м³/ч; $H_B=85$ м), мощность — точкой B_2 ($N_{B2}=290$ кВт) и кпд точкой B_1 ($\eta_{B1}=82\%$).

Анализ полученных режимов показывает, что $Q_D < Q_B$ и, следовательно, $2Q_D = Q_A < 2Q_B$, т. е. суммарная подача параллельно работающих насосов меньше, чем суммарная подача этих же насосов при индивидуальной работе. Это объясняется тем, что при возрастании суммарной подачи жидкости по трубопроводу одинакового диаметра потери напора $h_{\text{п}}$ увеличиваются пропорционально квадрату скорости жидкости v и, следовательно, полный напор каждого насоса также увеличивается, а это влечет за собой уменьшение подачи каждого насоса. Уменьшение подачи насосов при параллельной работе зависит от крутизны характеристики $H=f(Q)$ насоса и от гидравлических потерь в трубопроводе, т. е. от крутизны характеристики трубопровода. Для параллельной работы следует подбирать насосы с крутопадающими характеристиками, так как повышение напора в этом случае меньше отражается на снижении подачи, чем при пологих характеристиках насосов. Эффективность параллельного включения насосов увеличивается при работе на трубопровод с пологой характеристикой.

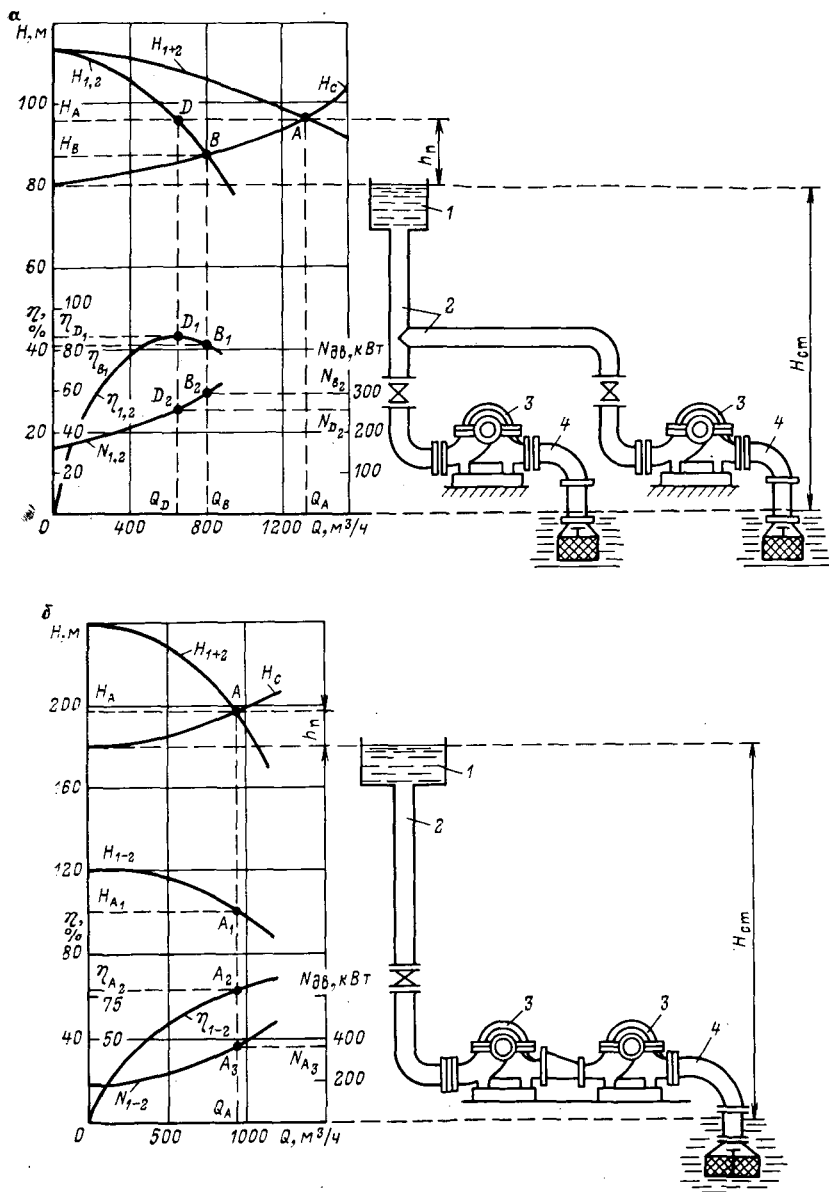


Рис. 60. Параллельная (а) и последовательная (б) работа центробежных насосов:
 1 — напорный резервуар; 2 — нагнетательный трубопровод; 3 — насосы; 4 — всасывающий трубопровод

Мощность электродвигателей при параллельном включении насосов также меньше их мощности при индивидуальном включении, т. е. $N_{D2} < N_{B2}$. Из этого следует, что с увеличением числа насосов, работающих параллельно, мощность каждого из них уменьшается, но вместе с тем возрастает удельный расход электроэнергии на подачу 1 м³ жидкости.

Последовательная работа центробежных насосов применяется, если один насос не обеспечивает необходимый напор. В этом случае нагнетательный патрубок первого насоса соединен со всасывающим патрубком второго насоса, который подает жидкость в напорный трубопровод. Подача насосов должна быть одинаковой. Последовательная работа центробежных насосов применяется на пульпонасосных и канализационных станциях.

На рис. 60, б приведены характеристики $H_{1-2}=f(Q)$; $\eta_{1-2}=f(Q)$; $N_{1-2}=f(Q)$ двух одинаковых последовательно включенных насосов на общий трубопровод с характеристикой H_c . Характеристики двух последовательно включенных насосов строят графически, складывая напоры (ординаты) при одинаковых подачах (абсциссах) насосов. Поскольку в рассматриваемом случае характеристики $H=f(Q)$ обоих насосов совпадают, построение их суммарной характеристики $H_{1+2}=f(Q)$ сводится к удвоению их напора при одинаковой подаче. Режим работы двух последовательно включенных насосов определяется точкой А ($Q_A=950$ м³/ч; $H_A=198$ м; $\eta_{A2}=80\%$; $N_{A3}=360$ кВт), а режим каждого насоса определяется точкой А₁ ($Q_{A1}=Q_A=950$ м³/ч; $H_{A1}=99$ м). Мощность N и кпд η каждого насоса определяется соответственно точками А₃ ($N_{A3}=360$ кВт) и А₂ ($\eta_{A2}=80\%$). Общая мощность двух работающих насосов $N_A=2N_{A3}=2 \cdot 360=720$ кВт.

§ 92. Конструкции центробежных насосов

Конструкции центробежных насосов, используемых в системах водоснабжения и канализации обогатительных фабрик, весьма разнообразны. Рассмотрим конструкции некоторых наиболее распространенных насосов, исходя из их назначения.

Консольные насосы типа К (табл. 11) предназначены для подачи воды и других неагрессивных жидкостей при температуре до 105°С. Насосы этого типа горизонтальные, одноступенчатые, с закрытым рабочим колесом одностороннего входа.

Всасывающий патрубок насоса всегда расположен в направлении оси вала, напорный патрубок может быть расположен в этой же плоскости или под углом 90° (вверх или вниз). Корпус, рабочее колесо и уплотняющие кольца насоса выполнены из чугуна.

Таблица 11

Технические характеристики насосов типа К

Типоразмер	Подача Q , м ³ /ч	Напор H , м	Частота вращения n , мин ⁻¹	Кпд η , %	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{доп. вак}}$, м	Мощность электродвигателя N , кВт
1,5К8/19	8,6	19	2900	53	6	1,7
2К20/30	19,8	30	2900	62	6	4,5
2К20/18	20	18	2900	65	6	2,8
3К45/55	45	55	2900	63	6	14
3К45/30	45	30	2900	69	6	7
4К90/85	90	85	2900	65	5	55
4К90/55	90	55	2900	73	5	28
6К160/20	160	20	1450	81	6	14
8К290/17	290	17	1450	83	6	20

Насосы консольного типа могут быть выполнены в виде моноблок-насоса (тип КМ). В этом случае корпус насоса крепится к фланцу электродвигателя, а рабочее колесо насоса насаживается на удлиненный конец вала электродвигателя.

Насосы двухстороннего входа типа Д (табл. 12) предназначены для подачи воды и других чистых жидкостей при температуре до 85 °С. Насосы этого типа горизонтальные, одноступенчатые, с полуспиральным подводом жидкости к двухстороннему рабочему колесу. Патрубки направлены горизонтально в противоположные стороны. Такое расположение патрубков, а также горизонтальный разъем корпуса позволяют разбирать, осматривать и заменять рабочие детали без снятия насоса с фундамента и демонтажа электродвигателя и трубопроводов.

Двухсторонний подвод жидкости к рабочему колесу позволяет уравновесить возникающие осевые усилия. Корпус, рабочее колесо и уплотняющие кольца насоса выполнены из чугуна.

Многоколесные насосы подразделяются на две большие группы — секционные и спиральные. В многоколесном насосе жидкость последовательно проходит через все рабочие колеса, смонтированные в одном корпусе. Суммарный напор такого насоса равен сумме напоров, создаваемых каждым колесом насоса.

Секционные насосы типа ЦНС (центробежный насос секционный) предназначены для подачи нейтральной воды с температурой не более 60—80 °С и содержанием механических примесей 0,1—0,5% (по массе) при крупности твердых частиц не более 0,1—0,2 мм. Насос этого типа имеет вертикальный разъем корпуса и односторонний подвод воды к рабочим колесам (рис. 61). Рабочие колеса 1 ступеней и корпуса 6 с направляющими аппаратами представляют собой одинаковые взаимоза-

Таблица 12

Технические характеристики насосов типа Д

Типоразмер	Подача Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Напор H , м	Частота вращения n , мин^{-1}	Кпд η , %	Допустимый кавитацион- ный запас $\Delta h_{\text{зап}}$, м	Мощность электродви- гателя N , кВт
Д200-95	200	95	2950	70	8,5	80
Д200-36	200	36	1450	72	3	35
Д320-70	320	70	2950	78	8,5	85
Д320-50	320	50	1450	76	4,5	60
Д500-65	500	65	1450	76	4	130
Д500-36	500	36	980	80	5	100
Д630-90	630	90	1450	80	6,5	230
Д800-28	800	28	980	86	4,5	100
Д1000-40	1000	40	980	87	4	150
Д1250-65	1250	65	1450	86	7	260
Д1250-14	1250	14	730	80	3,5	100
Д1600-90	1600	90	1450	87	8	500
Д2000-34	2000	34	730	87	5,5	250
Д2500-62	2500	62	980	87	6,5	500
Д5000-50	5000	50	585	87	5,5	900
Д6300-80	6300	80	730	88	8	1750

меняемые секции с одинаковым направлением движения воды в проточной части. Секции собираются на общем валу 9 между всасывающей 5 и нагнетательной 8 крышками и стягиваются болтами 7 (2 — всасывающий патрубок). Места выхода вала из всасывающей и нагнетательной крышек имеют сальниковые уплотнения 3 из пеньковой набивки, пропитанной антифрикционным составом. Опорами ротора (вала с рабочими колесами) служат два подшипника качения 10 с кольцевой смазкой.

Вода через спиральный подвод 4 I ступени попадает в рабочее колесо; перевод воды из одной ступени в другую производится по каналам неподвижных направляющих аппаратов корпусов секций, имеющих направляющие 13 и обратные 12 лопатки. Муфта 11 соединяет вал насоса с электродвигателем. Осевое усилие уравнивается с помощью перепускных отверстий в рабочем колесе или с помощью разгрузочного диска, установленного за последним рабочим колесом. Число ступеней в одном насосе колеблется от 2 до 8—12.

Поля рабочих режимов насосов типа ЦНС показаны на рис. 62. В марке насосов цифры после буквенного индекса означают подачу [$\text{м}^3/\text{ч}$] и пределы изменения напора [м] при изменении числа ступеней.

Преимущество секционных насосов — возможность изменения их напора посредством увеличения или уменьшения числа рабочих колес (ступеней).

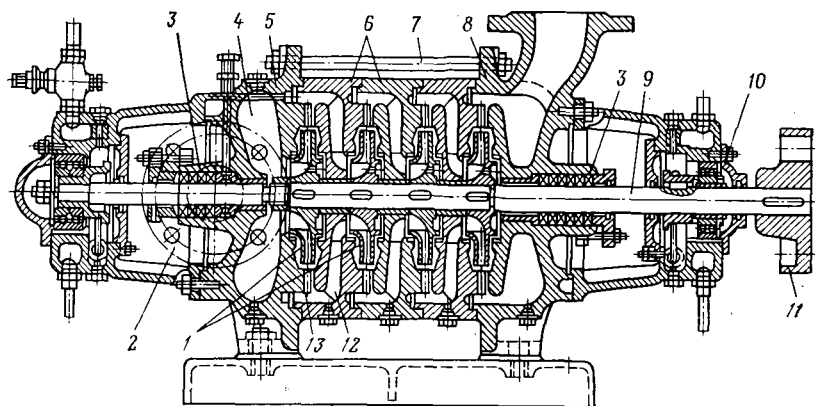


Рис. 61. Секционный насос типа ЦНС

Недостатки секционных насосов: большие осевые усилия, для нейтрализации которых требуется применять специальные устройства; более высокая стоимость по сравнению со спиральными насосами из-за наличия деталей, требующих обработки на станках (направляющие аппараты, детали разгрузочных устройств и др.); низкий кпд по сравнению со спиральными; сложность сборки и разборки.

Спиральные насосы предназначены в основном для подачи чистой воды с температурой до 85 °С. Эти насосы нашли широкое применение в установках, работающих с отрицательной высотой всасывания. Спиральные насосы имеют разъем в горизонтальной плоскости, что позволяет вскрывать корпус насоса для осмотра, ремонта, замены колес и других деталей без демонтажа электродвигателя и трубопроводов.

В многоколесных спиральных насосах перевод жидкости от одной ступени в другую осуществляется по внутренним диффузорным каналам и внешним переводным трубкам. Для компенсации осевого усилия при четном числе ступеней применяется симметричное расположение рабочих колес, входные отверстия которых обращены в противоположные стороны. При нечетном числе ступеней для нейтрализации осевого усилия первое рабочее колесо делается с двухсторонним всасыванием. Корпус, рабочие колеса и уплотнительные кольца насоса изготавливаются из чугуна, вал насоса стальной.

Многоколесные спиральные насосы имеют следующие основные преимущества по сравнению с секционными: более высокий кпд (на 12—15%); полное уравнивание осевых усилий; простота обслуживания.

Вертикальные насосы в зависимости от расположения электродвигателя бывают двух типов: с погружным электродвигате-

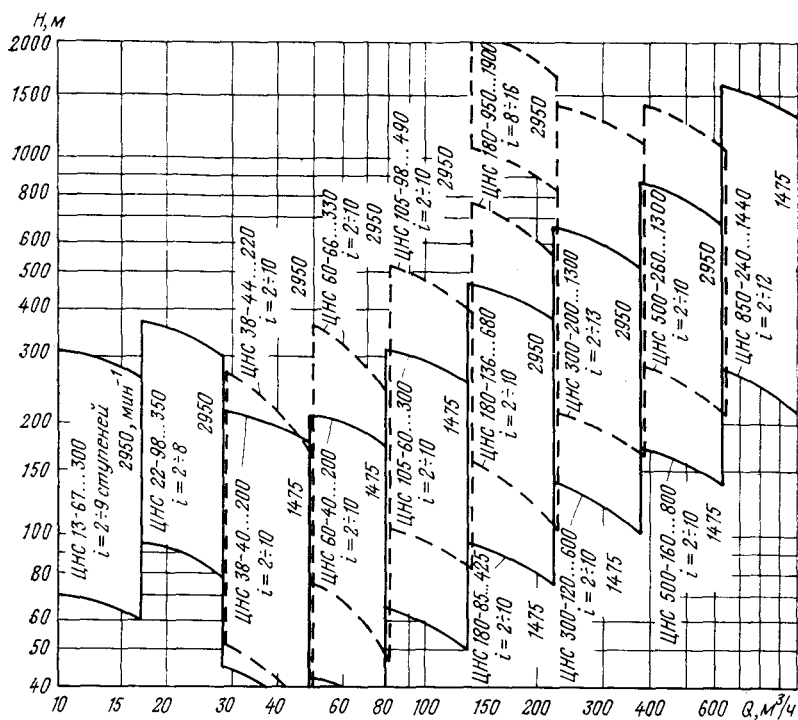


Рис. 62. Поля рабочих режимов насосов типа ЦНС

лем и артезианские (с электродвигателем, расположенные над устьем скважины).

Насосы с погружным электродвигателем типа ЭЦВ (электрический центробежный насос для воды) применяют в системах водоснабжения на насосных станциях I подъема и для подъема воды из скважин. Насосы этого типа — вертикальные, многоколесные, секционные. Насос состоит из нескольких последовательно соединенных секций, в каждой из которых находятся рабочее колесо и корпусная часть с направляющим аппаратом. Насос с находящимся под ним электродвигателем крепится к водоподъемной трубе. Ротор отделен от статора пластмассовой перегородкой. Питание электродвигателя осуществляется по гибкому силовому кабелю. Вал электродвигателя соединен с валом насоса муфтой и опирается на подпятник, воспринимающий осевое усилие. Роторная часть электродвигателя заполнена водой или маслом для охлаждения обмоток и смазки подшипников.

Артезианские насосы типа АТН (артезианский турбинный насос) предназначены для подъема воды из скважин. Насосы этого типа — вертикальные, многоступенчатые с рабочими коле-

сами одностороннего входа и надземным расположением электродвигателя, соединенного с насосом трансмиссионным валом. Артезианский насос состоит из следующих основных деталей: приводной головки; корпуса; напорной колонки, соединяющей корпус насоса с головкой; всасывающей трубы с сеткой.

Насосы с погружным электродвигателем имеют следующие преимущества перед артезианскими: нет необходимости в применении длинного трансмиссионного вала с промежуточными подшипниками; их можно устанавливать в искривленных скважинах; капитальные и эксплуатационные затраты на содержание скважины ниже.

Фекальные насосы типа Ф предназначены для хозяйственно-фекальных вод. Насосы этого типа — одноступенчатые, с рабочим колесом одностороннего входа. В отличие от насосов для чистой воды колеса фекальных насосов имеют две — четыре лопатки и широкие каналы между дисками колеса для пропуска крупных механических примесей.

§ 93. Привод насосов

Для привода центробежных насосов применяют электродвигатели трехфазного переменного тока — асинхронные (короткозамкнутые и с фазным ротором) и синхронные в горизонтальном или вертикальном исполнениях.

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором просты по устройству и надежны в эксплуатации. Асинхронные электродвигатели с фазным ротором применяют, если необходимы плавный пуск и снижение пускового тока. Синхронные электродвигатели применяют для привода насосов, не требующих регулирования частоты вращения, мощностью более 300 кВт.

Асинхронные электродвигатели трехфазного тока выпускают в двух исполнениях: типа А, АЗ, АП и АН с короткозамкнутым ротором и типа АК и АКЗ с фазным ротором.

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором применяют для привода насосов и других механизмов, не требующих регулирования частоты вращения. Электродвигатели с фазным ротором применяют для привода механизмов, требующих регулирования частоты вращения. При маркировке электродвигателя применяют следующие обозначения: А — асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором защищенного исполнения с самовентиляцией; АЗ — то же, в закрытом исполнении с принудительной вентиляцией; АП — то же, во взрывозащищенном исполнении, продуваемый под избыточным давлением; АН — то же, нормального исполнения с радиальной системой вентиляции; АК — электродвигатель с фазным ротором в за-

щищенном исполнении; АКЗ — то же, в закрытом исполнении с принудительной вентиляцией.

Синхронные электродвигатели трехфазного тока СДН, СДН-2 и СДНЗ-2 входят в единую серию крупных машин (напряжение 6 кВ, частота вращения 100—1000 мин⁻¹). Электродвигатели СДН и СДН-2 предназначены для привода мощных насосов и других механизмов, не требующих регулирования частоты вращения, устанавливаемых в закрытых отапливаемых и вентилируемых помещениях в районах с холодным климатом. Возбуждение машин СДН осуществляется от вращающихся возбудителей серии ПВ, устанавливаемых на одном валу с ротором машины. В машинах СДН-2 и СДНЗ-2 возбуждение осуществляется от тиристорных возбудителей серии ТВУ с питанием от специальных трансформаторов.

Глава 22

ОБЪЕМНЫЕ НАСОСЫ

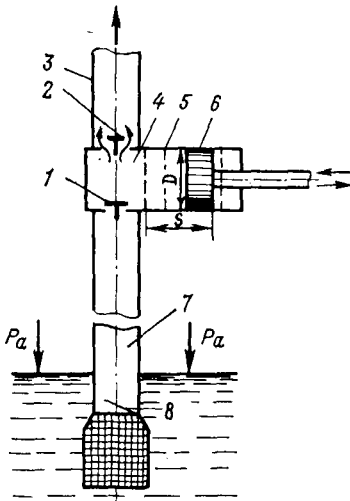
§ 94. Общие сведения

Объемные насосы работают по принципу вытеснения жидкости за счет изменения энергии давления. К объемным насосам относят поршневые с возвратно-поступательным движением рабочего органа (вытеснителя), ротационные с вращательным движением рабочего органа и бесприводные.

Поршневые насосы подразделяют на собственно поршневые и плунжерные. Основные рабочие органы поршневых насосов: цилиндр с тщательно обработанной рабочей поверхностью и поршень (плунжер), движущийся в цилиндре возвратно-поступательно. Поршень приводится в движение электродвигателем или дизелем через кривошипно-шатунный механизм. Подача нагнетаемой жидкости в поршневых насосах неравномерна вследствие непостоянства скорости движения поршня в цилиндре. Поршневые насосы обладают хорошей всасывающей способностью и могут создавать высокое давление.

Ротационные насосы подразделяются на винтовые, шестеренные (зубчатые), шиберные, пластинчатые и др. Положительное свойство этих насосов — то, что они соединяют хорошую всасывающую способность поршневых насосов и равномерную плавную подачу центробежных. Ротационные насосы обладают следующими преимуществами перед другими типами насосов: меньшие размеры; отсутствие клапанов и клапанных коробок; минимум движущихся частей; простота в изготовлении и эксплуатации, экономичность. Их подача при сохранении неизменного давления легко регулируется измене-

Рис. 63. Схема поршневого насоса простого действия



нием частоты вращения ротора. Ротационный насос состоит из вращающегося рабочего органа — ротора, неподвижного органа — статора и отсекающего, отмеряющего при движении жидкости некоторый ее объем.

Бесприводными называют насосы, у которых роль вытеснителя играет другая жидкость, газ или пар. К ним относятся струйные насосы и эрлифты.

По роду рабочей жидкости струйные насосы подразделяются на гидроэлеваторы (рабочая и перемещаемая жидкости — вода) и инжекторы (рабочая жидкость — пар, перемещаемая — вода). Струйные насосы, предназначенные для отсасывания жидкости, называются эжекторами.

Работа эрлифта основана на законе равновесия жидкости в сообщающихся сосудах. Принцип действия струйного насоса основан на передаче кинетической энергии рабочей жидкостью перемещаемой жидкости для ее отсасывания и подъема.

Струйные насосы и эрлифты просты и надежны в эксплуатации, однако обладают невысоким кпд.

§ 95. Поршневые насосы

Принцип действия поршневого насоса (рис. 63) заключается в следующем: в клапанной камере 4 и цилиндре 5 насоса при движении поршня 6 слева направо создается разрежение. Под действием атмосферного давления P_a на свободную поверхность вода поднимается по всасывающей трубе 7, открывает обратный 8 и всасывающий 1 клапаны и заполняет разреженный объем цилиндра насоса. При движении поршня справа налево

Рис. 64. Схема поршневого насоса двойного действия:

1 — всасывающие клапаны; 2 — нагнетательные клапаны; 3 — нагнетательная труба; 4 — уплотнительный сальник; 5 — всасывающая труба

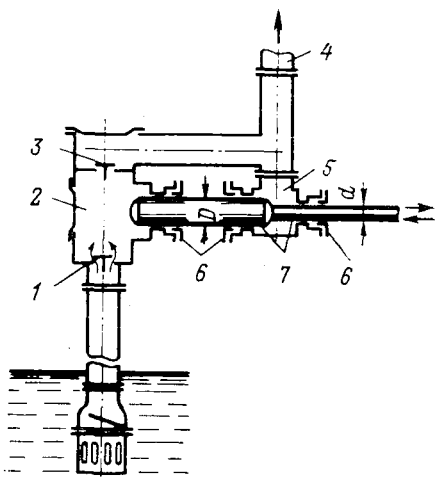
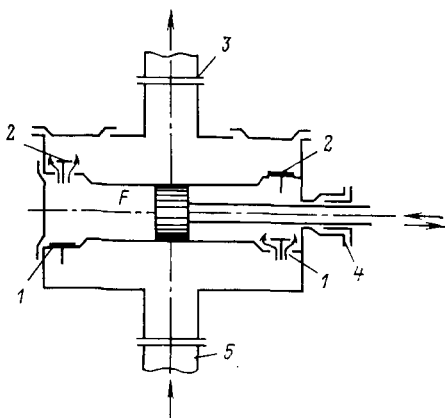


Рис. 65. Схема плунжерного (дифференциального) насоса

(нагнетание) в цилиндре насоса создается давление, под действием которого закрывается всасывающий клапан, открывается нагнетательный клапан 2 и вода из цилиндра поступает в нагнетательную трубу 3. Во время нагнетательного хода обратный клапан закрыт и вода остается во всасывающей трубе. За один цикл движения поршня осуществляется одно всасывание и одно нагнетание.

Поршневые насосы классифицируются по следующим признакам:

по типу привода — на приводные (с кривошипно-шатунным и бескривошипным приводом), прямодействующие и ручные; по конструкции поршня — с дисковым поршнем (собственно поршневые) (см. рис. 63, 64), плунжерные (рис. 65) и диафраг-

мовые. У плунжерных насосов поршень выполнен в виде продолговатого пустотелого цилиндра. Более надежная конструкция уплотнения плунжера позволяет плунжерным насосом развивать высокий напор. Поршневые насосы применяют при малых и средних напорах. В диафрагмовом насосе роль поршня выполняет гибкая диафрагма;

по числу цилиндров — с одним, двумя и тремя цилиндрами. Увеличение числа цилиндров обеспечивает более равномерную подачу жидкости;

по расположению оси цилиндров — горизонтальные и вертикальные;

по кратности действия — простого (одиночного) (см. рис. 63), двойного (см. рис. 64), дифференциальные (см. рис. 65).

В насосах простого действия подача жидкости осуществляется одной стороной поршня, в насосе двойного действия — обеими сторонами. Особенность дифференциального насоса — наличие двух камер, из которых одна имеет всасывающий и нагнетательный клапаны, другая клапанов не имеет и постоянно соединена с нагнетательной трубой (см. рис. 65). При ходе плунжера 7 слева направо в клапанную камеру 2 всасывается жидкость; в это же время плунжер вытесняет в нагнетательную трубу 4 часть жидкости из плунжерной камеры 5. При ходе плунжера справа налево всасывающий клапан 1 закрывается, жидкость из клапанной камеры через нагнетательный клапан 3 вытесняется частично в нагнетательную трубу, а частично в плунжерную камеру, в которой освобождается некоторое пространство благодаря разнице в диаметрах частей плунжера. Для уплотнения предназначены сальники 6. Особенность дифференциального насоса — периодическое всасывание и непрерывное нагнетание. Равномерность нагнетания достигается благодаря тому, что площадь сечения правой части плунжера вдвое меньше левой.

Теоретическая подача Q_T [$\text{м}^3/\text{ч}$] насоса простого действия

$$Q_T = 60 F s n,$$

где F — площадь поршня, м^2 ; s — ход поршня, м ; n — частота вращения вала насоса, мин^{-1} .

Теоретическая подача Q_T [$\text{м}^3/\text{ч}$] насоса двойного действия

$$Q_T = 60 (2F - f) s n,$$

где f — площадь штока, м^2 .

При движении поршня справа налево насос подает жидкость объемом $V_{\text{пр}} = F s$, а при обратном ходе поршня $V_{\text{об}} = (F - f) s$, следовательно, подача насоса за один оборот вала

$$V_{\text{пр}} + V_{\text{об}} = F s + (F - f) s = (2F - f) s.$$

Теоретическая подача Q_T [$\text{м}^3/\text{ч}$] дифференциального насоса

$$Q_T = 60 Fsn.$$

При прямом ходе поршня (слева направо) (см. рис. 65) в левую полость поступает жидкость объемом Fs , а из правой полости выталкивается в нагнетательный трубопровод жидкость объемом $(F-f)s$. При обратном ходе поршня (справа налево) всасывание производиться не будет, но в это же время в нагнетательный трубопровод поступит жидкость в объеме

$$Fs - (F - f)s = fs$$

и, следовательно, за один оборот вала насос подает в нагнетательный трубопровод жидкость объемом

$$(F - f)s + fs = Fs.$$

Таким образом, подача дифференциального насоса равна подаче насоса простого действия (при одинаковых значениях F и s). Поскольку эта подача распределяется на оба хода поршня, то жидкость в нагнетательный трубопровод будет поступать более равномерно.

Действительная подача Q [м³/ч] поршневого насоса

$$Q = \eta_0 Q_T,$$

где $\eta_0 = 0,85 \div 0,95$ — объемный кпд насоса, зависящий от потерь, которые обусловлены запаздыванием открывания и закрывания всасывающего и нагнетательного клапанов, негерметичностью сальников, клапанов и поршня; присутствием растворенного в жидкости воздуха.

Действительная подача Q [м³/ч] реального поршневого насоса

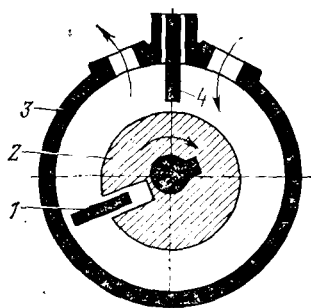
$$Q = 15iz\pi D^2 sn \eta_0,$$

где i — коэффициент, учитывающий способ действия насоса (для насосов дифференциального и простого действия $i = 1$; для насосов двойного действия $i = 1,95$, так как 0,05 площади поршня занято штоком); z — число цилиндров; D — диаметр цилиндра, м.

Из приведенной формулы видно, что регулирование подачи поршневого насоса возможно изменением амплитуды и числа ходов поршня. Поршень насоса соединен с электродвигателем посредством кривошипно-шатунного механизма, поэтому скорость поршня (при бесконечной длине шатуна) неравномерна и приближенно определяется формулой

$$v = \omega r \sin \alpha,$$

где ω — угловая скорость кривошипа; r — радиус кривошипа; α — угол поворота кривошипа от мертвой точки.



Мгновенную подачу можно определить как произведение площади F поперечного сечения поршня на его скорость v :

$$Q = Fv = F\omega r \sin \alpha.$$

Отсюда следует, что мгновенная подача изменяется по закону синусоиды, так же как скорость.

В системах водоснабжения поршневые насосы почти полностью вытеснены центробежными. На обогатительных фабриках поршневые насосы применяют для подачи растворов флотационных реагентов. Для удаления сгущенных продуктов из радиальных сгустителей и очистки отстойников применяют диафрагмовые насосы. В системах водоснабжения обогатительных фабрик применяют плунжерные насосы-дозаторы серии НД, предназначенные для дозирования известкового молока, растворов коагулянта и других нейтральных и агрессивных жидкостей.

Поршневые насосы имеют следующие преимущества перед центробежными: возможность подачи незначительных объемов воды при высоком напоре; хорошую всасывающую способность; высокий КПД при малом расходе и высоком напоре.

Основные недостатки поршневых насосов: неравномерность подачи жидкости; большие размеры и масса; необходимость устройства тяжелого фундамента; наличие быстроизнашивающихся деталей (клапанов) и передачи к двигателю, усложняющих обслуживание оборудования.

§ 96. Ротационные насосы

Все разнообразие конструкций ротационных насосов можно свести к одной схеме (рис. 66). В цилиндрическом статоре 3 вращается ротор 2 с лопаткой (вытеснителем) 1. Замыкатель 4, тем или иным способом убирающийся при прохождении лопатки, делит кольцевую камеру на всасывающую и нагнетательную полости в статоре.

Винтовые насосы, обладая такими положительными свойствами насосов объемного действия, как возможность создавать

высокое давление и работать при значительной высоте всасывания, имеют и другие существенные преимущества по сравнению с поршневыми насосами. Это — простота конструкции, отсутствие клапанов, более равномерная подача, компактность, значительно меньшие размеры и масса.

Винтовые насосы бывают одно-, двух- и трехвинтовыми. Наибольшее распространение получили одновинтовые насосы — они долговечны при работе с жидкостями, содержащими механические примеси и не обладающими смазывающей способностью.

Одновинтовой насос состоит из корпуса, в который вставлена обойма с профилированной внутренней поверхностью двухзаходного винта. В обойме вращается однозаходный винт, центр сечения которого сдвинут относительно оси вращения на некоторую величину e (эксцентриситет). При повороте винта на 360° осевое перемещение образующей синусоиды равно шагу винта. Шаг T винтовой поверхности обоймы равен удвоенному шагу t рабочего винта. При вращении винта в обойме образуются замкнутые полости, заполняемые жидкостью.

Принцип работы одновинтового насоса заключается в следующем. Первая полость заполняется жидкостью благодаря разности давлений, возникающей между ней и приемной частью насоса. Давление в первой полости в результате увеличения ее объема уменьшается по сравнению с давлением в приемной части насоса. При дальнейшем вращении винта полость замыкается и начинает двигаться к нагнетательному концу обоймы, перенося туда некоторый объем жидкости. При полном повороте винта жидкость вдоль оси обоймы передвигается на один шаг T обоймы, выливаясь через постоянное сечение $4eD$ (здесь $4e$ — расстояние между центрами двух кругов, образующих двухзаходную винтовую поверхность обоймы; D — диаметр сечения винта). При равномерном движении винта подача насоса остается постоянной и определяется размерами его цилиндра (корпуса) и частотой вращения винта. Напор теоретически не ограничен и зависит от мощности электродвигателя и прочности деталей насоса.

Винтовые насосы типа ВНМ (самовсасывающие) способны перекачивать воду со значительным содержанием твердых абразивных частиц. Насос типа ВНМ-18-2 имеет подачу 18—20 м³/ч, напор 50—80 м, высоту всасывания 6—8 м, кпд 0,5—0,55; частоту вращения 1460 мин⁻¹.

Шестеренные насосы просты по конструкции, компактны и надежны в эксплуатации. Применяют их для транспортирования жидкостей большой вязкости, а также химически активных жидкостей. Шестеренный насос состоит из корпуса, в котором помещены два зубчатых колеса — ведущее и ведомое, находящиеся в зацеплении. Вращаясь, зубчатые колеса засасывают

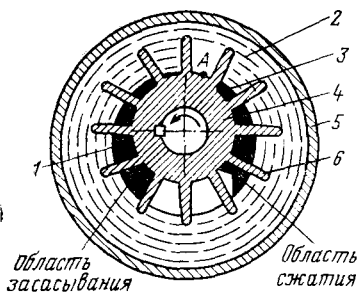


Рис. 67. Схема водокольцевого насоса

жидкость со стороны выхода зубьев из зацепления и выталкивают со стороны входа. Зубья изготавливают эвольвентного профиля. Жидкость проходит во впадинах между зубьями обеих шестерен и выдавливается из них в напорный патрубок, расположенный на противоположной стороне насоса, при вхождении зубьев одной шестерни во впадины другой.

Водокольцевые насосы предназначены для создания вакуума.

Применяют их для заливки и создания вакуума во всасывающих линиях крупных насосов перед их пуском. В этих насосах роль эксцентрикового ротора выполняет водяное кольцо.

Схема водокольцевого насоса показана на рис. 67. В корпусе 5 с некоторым эксцентриситетом вращается ротор 4 в виде ступицы с лопастями 6. Всасывающая и нагнетательная камеры, соединенные с корпусом окнами 1 и 3, расположены на торцевой стенке корпуса. Корпус насоса частично заполнен водой.

При вращении ротора вода отбрасывается лопастями к периферии и образует замкнутое водяное кольцо 2. Ступица колеса касается внутренней поверхности вращения водяного кольца. При этом между ротором и водяным кольцом образуется серповидное воздушное пространство, разделенное лопастями на неравные по объему отсеки. При вращении ротора против часовой стрелки пространство между лопастями, начиная от точки касания А, увеличивается сверху вниз, а далее уменьшается. Воздух засасывается через всасывающее окно и нагнетается в нагнетательное окно. Вода в этом случае действует наподобие поршня, создавая то разрежение, то сжатие.

Объемный КПД водокольцевых насосов достигает 70%. Полный КПД их невелик и составляет 25—35%.

Несмотря на это, водокольцевые насосы нашли широкое применение в промышленности, так как они обеспечивают вакуум до 96%, не требуя очистки поступающего в них воздуха, а также допускают попадание в насос жидкости вместе с засасываемым воздухом. Эти насосы на обогатительных фабриках применяют главным образом как вакуум-насосы и как воздуходувки с давлением до 0,15—0,17 МПа.

§ 97. Беспроводные насосы

Струйные насосы (рис. 68, а). В струйном насосе (гидроэлеваторе, инжекторе) рабочая жидкость (вода, пар, газ) под большим давлением подается по трубопроводу 1 и с большой

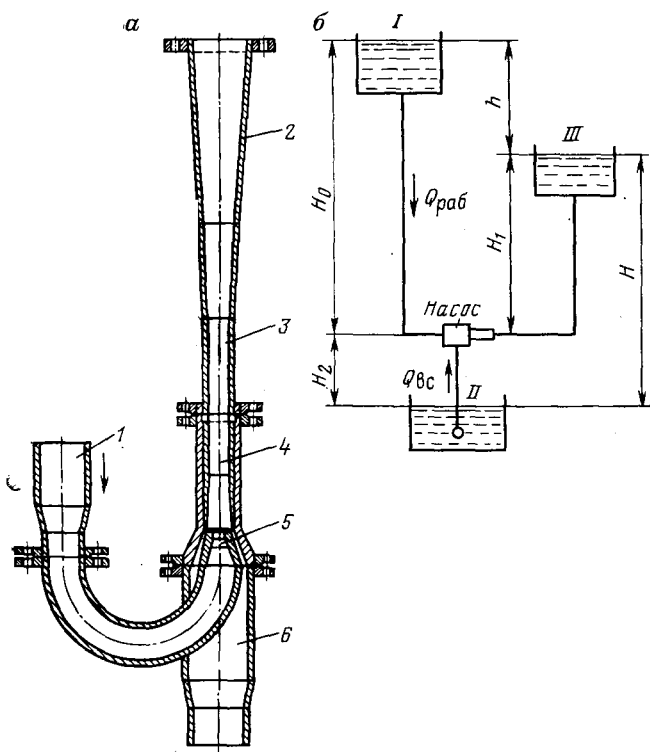


Рис. 68. Струйный насос (гидроэлеватор) (а) и схема его установки (б)

скоростью вытекает из насадки 5 в смесительную камеру 4, где смешивается с перемещаемой жидкостью. Абсолютное давление в смесительной камере меньше атмосферного, поэтому перемещаемая жидкость из колодца по всасывающему трубопроводу 6 поступает в смесительную камеру, где поток рабочей жидкости отдает часть своей энергии перемещаемой жидкости. Затем через горловину 3 жидкость поступает в диффузор 2, где кинетическая энергия жидкости превращается в потенциальную (энергию давления). Из диффузора жидкость поступает по нагнетательному трубопроводу к месту назначения.

На схеме установки струйного насоса (рис. 68, б) приняты следующие обозначения: I, II, III — резервуары; H_0 — напор рабочей жидкости перед насадком; H_1 — высота нагнетания струйного насоса; H_2 — высота всасывания перемещаемой жидкости; $Q_{\text{вс}}$ — объем всасываемой и перемещаемой жидкости; $Q_{\text{раб}}$ — объем рабочей жидкости. Из схемы установки видно, что $H = H_2 + H_1$ — полная высота подъема перемещаемой воды, а

$h = H_0 - H_1$ — разность напора рабочей жидкости перед входом в насос и напора суммарного потока за насосом.

Коэффициент полезного действия струйного насоса η представляет собой отношение полезной мощности $N_{\text{п}}$, создаваемой насосом, к мощности $N_{\text{з}}$, затрачиваемой насосом. Полезная мощность насоса

$$N_{\text{п}} = Q_{\text{вс}} (H_2 + H_1) \rho g = \rho g Q_{\text{вс}} H,$$

затрачиваемая мощность

$$N_{\text{з}} = Q_{\text{раб}} (H_0 - H_1) \rho g = \rho g Q_{\text{раб}} h.$$

Следовательно,

$$\eta = N_{\text{п}} / N_{\text{з}} = Q_{\text{вс}} H / (Q_{\text{раб}} h) = q H / h,$$

где $q = Q_{\text{вс}} / Q_{\text{раб}}$ — коэффициент инжекции (или подмешивания).

Из приведенного уравнения следует, что кпд струйного насоса зависит от относительной высоты подъема жидкости H/h и коэффициента инжекции q .

Расчет струйных насосов заключается в определении геометрических размеров и необходимого напора по известному расходу всасываемой жидкости; решается и обратная задача: определение расхода всасываемой жидкости и геометрических

размеров насоса по заданному расходу и напору рабочей жидкости.

Струйные насосы широко применяют в различных отраслях промышленности, на канализационных очистных сооружениях для подъема шлама из песколовков и перемешивания ила в метантенках. В системах водоснабжения струйные насосы применяют для отсасывания воздуха из мощных насосов перед пуском их в работу и для увеличения высоты всасывания центробежных насосов. На обогащательных фабриках струйные насосы используют для транспортирования пульпы на небольшие расстояния и

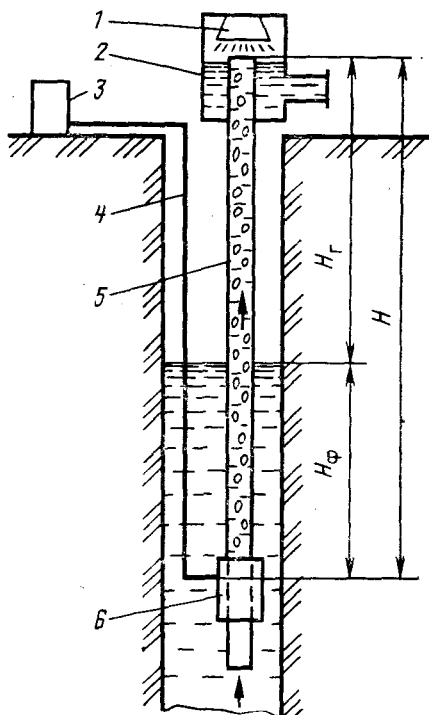


Рис. 69. Схема эрлифта

в других случаях, если применение других типов насосов затруднительно из-за стесненности площади для их установки.

Достоинства струйных насосов: простота устройства и надежность в работе; возможность работы с загрязненными жидкостями; малые размеры; для подачи рабочей жидкости применимы насосы любого типа, которые могут быть удалены на значительные расстояния от места отбора перекачиваемой жидкости.

Недостатки струйных насосов: низкий кпд установки (0,15—0,3); необходимость подачи к насосу большого объема рабочей жидкости под давлением.

Эрлифт (рис. 69) представляет собой устройство, в котором для подъема жидкости используется пневматическая энергия. В напорный трубопровод 5 через форсунку 6 подается по воздухопроводу 4 сжатый воздух от компрессора 3. В форсунке воздух раздробливается на отдельные пузырьки и смешивается с водой. Вследствие разности плотности жидкости и водовоздушной смеси последняя приходит в движение по напорному трубопроводу и выливается в приемный резервуар 2, который оборудован сепаратором 1 для удаления воздуха. Большое влияние на работу эрлифта оказывает относительное погружение форсунки

$$\alpha = H_{\phi} / (H_r + H_{\phi}),$$

где H_{ϕ} — глубина погружения форсунки, м; H_r — геометрическая высота подачи, м.

В расчетах принимают $\alpha = 0,35 \div 0,8$, при этом большим значениям α соответствуют меньшие значения H_r .

Коэффициент полезного действия эрлифта η — это отношение полезной работы, затраченной на подъем воды, к работе, затрачиваемой на расширение воздуха в напорном трубопроводе.

Полезная мощность A_n [Вт] эрлифта

$$A_n = Q \rho g H_r,$$

где Q — подача эрлифта, м³/с; ρ — плотность жидкости, кг/м³.

Мощность A_3 [Вт], затрачиваемая на сжатие воздуха при изотермическом процессе,

$$A_3 = p_1 V \ln(p_2/p_1),$$

где p_1 — атмосферное давление, Па; p_2 — давление воздуха в форсунке, Па; V — расход сжатого воздуха эрлифтом, м³/с.

Отсюда

$$\eta = A_n / A_3 = \frac{Q \rho g H_r}{p_1 V \ln(p_2/p_1)} \eta_{из} \eta_m \eta_n \eta_d,$$

где $\eta_{из}$, η_m , η_n , η_d — соответственно изотермический и механиче-

ский кпд компрессора, кпд передачи компрессора и кпд его электродвигателя.

Расчет эрлифта заключается в определении: глубины погружения форсунки; объема воздуха, необходимого для подъема жидкости; диаметра напорного трубопровода; давления; подачи компрессора и мощности его электродвигателя. Данными для расчета являются подача эрлифта Q и геометрическая высота подачи H_r .

Эрлифты применяют в системе водоснабжения для подачи воды из глубоких скважин и подачи реагентов на очистные сооружения. На канализационных очистных сооружениях эрлифты используют для подачи ила. На обогатительных фабриках эрлифты применяют для подъема пульп и агрессивных жидкостей.

Достоинства эрлифтов: простота устройства и надежность в работе; малые размеры; отсутствие специальных резервуаров для сбора жидкости; возможность работы с сильно загрязненными жидкостями.

Недостатки эрлифта: низкий кпд установки (0,2—0,4); большая глубина погружения форсунки, что не позволяет откачивать жидкость из скважин (емкостей) с малым слоем жидкости; невозможность подавать жидкость непосредственно в сеть ввиду того, что она сильно насыщена воздухом.

Глава 23

НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

§ 98. Общие сведения

Насосные станции представляют собой комплекс сооружений, оборудования и аппаратуры: насосы различного типа; приводные электродвигатели насосов; системы всасывающих и нагнетательных трубопроводов; регулирующая, запорная и предохранительная арматура; контрольно-измерительные приборы, электрооборудование, аппаратура автоматики и телемеханики.

По назначению насосные станции подразделяются на водопроводные, канализационные, оборотного водоснабжения и для пульпы.

Расчет насосных станций независимо от их назначения производится по заданной подаче станции и гидравлической схеме трубопроводов, к которым подключены насосы. На схеме должны быть указаны: длина отдельных участков, запорная, регулирующая и предохранительная арматура, а также колена, тройники и другие элементы трубопроводов.

По заданной подаче насосной станции определяют необходимую подачу Q_n одного рабочего насоса и их число. Для умень-

шения числа рабочих насосов следует выбирать насосы с наибольшей подачей.

Определяют ориентировочный напор $H_{ор}$ [м] насоса, который зависит от высоты нагнетания H_r и потерь напора в трубопроводе:

$$H_{ор} = H_r + kiL,$$

где $k = 1,1 \div 1,15$ — коэффициент, учитывающий потери напора в трубопроводе с учетом местных сопротивлений; i — удельные гидравлические потери; L — длина трубопровода, м.

В соответствии с найденными Q_n и $H_{ор}$ выбирают по каталогу насос.

Определяют диаметр d [м] всасывающего и нагнетательного трубопроводов

$$d = \sqrt[3]{4Q_n / (3600\pi v)},$$

где Q_n — подача насоса, м³/ч; v — скорость движения жидкости во всасывающем или нагнетательном трубопроводе, м/с. Рекомендуется выбирать следующие значения скорости жидкости:

d , м	<250	250—800	>800
v в трубопроводе, м/с:			
всасывающем	0,7—1	1—1,5	1,5—2
нагнетательном	1—1,5	1,5—2	1,8—3

По расчетному диаметру по соответствующим ГОСТам выбирают стандартные трубы.

Определяют действительную скорость движения воды во всасывающем и нагнетательном трубопроводах

$$v_d = 4Q_n / (3600 \pi d_{ст}^2),$$

где $d_{ст}$ — стандартный диаметр всасывающего или нагнетательного трубопроводов, м.

Определяют потери напора на преодоление сопротивлений во всасывающем и нагнетательном трубопроводе по формуле (37). Значения коэффициентов ξ местных потерь принимают по таблицам, приведенным в справочной литературе.

Определяют манометрический напор H_m [м] насоса

$$H_m = H_r + h_{вс} + h_{наг},$$

где $h_{вс}$ и $h_{наг}$ — потери напора соответственно во всасывающем и нагнетательном трубопроводе, м.

При использовании секционных насосов определяют число рабочих колес z по манометрическому напору

$$z = H_m / h_k,$$

где h_k — напор, создаваемый одним рабочим колесом, м.

Число рабочих колес округляют до ближайшего большего. Например, при $z=2,3$ принимают три рабочих колеса.

Расчет характеристики трубопровода выполняют по формуле (39). При этом необходимо учитывать число насосов, работающих на один трубопровод, а также схему соединения насосов (последовательная, параллельная, смешанная).

Характеристику трубопровода рассчитывают по точкам в интервале подач $(0 \div 1,5) Q_{p.t}$ (где $Q_{p.t}$ — расход жидкости по трубопроводу, $m^3/ч$) с шагом, равным $(0,2 \div 0,25) Q_{p.t}$. Результаты расчета сводятся в таблицу, по которой строят характеристику $H_{тр} = f(Q_{p.t})$.

Рабочий режим насоса определяют графически по точке пересечения характеристики трубопровода с характеристикой насоса (или суммарной характеристикой насосов при их совместной работе на общий трубопровод). Графические характеристики насосов принимают по каталогам или справочникам.

В результате графических построений определяют расход, напор, кпд, потребляемую мощность и вакуумметрическую высоту всасывания насоса. Проверяют насос на устойчивость работы и отсутствие кавитации в соответствии с указаниями, приведенными в § 86, 88.

Мощность N [кВт] электродвигателя насоса

$$N = Q \rho g H / (1000 \eta),$$

где Q — подача насоса, $m^3/с$; ρ — плотность жидкости, $кг/м^3$; g — ускорение свободного падения, $м/с^2$; H — напор, развиваемый насосом, $м$; η — кпд насоса.

Электродвигатель выбирают с резервом мощности в $10 \div 15\%$.

§ 99. Водопроводные насосные станции

Водопроводные насосные станции подразделяются на станции I и II подъема, циркуляционные и повысительные.

Насосные станции I подъема служат для забора воды из источника водоснабжения и подачи ее на очистные сооружения. Если очистки воды не требуется, насосы станции I подъема подают воду в другие сооружения (резервуары, водонапорную башню и пр.) в зависимости от схемы водоснабжения. Насосные станции I подъема в зависимости от источника водоснабжения могут быть: береговыми — для забора воды из поверхностных источников; скважинными — для забора воды из артезианских скважин; шахтными — для забора воды из шахтных колодцев. Они могут быть расположены отдельно от водозаборных сооружений или совмещены с ними.

Режим работы насосных станций I подъема должен быть рассчитан на круглосуточную работу при максимальном суточном расходе.

Насосные станции II подъема предназначены для подачи воды потребителям после ее очистки. Если очистные сооружения расположены близко от насосной станции I подъема, то допускается расположение насосных станций I и II подъема в одном здании.

Циркуляционные насосные станции предназначены для подачи отработанной воды на очистные и охлаждающие устройства и возврата очищенной и охлажденной воды на производство. Циркуляционные насосные станции устраиваются только в системах оборотного водоснабжения предприятий.

Повысительные насосные станции предназначены для местного повышения напора в хозяйственно-питьевых и производственных водопроводах.

Водопроводные насосные станции по надежности действия делятся на три категории: I категория — не допускается перерыв в подаче воды; II категория — допускается кратковременный перерыв в подаче воды на время, необходимое для включения резервного электроснабжения; III категория — допускается перерыв в подаче воды на время ликвидации аварии, но не более суток.

§ 100. Канализационные насосные станции

Канализационные насосные станции предназначены для транспортирования сточной жидкости из коллекторов к очистным сооружениям. Насосные станции следует располагать в отдельных зданиях.

Насосная станция состоит из следующих основных элементов: решетки-дробилки, предназначенной для задерживания и дробления крупных отбросов, попадающих в канализационную сеть; приемного резервуара, предназначенного для приема сточной жидкости; машинного отделения, в котором расположены насосные агрегаты; всасывающих и нагнетательных трубопроводов с запорной, регулирующей и предохранительной арматурой; аварийного выпуска, предназначенного для спуска сточных вод при аварии на насосной станции в естественный водоем; вспомогательных помещений.

Насосы могут быть расположены ниже уровня сточной жидкости, в приемном резервуаре (т. е. работать под заливом) или выше него.

Приток сточных вод, в особенности хозяйственно-бытовых, к насосной станции бывает неравномерным в течение суток. Для обеспечения равномерной работы насосов устраивают приемные резервуары. Вместимость приемного резервуара насосной станции определяется в зависимости от притока сточных вод, подачи насосов и принятого режима их работы, но не менее 5-минутной максимальной подачи одного из насосов. В прием-

ных резервуарах необходимо предусматривать устройства для взмучивания осадка и мытья резервуара. Уклон дна резервуара к приемке под всасывающей трубой насоса следует принимать не менее 0,1.

Насосы выбирают по требуемому напору и максимальной производительности насосной станции. Требуемый напор H [м]

$$H = H_{\text{вс}} + H_{\text{н}} + h_{\text{пот}},$$

где $H_{\text{вс}}$ — геометрическая высота всасывания, м; $H_{\text{н}}$ — геометрическая высота нагнетания, м; $h_{\text{пот}}$ — потери напора во всасывающем и нагнетательном трубопроводах, м.

Подачу рабочих насосов и необходимое их число определяют по расчетному притоку сточных вод. В насосной станции кроме рабочих необходимо предусматривать установку резервных насосов: при числе рабочих насосов до двух — один резервный насос; при числе рабочих насосов более двух — два насоса.

Раздел VI

ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Глава 24

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЗДУХОСНАБЖЕНИИ

§ 101. Потребители сжатого воздуха

Сжатый воздух на обогатительных фабриках используют в технологических процессах (при обогащении, обезвоживании, пылеулавливании, сушке); для вентиляции помещений; в пневмотранспортных установках; как носитель пневматической энергии.

Для технологических целей сжатый воздух применяют в пневмомеханических и пневматических флотационных машинах, пневматических сепараторах и отсадочных машинах, вакуум-фильтрах, сушилках, аппаратах для пылеулавливания, гидравлических беспоршневых отсадочных машинах.

Технологические процессы в цехах обогатительных фабрик (реагентный, дробильный, флотационный, сушильный и др.), а также погрузочно-транспортные операции сопровождаются выделением пыли, паров воды и ядовитых жидкостей, вредных газов и тепла, значительно ухудшающих санитарно-гигиенические условия труда.

Для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий труда в Санитарных нормах проектирования промышленных предприятий СН 245—71 определены предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосфере производственных помещений.

Загрязнение производственных помещений газами и пылью до недопустимых концентраций может привести также к созданию взрыво- и пожароопасной атмосферы.

Для создания нормальных санитарно-гигиенических и безопасных условий труда в производственных помещениях обогатительных фабрик применяют промышленную вентиляцию. Вентиляция может быть естественной, механической или смешанной. Для механической и смешанной вентиляции используют вентиляторы.

Сжатый воздух используют для транспортирования сыпучих материалов и проб продуктов.

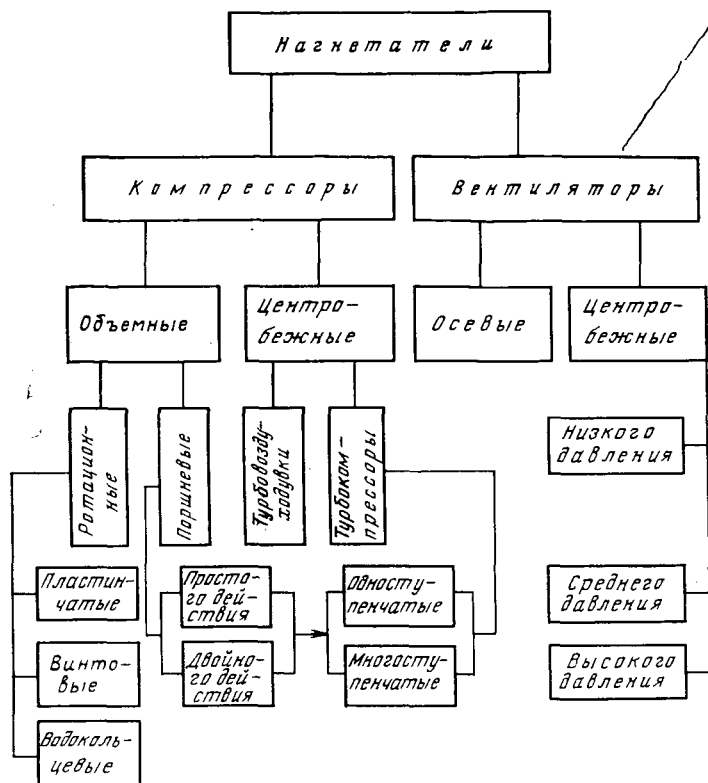


Рис. 70. Классификация нагнетателей

Как носитель пневматической энергии сжатый воздух используется при строительстве и ремонте (отбойные и бурильные молотки, гайковерты и др.), а также в системах пневмавтоматики.

§ 102. Классификация машин для сжатия и подачи воздуха

Машины, предназначенные для сжатия и подачи воздуха, называются нагнетателями. Эти машины можно классифицировать по нескольким признакам (рис. 70).

По развиваемому конечному давлению: компрессоры, сжимающие воздух (газ) до избыточного давления более 0,3 МПа; воздушодувки, сжимающие воздух (газ) до избыточного давления равного 0,3 МПа; вентиляторы, сжимающие воздух (газ) до избыточного давления не более 0,015 МПа; вакуум-насосы и компрессорные ма-

шины, предназначенные для создания разрежения (вакуума).

По конструктивным особенностям и принципу действия:

поршневые — сжатие воздуха происходит в замкнутом пространстве при уменьшении его объема. Изменение объема замкнутого пространства происходит в результате возвратно-поступательного движения в нем поршня;

центробежные — давление воздуха создается центробежными силами, возникающими при вращении рабочего колеса с лопастями в потоке воздуха; разновидностью центробежных нагнетателей являются осевые нагнетатели, принцип действия которых основан на повышении кинетической энергии потока воздуха в результате сообщения его частицам осевой скорости;

ротационные — сжатие воздуха происходит в замкнутых полостях, которые образуются между рабочими пластинами вращающегося ротора и стенками статора (корпуса). Конструктивно и по способу привода ротационные нагнетатели сходны с центробежными машинами, однако по принципу действия (вытеснение) они относятся к поршневым машинам.

По числу ступеней: одно- и многоступенчатые.

По способу установки: стационарные и передвижные. На обогатительных фабриках используются стационарные нагнетатели, установленные на фундаментных основаниях.

По расположению рабочих органов (поршней, рабочих колес, валов и др.): горизонтальные, вертикальные и наклонные. Поршневые компрессоры могут быть с любым из перечисленных, а также оппозитным (со встречным движением поршней), расположением рабочих органов (цилиндров). Центробежные и осевые нагнетатели, как правило, горизонтальные.

§ 103. Параметры атмосферного воздуха

Рабочей средой в нагнетателях обычно служит воздух. Свойства, определяющие состояние воздуха, называют термодинамическими параметрами. Наиболее распространенные из них — абсолютная температура, абсолютное давление и удельный объем (или плотность).

Абсолютная температура T характеризует тепловое состояние воздуха. Тепло самопроизвольно переходит от более нагретых тел к менее нагретым. Соотношение между абсолютной температурой T Кельвина и практической температурой t Цельсия определяется выражением $T = t + 273$.

Абсолютное давление p [Па] — величина, характеризующая интенсивность сил, действующих по нормали к поверхности тела и отнесенных к единице площади этой поверхности. В уравнениях термодинамики используют величины абсолютного давления; приборы, применяемые для измерения дав-

ления, показывают избыточное давление (манометры) либо разрежение (вакуумметры).

Абсолютное давление

$$p = p_n + p_a,$$

где p_n — показание манометра (избыточное давление), Па; p_a — показание барометра (атмосферное давление), Па.

Удельный объем воздуха — объем, занимаемый единицей массы воздуха. Удельный объем V [м³/кг] связан с массой воздуха G и его объемом V' соотношением $V = V'/G$.

Плотность ρ [кг/м³] воздуха

$$\rho = G/V' = 1/V.$$

Плотность воздуха, которая зависит от изменяющихся температуры, давления и влажности, оказывает значительное влияние на характеристику работы нагнетателей, поэтому все параметры нагнетателей принято приводить к нормальным (стандартным) условиям. Нормальные атмосферные условия: абсолютное давление $p_0 = 0,1$ МПа; температура $T = 293$ К ($t = 20$ °С); относительная влажность воздуха $\varphi = 50\%$; плотность воздуха $\rho_0 = 1,2$ кг/м³.

Три параметра (p , V и T) состояния воздуха связаны между собой уравнением, которое можно представить в виде $F(p, V, T) = 0$ или $pV' = GRT$, где $R = 287$ Дж/(кг·К) — газовая постоянная воздуха (для нормальных условий); G — масса газа (воздуха), кг. Для 1 кг воздуха уравнение состояния имеет вид $pV = RT$. Уравнение состояния справедливо не только для идеальных, но и для реальных газов, которые достаточно далеки от сжижения.

Для удобства расчета плотности воздуха при заданных температуре, давлении и влажности в соответствии с уравнением состояния применяют поправочный коэффициент

$$\Delta = \rho_0/\rho = p_0(273+t)R/[p(273+t_0)R_0],$$

где ρ_0 , p_0 , t_0 и R_0 — параметры, соответствующие нормальным атмосферным условиям; ρ , p , t и R — параметры, соответствующие условиям, при которых определяется ρ .

Тогда $\rho = \rho_0/\Delta$.

Приведенные зависимости не учитывают влияния влажности воздуха, так как при температуре до 40 °С оно весьма незначительно. Так, при $t \leq 23$ °С значение R при повышении влажности с 50 до 100% увеличивается не более, чем на 0,6%, а при $t = 35$ °С такое же повышение влажности приводит к увеличению R на 1%.

ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ

§ 104. Устройство, принцип действия и классификация поршневых компрессоров

Компрессоры — нагнетатели, предназначенные для сжатия и перемещения воздуха или газа.

Принцип работы поршневого компрессора аналогичен работе поршневого насоса. В зависимости от способа действия поршневые компрессоры бывают простого и двойного действия.

В поршневом компрессоре простого действия (рис. 71) поршень 2 совершает возвратно-поступательное движение в цилиндре 3. При перемещении поршня слева направо атмосферный воздух благодаря разрежению поступает в цилиндр через всасывающий клапан 1. При обратном движении поршня воздух сначала сжимается от начального давления p_1 до конечного p_2 , равного давлению в нагнетательном патрубке, после чего открывается нагнетательный клапан 4 и сжатый воздух поступает в нагнетательный трубопровод. Рабочий цикл поршневого компрессора совершается за два хода поршня, т. е. за один оборот вала компрессора.

Если сжатие воздуха происходит в компрессоре один раз, компрессор называется одноступенчатым. Для получения высокого давления применяют двух- и многоступенчатые компрессоры, в которых воздух последовательно сжимается в нескольких ступенях с промежуточным охлаждением. В двухступенчатом компрессоре воздух после сжатия в I цилиндре поступает в промежуточный холодильник, где охлаждается до первоначальной температуры. После этого воздух засасывается во II цилиндр, в котором вновь сжимается, и затем выталкивается в сеть.

Поршневые компрессоры классифицируются следующим образом:

по назначению — воздушные, кислородные, аммиачные и т. п.;

по подаче — малой (до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$), средней ($10\text{—}30 \text{ м}^3/\text{мин}$) и большой (свыше $30 \text{ м}^3/\text{мин}$).

по конечному давлению — низкого (до 1 МПа), среднего ($1\text{—}100 \text{ МПа}$) и высокого (свыше 100 МПа);

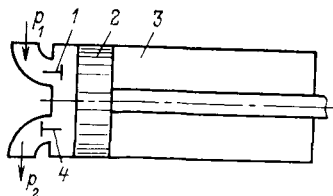
по числу ступеней сжатия — одно- и многоступенчатые;

по числу цилиндров — одно- и многоцилиндровые;

по расположению цилиндров — горизонтальные, вертикальные и наклонные;

по способу охлаждения — с водяным и воздушным.

Рис. 71. Схема поршневого компрессора простого действия



§ 105. Теоретический рабочий процесс поршневого компрессора

Этот процесс называют теоретическим, так как при его изучении делают следующие допущения по отношению к действительному рабочему процессу:

отсутствует вредное пространство, т. е. весь сжатый воздух полностью выталкивается из цилиндра;

давление и температура воздуха в цилиндре компрессора в процессе всасывания не меняются и равны соответствующим параметрам воздуха у всасывающего патрубка;

отсутствуют потери давления в клапанах и энергии вследствие механического трения, а также утечки воздуха через рабочие клапаны и зазор между поршнем и цилиндром;

давление и температура воздуха в процессе выталкивания не меняются и соответствуют параметрам сжатого воздуха за компрессором.

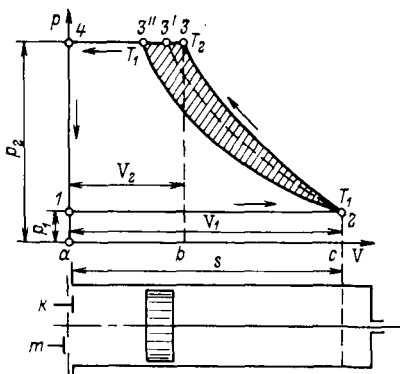
Рассмотрим теоретический рабочий процесс на примере поршневого компрессора простого действия (рис. 72).

При движении поршня вправо из крайнего левого положения 1 всасывающий клапан k открыт и атмосферный воздух поступает в цилиндр. Давление на протяжении всего хода всасывания постоянно и равно атмосферному, поэтому линия 1—2 параллельна оси абсцисс.

При движении поршня от крайнего правого положения 2 влево всасывающий клапан k закрывается и воздух, замкнутый в полости цилиндра, постепенно сжимается. Давление в цилиндре при сжатии воздуха изменяется в зависимости от термодинамических условий. При сжатии без теплообмена с окружающей средой, т. е. без охлаждения, температура воздуха повысится от T_1 (точка 2) до T_2 (точка 3). В этом случае изменение давления воздуха при сжатии на диаграмме представится в виде адиабаты — кривой 2—3.

Когда давление воздуха в цилиндре достигнет значения p_2 , т. е. станет равным давлению воздуха в воздухохранильнике, откроется нагнетательный клапан m , и воздух будет выталкиваться из цилиндра при постоянном давлении p_2 . Линию 3—4 на диаграмме, параллельную оси абсцисс, называют линией нагнетания. По окончании нагнетания происходит мгновенное

Рис. 72. Диаграмма теоретического рабочего процесса поршневого компрессора



падение давления от p_2 до p_1 по линии 4—1 и повторяется процесс всасывания.

Скорость поршня в точках 1 и 2 равна нулю, поэтому эти положения поршня называют крайними или мертвыми.

Площадь индикаторной диаграммы 1—2—3—4—1 представляет собой работу, затраченную компрессором за один цикл, т. е. на всасывание, сжатие и выталкивание (нагнетание) воздуха поршнем компрессора в условиях адиабатного процесса.

Площадь индикаторной диаграммы 1—2—3—4—1, эквивалентная работе компрессора

$$L_{1-2-3-4-1} = L_{b-c-2-3} + L_{b-3-4-a} - L_{1-2-c-a}. \quad (46)$$

Для определения работы, затраченной компрессором в условиях адиабатного процесса в течение одного цикла, воспользуемся некоторыми зависимостями из термодинамики:

уравнение состояния газа

$$pV = RT; \quad (47)$$

уравнение адиабатного процесса

$$pV^k = \text{const},$$

где $k = C_p/C_v$ — показатель адиабаты;

уравнение работы сжатия при адиабатном процессе

$$L_{\text{сж.ад}} = (T_2 - T_1) C_v / A;$$

теплоемкость при постоянном объеме

$$C_v = AR / (k - 1); \quad (48)$$

отношение абсолютных температур

$$T_2/T_1 = (p_2/p_1)^{(k-1)/k}.$$

В этих зависимостях приняты следующие обозначения: p , p_1 , p_2 — абсолютное давление газа соответственно для абсолютной температуры T , T_1 , T_2 при удельном объеме V , V_1 , V_2 ; A — механический эквивалент тепла ($A = 4180$ Дж); R — газо-

вая постоянная; C_p и C_v — теплоемкость газа соответственно при постоянных давлении и объеме.

Используя приведенные термодинамические зависимости, выразим работу компрессора за один цикл при адиабатном процессе в соответствии с формулой (46), считая работу, совершаемую поршнем при сжатии и выталкивании воздуха, положительной, а при всасывании — отрицательной:

$$L_{ад} = (T_2 - T_1) C_v / A + p_2 V_2 - p_1 V_1. \quad (50)$$

В этом выражении первое слагаемое представляет собой работу адиабатного сжатия, которой эквивалентна площадь диаграммы $b-c-2-3$; второе слагаемое — работу нагнетания, которой эквивалентна площадь $b-3-4-a$; третье слагаемое — работу всасывания, которой эквивалентна площадь $1-2-c-a$.

Учитывая, что $p_2 V_2 \neq p_1 V_1$; $p_1 V_1 = RT_1$; $p_2 V_2 = RT_2$, уравнение (50) можно представить в виде

$$L_{ад} = (T_2 - T_1) C_v / A + RT_2 - RT_1 = (C_v / A + R) (T_2 - T_1)$$

Подставив в полученную зависимость значение C_v из формулы (48), получим:

$$L_{ад} = RT_1 (T_2 / T_1 - 1) k / (k - 1),$$

а на основании формул (47) и (49)

$$L_{ад} = p V_1 [(p_2 / p_1)^{(k-1)/k} - 1] k / (k - 1). \quad (51)$$

Определим работу, затраченную компрессором при политропном процессе.

Уравнение политропного процесса

$$p V^n = \text{const},$$

где $1 < n < k$.

В этом случае сжатие в компрессоре происходит по политропе $2-3'$ и площадь политропного сжатия $b-c-2-3'$ на диаграмме эквивалентна работе политропного сжатия:

$$L_{сж.пол} = (T'_2 - T_1) C_v / A,$$

где $T'_2 < T_2$.

По аналогии с формулой (51) работа компрессора за один цикл при политропном процессе

$$L_{пол} = p_1 V_1 [(p_2 / p_1)^{(n-1)/n} - 1] n / (n - 1).$$

При изотермическом сжатии $T_2 = T_1$ и $p_2 V_2 = p_1 V_1$. Работа изотермического сжатия, которой на диаграмме эквивалентна площадь индикаторной диаграммы $b-c-2-3''$,

$$L_{сж.из} = p_1 V_1 \ln(p_2 / p_1).$$

Работа всего изотермического цикла компрессора

$$L_{из} = L_{b-c-2-3''} + L_{3''-4-a-b} - L_{1-2-c-a} = \\ = p_1 V_1 \ln(p_2/p_1) + p_2 V_2 - p_1 V_1,$$

но так как $p_1 V_1 = p_2 V_2$, то

$$L_{из} = p_1 V_1 \ln(p_2/p_1) = 2,303 p_1 V_1 \lg(p_2/p_1). \quad (52)$$

Как следует из приведенной диаграммы, наибольшая работа затрачивается при адиабатном процессе сжатия, т. е. если в процессе сжатия тепло от компрессора не отводится (кривая такого сжатия — адиабата 2—3 — наиболее крутая и площадь 1—2—3—4—1, следовательно, наибольшая).

Если процесс сжатия происходит при полном отводе тепла ($T_2 = T_1$), то протекает изотермический процесс. В этом случае процесс описывается наиболее пологой кривой — изотермой 2—3'' и площадь диаграммы 1—2—3—4—1 наименьшая.

Тепло отводится от компрессора с помощью охлаждающей воды, циркулирующей в водяной рубашке цилиндра, и процесс сжатия происходит по политропе, т. е. с частичным отводом тепла. Показатель политропы $n = 1,25 \div 1,2$.

Необходимо отметить, что охлаждение цилиндра не только уменьшает расход мощности, но и улучшает условия эксплуатации, так как при более низкой температуре смазка не выгорает.

§ 106. Действительный рабочий процесс поршневого компрессора

Действительный рабочий процесс в поршневом компрессоре, а следовательно, и индикаторная диаграмма отличаются от теоретических по перечисленным выше причинам.

Рассмотрим влияние вредного пространства на рабочий процесс поршневого компрессора. При достижении поршнем крайнего левого положения в пространстве между поршнем и крышкой цилиндра, а также в клапанах остается воздух. Объем пространства, в котором остается воздух, называют вредным. Объем вредного пространства составляет 2—7% рабочего объема цилиндра. Обозначим V_0 — объем вредного пространства (рис. 73).

В связи с тем, что во вредном пространстве находится воздух, сжатый до давления p_2 , всасывание его при очередном ходе поршня начинается не в тот момент, когда поршень сдвигается из крайнего положения, а только после того, как воздух расширится, заняв объем V_0' в цилиндре, и давление его снизится до p_1 . После этого в точке 1 начинается всасывание. При этом объем воздуха V_1' , засасываемого в цилиндр в течение

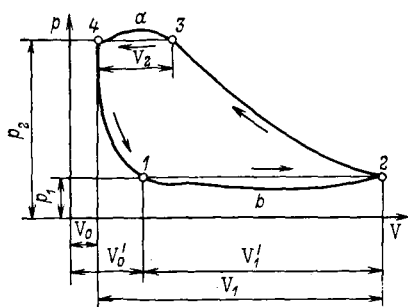


Рис. 73. Диаграмма действительного рабочего процесса поршневого компрессора

одного хода поршня, будет меньше объема V_1 , описываемого поршнем:

$$V'_1/V_1 = \lambda_0.$$

Это отношение называют объемным коэффициентом компрессора. Значение его, определяемое по индикаторной диаграмме $\lambda_0 = 0,85—0,95$.

Объем, описываемый поршнем за один ход $V_1 = Fs$, а фактически засасываемый объем воздуха $V'_1 = Fs_1$, где F — площадь поршня; s — ход поршня; s_1 — часть хода поршня, на протяжении которого происходит всасывание воздуха.

Выразим объем вредного пространства в долях хода поршня, приняв условный ход поршня, соответствующий вредному пространству $s_0 = V_0/F$. Относительное значение вредного пространства в долях хода поршня $E = s_0/s$.

Определим влияние вредного пространства на объемный коэффициент компрессора.

Объем сжатого воздуха во вредном пространстве $V_0 = Fs_0$, а объем этого же воздуха при расширении до давления p_1

$$V_0 = Fs + Fs_0 - Fs_1 = F(s + s_0 - s_1).$$

Отношение объемов

$$V'_0/V_0 = (s + s_0 - s_1)/s_0.$$

Умножив обе части этого равенства на E и произведя необходимые преобразования, получим:

$$\lambda_0 = 1 - E(V'_0/V_0 - 1).$$

Как известно, при изотермическом процессе $V'_0/V_0 = p_2/p_1$, поэтому

$$\lambda_0 = 1 - E(p_2/p_1 - 1). \quad (53)$$

В общем случае при политропном процессе

$$\lambda_0 = 1 - E[(p_2/p_1)^{1/n} - 1]. \quad (54)$$

Анализ этих зависимостей показывает, что объемный коэффициент компрессора тем меньше, чем больше вредное пространство E и степень сжатия $\epsilon = p_2/p_1$.

Необходимо отметить, что вредное пространство можно считать действительно вредным только с точки зрения снижения подачи компрессора. С точки зрения энергетической оно не является вредным, так как энергия, затрачиваемая на сжатие воздуха в этом пространстве, почти вся возвращается при его расширении во время всасывающего хода поршня.

Фактическое давление воздуха при всасывании снижается до меньшего значения, чем p_1 , а при нагнетании давление повышается больше p_2 . Это происходит вследствие испытываемых воздухом на своем пути сопротивлений фильтра, всасывающего трубопровода, клапанов и т. п. Поэтому фактически линия всасывания 1—b—2 (см. рис. 73) проходит ниже линии атмосферного давления 1—2; а линия нагнетания 3—a—4 проходит выше линии 3—4 конечного сжатия воздуха.

Снижение подачи компрессора в результате уменьшения давления воздуха при всасывании учитывается коэффициентом давления $\lambda_p = 0,95—0,9$. Утечки воздуха в зазорах между цилиндром и поршневыми кольцами, через сальники, в рабочих клапанах, уменьшающие подачу компрессора, учитываются коэффициентом герметичности $\lambda_r = 0,95—0,98$.

При всасывании воздуха происходит повышение его температуры вследствие теплообмена с цилиндром, поршнем и воздухом, расширяющимся из вредного пространства, что приводит к уменьшению удельного объема воздуха и снижению подачи компрессора, которое учитывается коэффициентом подогрева $\lambda_T < 1$. Значение λ_T зависит от степени сжатия и качества охлаждения воздуха.

На подачу компрессора оказывает влияние влажность засасываемого воздуха, так как при его охлаждении происходят конденсация влаги и, как следствие, уменьшение объема воздуха, выдаваемого компрессором в напорную сеть. Это учитывается коэффициентом выделения влаги $\lambda_{в} < 1$.

Общий коэффициент подачи компрессора определяется как произведение перечисленных выше коэффициентов:

$$\lambda = \lambda_0 \lambda_p \lambda_r \lambda_T \lambda_{в}.$$

При нормальном состоянии компрессора $\lambda = 0,75—0,85$.

При отклонении в работе компрессора происходит искажение его нормальной индикаторной диаграммы. Определение дефекта в работе компрессора производится сравнением действительной диаграммы с нормальной, записанной при заводских испытаниях.

§ 107. Многоступенчатое сжатие

Если возникает необходимость получить в компрессоре давление сжатого воздуха p_2 при сравнительно небольшом значении p_1 , т. е. иметь высокую степень повышения давления $\varepsilon = p_2/p_1$, то возникает вопрос о целесообразности сжатия воздуха в одной ступени или распределения общего повышения давления на две или несколько последовательно работающих ступеней компрессора. При высокой степени повышения давления даже при совершенном охлаждении стенок цилиндра температура T_2 воздуха в конце процесса сжатия получается намного выше допустимой.

Существуют два предела степени повышения давления воздуха в одной ступени. Первый предел обусловлен влиянием вредного пространства на подачу компрессора; второй — допустимой температурой воздуха в цилиндре в конце сжатия.

С увеличением степени повышения давления объемный коэффициент компрессора и, следовательно, его подача уменьшаются. Существует такая предельная степень повышения давления, при которой воздух из вредного пространства, расширяясь, заполняет весь объем цилиндра и всасывание его из атмосферы прекращается. Компрессор в этом случае работает вхолостую.

Предельную степень сжатия для изотермического процесса компрессора можно определить по формуле (53), приняв $\lambda_0 = 0 = 1 - E(p_2/p_1 - 1)$, откуда $p_2/p_1 = 1/E + 1$. При максимальном значении $E = 0,05$ получим $p_2/p_1 = 1/0,05 + 1 = 21$.

Приняв $\lambda_0 = 0,7$ приемлемым для работы компрессора, получим $0,7 = 1 - 0,05(p_2/p_1 - 1)$, откуда $p_2/p_1 = 7$. Из этого следует, что приемлемое значение объемного коэффициента, обусловленное наличием вредного пространства, ограничено степенью сжатия $p_2/p_1 = 7$.

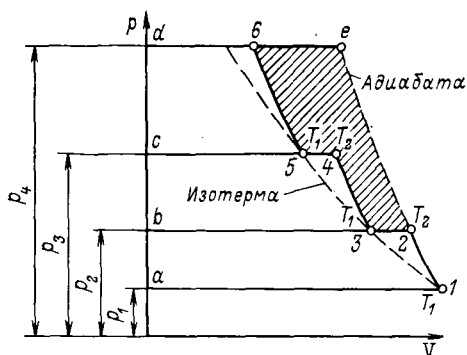
Второй предел степени повышения давления обусловлен допустимой температурой воздуха в цилиндре. Для уменьшения трения цилиндр смазывается маслом, которое при высокой температуре пригорает, испаряется и разлагается. Пары масла и, в первую очередь, метан, выделяющийся из него, смешиваясь с воздухом, образуют горючую смесь, которая при определенных условиях может взрываться в цилиндре, нагнетательном трубопроводе или воздухохранильнике.

Предельная температура вспышки обычно применяемых компрессорных смазочных масел колеблется в пределах 220—240 °C.

Воспользуясь зависимостью (49), определим конечную температуру воздуха при адиабатном процессе.

Определим конечную температуру, получаемую при различных степенях сжатия воздуха с начальной температурой 20 °C для адиабатного процесса:

Рис. 74. Диаграмма сжатия в трехступенчатом компрессоре



p_2/p_1	2	4	6	7	8
$t, ^\circ\text{C}$	85	165	220	239	263

Отсюда следует, что для предотвращения вспышки масла максимальной степенью сжатия можно считать $p_2/p_1=6$ или $p_2/p_1=7$. При большей степени повышения давления необходимо применять двух- или многоступенчатое сжатие.

В многоступенчатых компрессорах сжатие осуществляется последовательно в нескольких цилиндрах (ступенях). Воздух, выходя из первого цилиндра, охлаждается в специальном теплообменнике (холодильнике) и после этого поступает в следующий цилиндр. Холодильник обеспечивает более эффективный отвод тепла, чем водяная рубашка цилиндра компрессора. Холодильники позволяют снизить температуру воздуха после ступени компрессора практически до температуры на входе в компрессор.

При одноступенчатом сжатии с увеличением отношения p_2/p_1 адиабата все больше расходится с изотермой. Вследствие этого избыток работы при адиабатном процессе по сравнению с изотермическим значительно возрастает.

Рассмотрим теоретический процесс сжатия воздуха в трехступенчатом компрессоре; при этом будем считать, что охлаждение воздуха в охладителе производится до первоначальной температуры, а давление остается постоянным (рис. 74).

Процесс всасывания в I ступени происходит по линии $a-1$. Так как давление воздуха небольшое, допускается адиабатный процесс сжатия по линии $1-2$. Нагнетание воздуха из I ступени компрессора в промежуточный холодильник производится по линии $2-b$. Воздух после I ступени охлаждается до начальной температуры, поэтому объем его уменьшается до значения $b-3$ при том же давлении p_2 . Отрезок $2-3$ показывает изменение объема воздуха при охлаждении под постоянным давлением.

Процесс всасывания во II ступени происходит по линии $b-3$ при давлении p_2 . Так как часть тепла отводится охлаждением, сжатие воздуха во II ступени происходит по политропе $3-4$ до давления p_3 . Нагнетание воздуха из II ступени в промежуточ-

ный холодильник происходит по линии 4—с. После охлаждения до начальной температуры при постоянном давлении p_3 объем воздуха уменьшится до значения с—5. Отрезок 4—5 показывает изменение объема воздуха при $p_3 = \text{const}$ в холодильнике после II ступени.

Процесс всасывания в III ступени происходит по линии с—5 при давлении p_3 . Так как часть тепла отводится при охлаждении, сжатие воздуха в III ступени происходит по политропе 5—6 до давления p_4 . Нагнетание воздуха в воздухохосборник происходит по линии 6—d.

Нормальная работа многоступенчатого компрессора возможна при выполнении следующих требований:

воздух во всех промежуточных холодильниках должен охлаждаться до температуры всасывания в I ступени;

конечная температура сжатия во всех ступенях должна быть одинаковой.

Степень сжатия в каждом цилиндре многоступенчатого компрессора обычно принимается одинаковой, так как при этом расход мощности на каждую ступень будет одинаковым.

При выполнении этих условий справедливы равенства:

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= p_2/p_1 = (T_2/T_1)^{(k-1)/k}; & \epsilon_2 &= p_3/p_2 = (T_2/T_1)^{(k-1)/k}; \\ \epsilon_3 &= p_4/p_3 = (T_2/T_1)^{(k-1)/k}; & \epsilon_1 &= \epsilon_2 = \epsilon_3. \end{aligned}$$

Для трехступенчатого компрессора

$$\epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_3 = \epsilon^3 = p_2 p_3 p_4 / (p_1 p_2 p_3) = p_4/p_1 = p_{\text{кон}}/p_{\text{нач}};$$

для компрессора с z ступенями

$$\epsilon^z = p_{z+1}/p_1,$$

где p_{z+1} — давление на входе компрессора.

Из этого выражения следует, что степень сжатия

$$\epsilon = \sqrt[z]{p_{z+1}/p_1}.$$

Число ступеней компрессора z выбирается таким, чтобы степень сжатия в каждой из них не превышала четырех (для крупных компрессоров). Температура, возникающая в цилиндрах компрессора при такой степени сжатия, не превышает 165°C , что обеспечивает надежную смазку. В небольших компрессорах допускается большая степень сжатия в одной ступени.

В связи с тем, что в каждой последующей ступени объем воздуха уменьшается, объем цилиндров компрессора для каждой последующей ступени должен быть меньше во столько раз, во сколько раз сжимается воздух:

$$V_1/V_2 = V_2/V_3 = V_3/V_4 = \epsilon.$$

Анализ диаграммы процесса многоступенчатого сжатия (см. рис. 74) показывает, что если бы сжатие воздуха было произведено в один прием по линии $1-e$, то площадь диаграммы ($a-1-e-d-a$) была бы больше, чем площадь диаграммы многоступенчатого сжатия ($a-1-2-3-4-5-6-d-a$). Поэтому работа, затраченная при многоступенчатом сжатии, меньше, чем при одноступенчатом, на заштрихованную площадь. Выигрыш в затрате работы при многоступенчатом сжатии может быть довольно значительным.

§ 108. Подача компрессора

На действительный рабочий процесс оказывает влияние нагрев воздуха в компрессоре от соприкосновения с горячими поверхностями клапанов, цилиндров и поршней, а также утечки воздуха через сальники, клапаны и др. Вследствие этого действительный объем воздуха, подаваемого компрессором, меньше засасываемого воздуха.

Отношение действительного объема V воздуха, подаваемого компрессором за один ход поршня и приведенного к начальным условиям, к рабочему объему V_1 цилиндра, называется коэффициентом подачи компрессора

$$\lambda = V/V_1.$$

Подача $Q_{вс}$ [$\text{м}^3/\text{мин}$], отнесенная к условиям всасывания для компрессора простого действия

$$Q_{вс} = Fsn\lambda; \quad (55)$$

для компрессора двойного действия

$$Q_{вс} = (2F - f)sn\lambda, \quad (56)$$

где F — площадь рабочих сторон поршня (для компрессора простого действия — площадь одной стороны; для компрессора двойного действия — площадь обеих сторон минус площадь f штока), м^2 ; s — длина хода поршня, м ; n — число двойных ходов поршня в минуту, т. е. частота вращения кривошипа, мин^{-1} ; λ — коэффициент подачи компрессора.

Подача Q_n [$\text{м}^3/\text{мин}$] компрессора, отнесенная к условиям окружающей среды,

$$Q_n = Q_{вс} T_0 p_{вс} / (T_{вс} p_0),$$

где T_0 и p_0 — соответственно температура и давление воздуха во всасывающем патрубке при нормальных условиях; $T_{вс}$ и $p_{вс}$ — то же, при действительных условиях.

Если компрессор выполнен по многоцилиндровой схеме, то для определения общей подачи необходимо подачу одного цилиндра, определенную по формуле (55) или (56), умножить на число цилиндров z .

§ 109. Регулирование подачи компрессора

Давление воздуха в сети устанавливается в зависимости от расхода его потребителями и подачи в сеть компрессорами. Это давление постоянно, если расход воздуха потребителями, включая утечки в сети, равен подаче компрессоров. Если расход воздуха больше, чем подача компрессора, то давление в сети соответственно уменьшается до значения, при котором подача воздуха в сеть будет равна расходу, так как с уменьшением давления уменьшается его расход потребителями и увеличивается подача компрессора. Уменьшение давления в сети ниже нормального приводит к понижению эффективности работы воздухоприемников.

При временной избыточной подаче воздуха в сеть, связанной с прекращением его расходования частью потребителей, давление увеличивается, что нежелательно, так как приводит к перерасходу электроэнергии и увеличивает износ оборудования; при этом срабатывает предохранительный клапан и сжатый воздух выпускается в атмосферу.

В связи с этим возникает необходимость регулирования подачи компрессора, которое может быть прерывистым, ступенчатым и плавным. Регулировать подачу поршневых компрессоров можно одним из следующих способов.

Остановка компрессора — наиболее простой и экономичный способ регулирования. Частота включений зависит от объема воздухохраника и сети. Этот способ регулирования применяется в компрессорах с малой подачей, работающих от асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Изменение частоты вращения. При использовании электродвигателей этот способ не применяется, так как требует сложных схем регулирования; он применим, если привод осуществляется от двигателя внутреннего сгорания.

Полное или частичное принудительное открывание всасывающих клапанов. При таком регулировании достигается длительное сообщение цилиндров I ступени с атмосферой и цилиндров II ступени с промежуточным холодильником. Это приводит к полному или частичному переводу компрессора на холостой ход. При полном открывании всасывающих клапанов сжатия воздуха в цилиндре не происходит и засасываемый воздух снова выталкивается во всасывающий трубопровод. Если всасывающие клапаны закрываются не полностью, или только на части хода поршня, то подача воздуха уменьшается. Регулирование открыванием всасывающих клапанов широко применяется в поршневых компрессорах с малой и средней подачей.

Дросселирование во всасывающем трубопроводе. В связи с тем, что при дросселировании давление всасывания p_1 уменьшается, а давление нагнетания остается неизменным, степень

сжатия $\varepsilon = p_1/p_2$ увеличивается, объемный коэффициент и подача компрессора при этом уменьшается. Вследствие повышения степени сжатия увеличивается расход энергии на 1 кг сжатого воздуха. Поэтому применение указанного способа регулирования неэкономично.

Подключение дополнительного вредного пространства. Дополнительные объемы вредного пространства размещаются в корпусе цилиндра компрессора, но могут быть и выносного типа в виде баллонов. Подключая дополнительные вредные пространства различного объема можно ступенчато регулировать подачу воздуха — вплоть до полного его прекращения.

Увеличение объема E вредного пространства, как следует из зависимостей (53) и (54), уменьшает объемный коэффициент компрессора и, следовательно, подачу компрессора. При этом удельный расход энергии, как было показано ранее, не увеличивается. Такой способ регулирования наиболее целесообразен и применяется в компрессорах с большой подачей.

§ 110. Мощность и кпд компрессора

Мощность на валу компрессора определяется двумя способами: по теоретической мощности при изотермическом или адиабатном сжатии или по индикаторной диаграмме, снятой при испытании компрессора.

Теоретическая мощность N_T [кВт] поршневого компрессора, имеющего подачу $Q_{вс}$ [м³/мин] при удельной теоретической работе L [Дж], определенной по изотермическому или адиабатному процессу сжатия и отнесенной к 1 м³ всасываемого воздуха

$$N_T = L Q_{вс} / (60 \cdot 1000).$$

Теоретическая работа при адиабатном процессе сжатия определяется по формуле (51), а при изотермическом — по формуле (52).

Индикаторной называют мощность N_i , развиваемую в цилиндре компрессора:

$$N_i = N_T / \eta_i = L Q_{вс} / (60 \cdot 1000 \eta_i),$$

где η_i — индикаторный кпд компрессора, учитывающий увеличение потребляемой мощности в результате отклонения действительного процесса сжатия от теоретического.

Индикаторным кпд компрессора называют отношение теоретической мощности к индикаторной

$$\eta_i = N_T / N_i. \quad (57)$$

В зависимости от того, какой процесс сжатия (изотермический или адиабатный) был принят при определении теоретической работы и мощности компрессора, следует различать изо-

термический кпд $\eta_{i\text{ из}}$ и адиабатный кпд $\eta_{i\text{ ад}}$. В расчетах принимают $\eta_{i\text{ из}}=0,62\div 0,8$; $\eta_{i\text{ ад}}=0,9\div 0,94$.

Мощность $N_{\text{в}}$ [кВт] на валу компрессора

$$N_{\text{в}} = N_i / \eta_{\text{м}} = L Q_{\text{вс}} / (60 \cdot 1000 \eta_i \eta_{\text{м}}), \quad (58)$$

где $\eta_{\text{м}}=0,85\div 0,95$ — механический кпд компрессора, учитывающий механические потери (трение поршня, крейцкопфа, вала в подшипниках и т. д.).

Коэффициентом полезного действия $\eta_{\text{к}}$ компрессора называют отношение теоретической мощности к мощности на валу компрессора:

$$\eta_{\text{к}} = N_{\text{т}} / N_{\text{в}}.$$

С учетом зависимостей (57) и (58)

$$\eta_{\text{к}} = \eta_i \eta_{\text{м}}.$$

Отсюда следует, что полный кпд компрессора зависит от того, какой процесс сжатия был принят, т. е. от значений $\eta_{i\text{ из}}$ или $\eta_{i\text{ ад}}$.

Мощность $N_{\text{дв}}$ на валу двигателя компрессора

$$N_{\text{дв}} = K N_{\text{в}} / \eta_{\text{пер}},$$

где $K=1,1\div 1,12$ — коэффициент запаса мощности; $\eta_{\text{пер}}$ — кпд передачи. При ременной передаче $\eta_{\text{пер}}=0,9\div 0,85$; при зубчатой $\eta_{\text{пер}}=0,85\div 0,92$.

Кпд компрессорной установки определяется с учетом кпд компрессора $\eta_{\text{к}}$, передачи $\eta_{\text{пер}}$ и двигателя $\eta_{\text{дв}}$, т. е.

$$\eta_{\text{у}} = \eta_{\text{к}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{дв}}.$$

Индикаторная мощность компрессора может быть определена по площади индикаторной диаграммы, снятой при испытании. Для одноступенчатого компрессора простого действия индикаторная мощность N_i [кВт]

$$N_i = p_i F s n / 60 \cdot 1000, \quad (59)$$

где p_i — среднее индикаторное давление, Па; F — площадь поршня, м^2 ; s — ход поршня, м; n — число двойных ходов поршня в минуту, т. е. частота вращения кривошипа, мин^{-1} .

Среднее индикаторное давление

$$p_i = F_{\text{и}} / (M l),$$

где $F_{\text{и}}$ — площадь индикаторной диаграммы, мм^2 ; M — масштаб пружины индикатора, т. е. масштаб ординат индикаторной диаграммы, мм/Па ; l — длина индикаторной диаграммы, мм.

Для компрессора двойного действия в формулу (59) вместо площади поршня F подставляют $(2F - f)$ — площадь обеих сторон поршня минус площадь f штока.

Для многоступенчатого компрессора индикаторная мощность равна сумме индикаторных мощностей всех ступеней.

Индикаторная диаграмма записывается с помощью индикатора давления, который присоединяется к цилиндру испытываемого компрессора.

§ 111. Конструкции поршневых компрессоров

Стационарные пневматические установки обогатительных фабрик оборудуются преимущественно двухступенчатыми поршневыми компрессорами, поскольку для большинства потребителей требуется избыточное давление сжатого воздуха не выше 0,8 МПа. По расположению цилиндров двухступенчатые поршневые компрессоры подразделяются: на горизонтальные, горизонтальные оппозитные, вертикальные, с прямоугольным и с V-образным расположением цилиндров в вертикальной плоскости. В последнее время все большее распространение получают оппозитные компрессоры. Так, для установки на крупных и средних компрессорных станциях применяются поршневые компрессоры 4М10-100/8 и 2М10-5/8.

Технические характеристики компрессоров

Типоразмер	4М10-100/8	2М10-50/8
Подача (при абсолютном давлении всасывания 0,1 МПа и 0 °С), м³/мин	100	50
Абсолютное давление, МПа:		
всасывания	0,1	0,1
нагнетания	0,9	0,9
Частота вращения вала, мин⁻¹	500	500
Ход поршня, мм	220	220
Число цилиндров:		
I ступень	2	1
II ступень	2	1
Мощность, кВт	535	270
Расход масла для смазки цилиндров и сальников, г/ч	252	140
Расход охлаждающей воды, м³/ч	14,1	10
Масса, т	10,5	7,6
Электродвигатель:		
тип	СДК-17-26-12К	СДК-14-31-12
мощность, кВт	630	320
напряжение, кВ	6	6
частота вращения, мин⁻¹	500	500

Компрессор 4М10-100/8 выполнен на оппозитной многорядной базе. Марка компрессора означает: 4 — число рядов; М — многорядная база; 10 — поршневая сила одного ряда; кН — (поршневой силой называют сумму действующих на поршень сил, обусловленных давлением воздуха в цилиндре, инерцией движущихся возвратно-поступательно масс и трением этих масс); 100 — подача компрессора, м³/мин; 8 — конечное избыточное давление, равное 0,8 МПа.

Кривошипно-шатунная группа компрессора выполнена таким образом, что кривошипы смежных рядов сдвинуты на 180° и имеют взаимно-противоположное (оппозитное) движение. Противоположное направление и равенство сил инерции обеспечивают полную уравновешенность движущихся масс. Это позволило применить приводной электродвигатель с частотой вращения $n=500 \text{ мин}^{-1}$ и отказаться от маховика. В свою очередь, относительно высокая быстроходность компрессора способствовала уменьшению его размеров и массы.

Подача компрессора регулируется автоматически — перепуском воздуха из полости сжатия в полость всасывания.

Компрессор имеет две автономные системы смазки: механизма движения — циркуляционная шестеренным насосом; цилиндров и сальников — принудительная многоплунжерным насосом (лубрикатором).

Для устранения резонансных явлений, возникающих во всасывающем и нагнетательном трубопроводах, компрессор оборудован буферными емкостями, которые сглаживают пульсирующую подачу воздуха.

Основные узлы и детали компрессоров 4М10-100/8 и 2М10-50/8 унифицированы, что является преимуществом их по сравнению с ранее выпускаемыми компрессорами.

Для стационарных пневматических установок применяют *модернизированные компрессоры* типа ВП (воздушный, прямоугольный). Основные узлы и детали компрессоров этого типа также унифицированы. На некоторых обогатительных фабриках помимо двухступенчатых компрессоров находят применение трехступенчатые компрессоры ВП-20/18 и ВП-20/35.

Технические характеристики компрессоров типа ВП

Типоразмер	302ВП-10/8	202ВП-20/8	305ВП-30/8	205ВП-20/18	205ВП-20/35
Подача (при абсолютном давлении всасывания 0,1 МПа и 0°C), $\text{м}^3/\text{мин}$	10	20	30	20	20
Абсолютное давление, МПа:					
всасывания	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
нагнетания	0,9	0,9	0,9	1,9	3,6
Частота вращения вала, мин^{-1}	735	735	500	500	500
Число ступеней сжатия	2	2	2	3	3
Мощность, кВт	60	125	150	300	500
Расход охлаждающей воды при 20°C , $\text{м}^3/\text{ч}$	3	3	4,5	6	7,5
Общая масса установки, т	3,06	6,415	7,8	10	12

Число 20 (30) перед буквенным индексом обозначает вторую (третью) модернизацию компрессора; 2 (5) — типоразмер базы, характеризуемый условием, действующим на шток [10^4 Н]; цифры в числителе после буквенного индекса — подачу компрессора [$\text{м}^3/\text{мин}$], а в знаменателе — избыточное давление [МПа].

В качестве передвижной пневматической установки можно применять *шахтную воздушную компрессорную станцию ШВКС-5*. Поршневой двухступенчатый компрессор станции имеет четыре V-образно расположенных цилиндра. Подача компрессора 5 м³/мин; избыточное давление 0,7 МПа; мощность электродвигателя 34 кВт; охлаждение цилиндров и промежуточного холодильника воздушное, обеспечиваемое специальным вентилятором.

Глава 26

ТУРБОКОМПРЕССОРЫ И ТУРБОВОЗДУХОДУВКИ

§ 112. Основы рабочего процесса и принцип действия

Турбокомпрессоры и турбовоздуходувки, как и центробежные насосы, относятся к лопастным машинам (турбомашинам). Сжатие и нагнетание воздуха в них происходит также в результате динамического воздействия на его поток лопастей вращающегося колеса. Поэтому основы теории лопастных насосов, изложенные в гл. 21, справедливы для турбокомпрессоров. Воспользуемся основным уравнением (32) центробежного насоса для одного колеса идеального турбокомпрессора.

Учитывая зависимость между давлением p [МПа] и теоретическим напором H_T [м], получаем приращение давления в одном колесе турбокомпрессора:

$$\Delta p = \rho g H_T = \rho u_2 c_{u2},$$

где ρ — средняя для одного колеса плотность сжимаемого воздуха, кг/м³.

Анализ последнего уравнения показывает, что для получения большого приращения давления необходимо увеличить окружную скорость рабочего колеса. В современных турбокомпрессорах значения окружной скорости достигают 300—500 м/с, а в турбовоздуходувках — 150—200 м/с. Но даже такая большая окружная скорость не позволяет получить степень сжатия ϵ в одной ступени более 1,6, что объясняется тем, что плотность воздуха значительно меньше плотности жидкости. Поэтому высокое давление воздуха достигается последовательной работой нескольких ступеней. Обозначив общую конечную степень сжатия ϵ , а сжатие в одной ступени ϵ_1 , определим число ступеней z из зависимости $\epsilon = \epsilon_1^z$:

$$z = \lg \epsilon / \lg \epsilon_1.$$

В турбокомпрессорах для получения конечного избыточного давления 0,8 МПа требуется от 5 до 20 ступеней; в турбовозду-

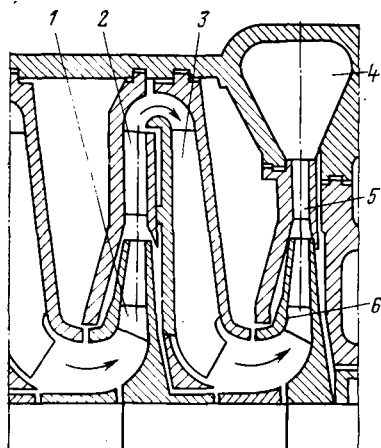


Рис. 75. Схема промежуточной и концевой ступеней турбокомпрессора

ходовках для получения избыточного давления 0,3 МПа требуется до четырех ступеней. Ступени могут быть промежуточными и концевыми. Разница между промежуточной и концевой ступенью заключается в том, что после концевой ступени воздух охлаждается, а после промежуточной нет.

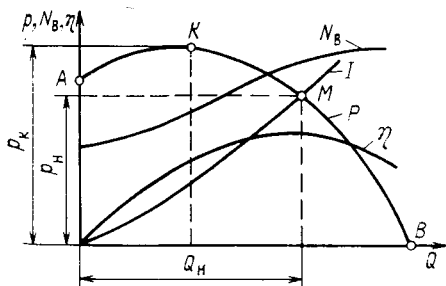
Воздух, засасываемый в каналы 1 (рис. 75) рабочего колеса промежуточной ступени, увлекается во вращательное движение с большой окружной скоростью и, выходя из колеса, поступает в неподвижный канал-диффузор 2, где происходит частичное преобразование динамического напора в статический. Затем воздух попадает в обратный направляющий аппарат 3, предназначенный для раскручивания воздушного потока перед входом в следующую ступень, а из него — в рабочее колесо 6 концевой ступени и через диффузор 5 в нагнетательную камеру 4.

В связи с тем, что с повышением давления воздуха объем его уменьшается при переходе от одного колеса к другому, последующие колеса выполняются меньшей ширины и меньшего диаметра.

При увеличении давления в ступенях турбокомпрессора повышается температура воздуха, что влечет за собой увеличение затрачиваемой работы и, следовательно, ухудшение экономичности работы. Поэтому требуется охлаждение воздуха по мере прохождения его через рабочие колеса. Существуют два способа охлаждения: внутреннее — с помощью водяной рубашки корпуса, окружающей рабочие колеса, диффузоры и направляющие аппараты, и внешнее, осуществляемое в выносных промежуточных холодильниках.

Специального охлаждения турбовоздухודувок не применяют, поэтому можно считать, что процесс сжатия в них происходит по адиабате.

Рис. 76. Характеристики турбокомпрессора



Процесс сжатия воздуха в турбокомпрессоре происходит также без отвода тепла и даже с подводом его, что объясняется дополнительным выделением тепла от интенсивного трения рабочих колес, вращающихся с большой скоростью в атмосфере газа. Поэтому показатель адиабаты $k=1,5 \div 1,6$, т. е. протекает сверхадиабатный процесс. Мощность N [кВт] на валу турбовоздуходувки или турбокомпрессора определяется, исходя из адиабатного процесса сжатия

$$N = p_1 V_1 [(p_2/p_1)^{(k-1)/k} - 1] k / [(k-1) 1000 \eta_{ад}],$$

где V_1 — подача по всасываемому воздуху, $\text{м}^3/\text{с}$; $\eta_{ад}=0,6 \div 0,75$ — полный адиабатный кпд, представляющий собой отношение адиабатной работы сжатия к работе на валу компрессора.

§ 113. Характеристики турбокомпрессоров

Зависимость между подачей Q и давлением p при постоянной частоте вращения n представленную графически, называют напорной характеристикой турбокомпрессора. Действительную напорную характеристику турбокомпрессора так же, как и центробежного насоса, строят на основании опытных данных; получаемых в результате испытаний на специальных стендах или в производственных условиях.

При испытаниях помимо зависимости $p=f_1(Q)$ строят кривые зависимости мощности на валу турбокомпрессора от подачи $N_b=f_2(Q)$ и кпд от подачи $\eta=f_3(Q)$. Все эти кривые снимают при постоянной частоте вращения, соответствующие зависимости называют эксплуатационными характеристиками турбокомпрессора.

На рис. 76 приведены характеристики турбокомпрессора и сети (кривая I), на которую он работает. Режим работы турбокомпрессора (точка M) отличается от режима работы других турбомашин непостоянством расхода сжатого воздуха в сети, который зависит от работы потребителей. Изменение расхода воздуха потребителями автоматически вызывает изменение по-

дачи турбокомпрессора, так как с увеличением расхода уменьшается давление и, следовательно, согласно характеристике увеличивается его подача. При отсутствии сопротивления сети, т. е. при работе турбокомпрессора «на выброс», его подача достигает максимального значения (точка B).

Характеристика турбокомпрессора $p=f_1(Q)$ точкой K делится на две части: AK — неустойчивая зона работы турбокомпрессора, KB — устойчивая зона работы турбокомпрессора. В точке K , называемой критической, турбокомпрессор создает максимальное давление p_k . Необходимо, чтобы режим работы турбокомпрессора находился в зоне устойчивой работы, т. е. правее точки K , так как при переходе рабочего режима влево от точки K возникает помпаж. Это явление характеризуется чередованием прекращения и возобновления подачи воздуха в сеть и пульсацией давления и сопровождается вибрациями компрессора и воздухопроводов. Возникновение помпажа объясняется следующим образом. Если расход воздуха в сети уменьшается настолько, что рабочая точка M переместится левее критической точки K , давление, развиваемое турбокомпрессором, упадет до $p < p_k$. Компрессор прекратит подачу воздуха в сеть до тех пор, пока давление в сети установится меньше p_k , т. е. точка M вновь не переместится правее точки K . Это явление может периодически повторяться, в результате чего в сети возникают пульсации подачи и давления. Для борьбы с помпажем турбокомпрессоры оборудуют противопомпажными клапанами, которые обеспечивают автоматический выброс части сжатого воздуха в атмосферу при приближении рабочего режима к критической точке.

Рабочий режим турбокомпрессора (точка M) следует выбирать таким, чтобы его подача Q_n и давление p_n соответствовали максимальному КПД.

§ 114. Регулирование турбокомпрессоров

Подачу и давление турбокомпрессоров регулируют в целях поддержания их значений на определенном уровне. Изменение подачи и давления в основном зависит от работы потребителей воздухопроводной сети, к которой подключен турбокомпрессор. Так, увеличение потребления сжатого воздуха приводит к снижению давления в сети и увеличению подачи компрессора, а уменьшение расхода воздуха в сети — к повышению давления и снижению подачи компрессора.

Регулирование работы турбокомпрессоров для поддержания требуемой подачи производят следующими способами.

Дросселирование воздуха во всасывающем патрубке. В этом случае характеристика турбокомпрессора изменяется в результате понижения давления засасываемого воздуха, которое осу-

Рис. 77. Регулирование рабочего режима турбокомпрессора дросселированием

ществляется с помощью дроссельной заслонки. На рис. 77 показаны характеристики турбокомпрессора: *I* — при отсутствии дросселирования; *II* и *III* — при различной степени дросселирования; *IV* — характеристика сети. Кривые *II'* и *III'* показывают изменение начального давления вследствие прикрывания дроссельной заслонки. Степень уменьшения конечного давления зависит от уменьшения давления воздуха на всасывании.

При постоянных температуре и объеме всасываемого воздуха справедливы следующие зависимости:

$$Q_1 = Qp'_0/p_0; \quad p_1 = pp'_0/p_0; \quad N_1 = Np'_0/p_0,$$

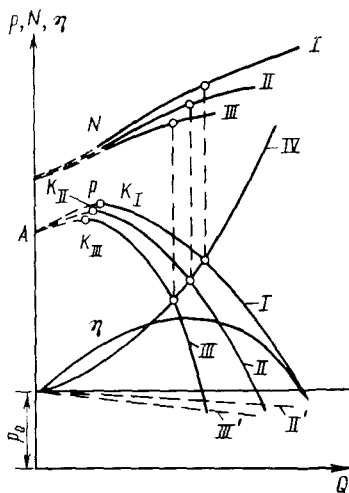
где Q и Q_1 — подача, отнесенная к атмосферным условиям, соответственно без дросселирования и при дросселировании; p и p_1 — соответственно конечные давления без дросселирования и при дросселировании; p_0 и p'_0 — начальные давления соответственно без дросселирования и при дросселировании; N и N_1 — мощность соответственно без дросселирования и при дросселировании.

На основании приведенных зависимостей по заданной характеристике турбокомпрессора можно построить характеристики при дросселировании на всасывающем патрубке.

При таком способе регулирования уменьшается зона неустойчивой работы компрессора, так как критическая точка K_1 перемещается влево по характеристике (токи K_{II} и K_{III} на рис. 77).

Регулирование изменением частоты вращения вала возможно, если компрессор имеет регулируемый привод. Этот способ регулирования аналогичен регулированию центробежных насосов (см. гл. 21).

Регулирование «выбросом» части сжатого воздуха в атмосферу применяют для уменьшения подачи воздуха в сеть. Способ регулирования менее экономичен, чем приведенный выше, однако диапазон регулирования шире. Осуществляется он с помощью регулятора противопомпажной защиты.



§ 115. Конструкции турбокомпрессоров и турбовоздуходувок

Турбокомпрессор К-500-61-1 (рис. 78) представляет собой одноцилиндровую центробежную машину, состоящую из корпуса 1, в котором в подшипниках 3 вращается ротор 2. Ротор состоит из вала и рабочих колес, которые объединены в три секции, по два колеса в каждой. Всасывающий 5 и нагнетательный 4 патрубки направлены вертикально вниз. В корпусе имеются расточки для установки диафрагм, диффузоров и уплотнений. Диафрагмы и диффузоры имеют горизонтальный разъем и крепятся к верхней части корпуса винтами.

На роторе компрессора помимо шести рабочих колес установлены специальные диски (думмисы), предназначенные для выравнивания осевого давления. Все элементы ротора изготовляют из высококачественной стали, обеспечивающей необходимые запасы прочности при высокой (до 11 тыс. мин⁻¹) частоте вращения. Компрессор снабжен внутренними и концевыми лабиринтными уплотнениями, уменьшающими перетечки, утечки и подсосы воздуха.

Два промежуточных холодильника размещены горизонтально под корпусом компрессора. Вал электродвигателя с валом зубчатого колеса редуктора и шестерни редуктора с валом компрессора соединены с помощью зубчатых муфт. Принудительная система маслоснабжения обеспечивает смазку подшипников, зубчатых муфт, редуктора и систем регулирования.

Преимущества турбокомпрессоров по сравнению с поршневыми: меньшие размеры и масса; большая подача; большая частота вращения, позволяющая применять быстроходные электродвигатели; равномерная подача сжатого воздуха; отсутствие воздухораспределительных клапанов; чистота подаваемого воздуха.

Недостатки турбокомпрессоров: несколько меньший кпд по сравнению с поршневыми компрессорами; наличие неустойчивой зоны работы; наличие редуктора.

Технические характеристики турбокомпрессоров

Типоразмер	К-500-61-1	К-250-61-1	К-250-61-2	ЦК-135/8	ЦК-115/9
Подача (при абсолютном давлении воздуха на всасывание 0,1 МПа и 20 °С), м ³ /мин	525	250	250	135	115
Абсолютное давление воздуха на нагнетание, МПа	0,9	0,9	0,9	0,78	0,9
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	7636	11230	10923	13645	13800
Расход охлаждающей воды на два промежуточных хо-					

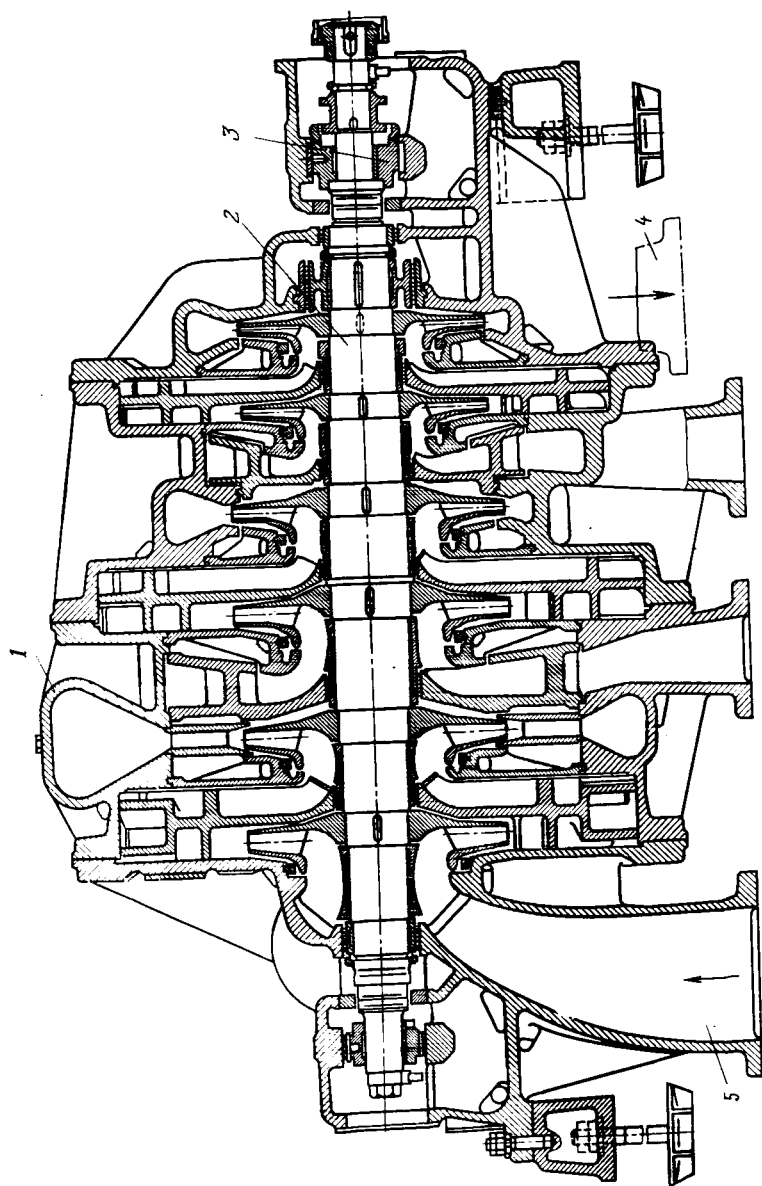


Рис. 78. Продольный разрез турбокомпрессора К-500-61-1

лодильника, м ³ /ч	320	200	200	120	120
Электродвигатель:					
тип	СТМ-3500-2	СТМ-1500-2	СТМ-1500-2	АЗМ-1000/6000	СТД 1000/6000
мощность, кВт	3500	1750	1750	1000	1000
напряжение, кВ	6	6	6	6	6
частота вращения, мин ⁻¹	3000	3000	3000	2980	2980
Мощность, кВт	2030	1450	1500	880	970
Масса, т	14,1	7,0	6,7	2,44	2,5

Турбовоздуходувка типа ТВ представляет собой литой чугунный корпус, в котором на роликовых подшипниках вращается ротор, состоящий из вала с насаженными на него рабочими колесами. Для восприятия осевого давления предусмотрен упорный шарикоподшипник. Засасываемый воздух подводится к рабочему колесу I ступени через всасывающую диафрагму, а к последующим колесам — через промежуточные диафрагмы.

Турбовоздуходувки типа ТВ применяют на обогатительных фабриках для снабжения сжатым воздухом пневмомеханических и пневматических флотационных машин, пневматических отсадочных машин, вакуум-фильтров и другого оборудования.

Технические характеристики турбовоздуходувок ТВ и турбогазодувок ТГ

Типоразмер	ТВ-80-1,6	ТВ-80-1,8	ТГ-80-1,6	ТГ-80-1,8
Поддача (при абсолютном давлении воздуха на всасывании 0,1 МПа и 20 °С), м ³ /мин	85	85	85	85
Абсолютное давление воздуха на нагнетании, МПа	0,16	0,18	0,16	0,18
Частота вращения, мин ⁻¹	2900	2900	2900	2900

Глава 27

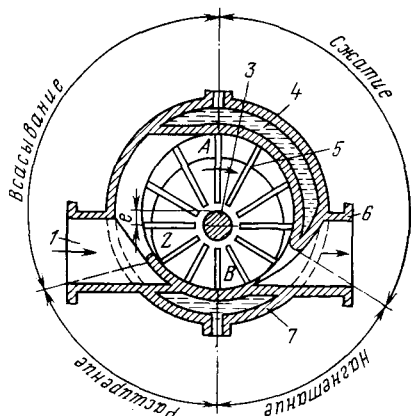
РОТАЦИОННЫЕ КОМПРЕССОРЫ

§ 116. Ротационные пластинчатые компрессоры

Ротационные пластинчатые компрессоры по принципу действия аналогичны поршневым, т. е. работают по принципу вытеснения. Конструктивное отличие заключается в том, что поршень у них заменен вращающимся ротором со вставленными в него пластинами. Сжатие воздуха происходит в результате уменьшения объема рабочих камер при вращении ротора.

Ротационный пластинчатый компрессор (рис. 79) состоит из ротора 2, в теле которого по всей длине имеются радиальные или наклонные в сторону вращения пазы со свободно вставленными в них тонкими пластинами 5. Ротор с пластинами закреплен на валу 3 с эксцентриситетом e и помещен в непо-

Рис. 79. Ротационный пластинчатый компрессор



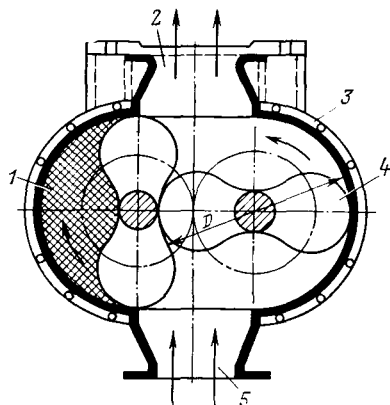
движный цилиндрический корпус 7. Сжатие воздуха, поступающего через всасывающий патрубок 1, происходит в отсеках А, ограниченных двумя соседними пластинами и поверхностями ротора и корпуса. При вращении ротора пластины вдвигаются в его пазы, обеспечивая непрерывное уменьшение рабочего объема. В нагнетательный трубопровод сжатый воздух поступает через патрубок 6. В зоне В пластины полностью утоплены в пазы ротора, который в этот момент прижат к корпусу, что исключает проникновение воздуха со стороны нагнетания в камеру всасывания. Для охлаждения компрессора предусмотрены водяные рубашки 4.

В ротационном пластинчатом компрессоре, как и в поршневом, рабочий цикл состоит из всасывания, сжатия, нагнетания и расширения. В результате того, что пластины выступают за поверхность ротора и в зоне В получается зазор (вредное пространство), заполненный сжатым воздухом, после нагнетания происходит процесс расширения. Поскольку все процессы происходят одновременно, непрерывно и при большой частоте вращения ротора ($750\text{—}1500\text{ мин}^{-1}$) подача пластинчатого компрессора осуществляется без пульсаций, что является их достоинством.

Работу, а также мощность, затрачиваемую ротационным пластинчатым компрессором, определяют по формулам, полученным для поршневого компрессора. Так как показатель n для ротационных компрессоров выше, чем для поршневых, работа и мощность их также больше, чем у поршневых.

Ротационные пластинчатые нагнетатели в зависимости от конечного давления бывают одно- и двухступенчатыми. Одноступенчатые нагнетатели, развивающие избыточное давление до 0,3 МПа, называют воздуходувками, а создающие более высокое давление (как правило двухступенчатые) — компрессорами.

Рис. 80. Ротационная воздуходувка с вращающимися поршнями



В двухступенчатых ротационных компрессорах воздух между I и II ступенями охлаждают в промежуточном холодильнике. Предельная степень сжатия у ротационных пластинчатых компрессоров меньше, чем у поршневых.

Подача Q [$\text{м}^3/\text{мин}$] ротационного пластинчатого компрессора

$$Q = 2el(\pi D - z\delta)n\lambda,$$

где e — эксцентриситет — расстояние между центрами ротора и цилиндра, м; l — длина цилиндра, м; D — диаметр цилиндра, м; z — число пластин; δ — толщина пластины, м; n — частота вращения ротора, мин^{-1} ; λ — коэффициент подачи.

Наличие вредного пространства, нагрев воздуха в зоне всасывания и утечка воздуха через зазоры между пластинами и корпусом оказывают существенное влияние на снижение коэффициента подачи, который у ротационных пластинчатых компрессоров относительно невелик ($\lambda = 0,55 \div 0,75$).

Ротационные пластинчатые компрессоры, выпускаемые отечественной промышленностью, имеют подачу от 6 до 140 $\text{м}^3/\text{мин}$.

Наибольшее распространение на обогатительных фабриках получили два типа ротационных машин: пластинчатые и с двумя вращающимися поршнями (воздуходувка Рута). Машины обоих типов применяются как компрессоры или воздуходувки, а также как вакуум-насосы. Одноступенчатый ротационный пластинчатый компрессор, работая как вакуум-насос, может создавать вакуум до 90%. В качестве низконапорных воздуходувок с избыточным давлением 0,06—0,08 МПа применяют воздуходувки Рута. Их можно также применять как вакуум-насосы, например, во всасывающих системах пневмотранспортных установок.

Принцип работы воздуходувки с вращающимися поршнями показан на рис. 80. В корпусе 3 вращаются в противоположных направлениях два поршня 4, поперечное сечение которых выпол-

нено в виде восьмерок. Такой профиль поршней позволяет им огибать друг друга с весьма малыми зазорами. Привод осуществляется с помощью зубчатой передачи. При вращении поршни непрерывно соприкасаются, разделяя объем корпуса на отдельные камеры. Воздух всасывается через всасывающий патрубок 5 и далее при повороте поршней попадает в замкнутую камеру 1 (заштрихованную на рисунке). Не меняя объема, воздух перемещается к нагнетательному патрубку 2, через который выталкивается в нагнетательный трубопровод. Таким образом не наблюдается ярко выраженного процесса уменьшения объема и сжатия воздуха. Повышение давления происходит в результате противодействия в момент, когда замкнутая камера (камера нагнетания) сообщается с системой нагнетания.

Подача Q [$\text{м}^3/\text{мин}$] воздуходувки с вращающимися поршнями

$$Q = \lambda \pi D^2 l n k / 2,$$

где $\lambda = 0,65 \div 0,85$ — коэффициент подачи; D — диаметр цилиндра, м; l — длина цилиндра, м; n — частота вращения поршней, мин^{-1} ; $k = 0,5 \div 0,6$ — коэффициент, учитывающий полезное использование поперечного сечения цилиндра (заштрихованная область на рис. 80).

Ротационные компрессоры регулируют дросселированием на всасывание, перепуском части воздуха с нагнетания на всасывание (холостой ход), изменением частоты вращения.

Ротационные компрессоры по сравнению с поршневыми обладают следующими преимуществами: небольшими размерами, позволяющими занимать меньше места при той же подаче; малой массой, позволяющей применять передвижные установки; равномерностью подачи воздуха; быстроходностью, допускающей непосредственное соединение с электродвигателем; наличие только одного обратного клапана на нагнетательном трубопроводе.

Недостатки ротационных компрессоров: сложность изготовления и ремонта; низкие механический КПД и коэффициент подачи; высокая температура сжатия воздуха; быстрый износ.

§ 117. Водокольцевые воздуходувки

Водокольцевые воздуходувки — разновидность ротационных пластинчатых компрессоров. Так как воздуходувки этого типа используются в основном для получения вакуума, они большей частью известны под названием вакуум-насосов. Такое название неточно определяет их назначение и характер процессов, протекающих в них.

Водокольцевые воздуходувки аналогичны по принципу действия и конструкции водокольцевым насосам, работа и устройство которых описаны в гл. 22 (см. рис. 67).

Подача Q [$\text{м}^3/\text{мин}$] водокольцевых воздуходувок

$$Q = \lambda \{ [(D_2 - 2a)^2 - D_1^2] \pi / 4 - z(l - a)\delta \} Ln,$$

где $\lambda = 0,96$ — коэффициент подачи; D_1 и D_2 — диаметр ротора соответственно у оснований и концов лопаток, м; a — минимальное погружение лопаток в водяное кольцо, м; l и δ — соответственно длина и толщина лопатки, м; z — число лопаток; L — длина лопатки по оси ротора, м; n — частота вращения ротора, мин^{-1} .

Одноступенчатые водокольцевые воздуходувки могут создавать давление до 0,5 МПа и обеспечивать подачу до 200 $\text{м}^3/\text{мин}$. Высокий коэффициент подачи, обусловленный надежным уплотнением зазоров жидкостью, обусловил широкое применение водокольцевых воздуходувок для создания разрежения. Лучшие образцы этих воздуходувок обеспечивают вакуум до 98%. Существенный недостаток водокольцевых воздуходувок — их низкий общий кпд, составляющий около 0,25.

Технические характеристики водокольцевых воздуходувок

Типоразмер	БК-3 (ГРМК-2)	БК-12 (ГРМК-3)	БК-12 (ГРМК-4)	БК-25 БК-50	
Подача Q , $\text{м}^3/\text{мин}$	3,6	11,5	27	25	50
Давление нагнетания p , МПа	0,14	0,21	0,21	0,15	0,15
Мощность электродвигателя N , кВт	14	40	75	75	200
Частота вращения n , мин^{-1}	1450	980	720	720	720

§ 118. Винтовые компрессоры

Винтовые компрессоры относятся, как и поршневые, к компрессорам объемного типа.

Работа винтового компрессора осуществляется следующим образом (рис. 81). В корпусе 4 компрессора вращаются два винтовых ротора: ведущий 1 и ведомый 2. Вращение ведущего ротора осуществляется через повышающий редуктор от приводного электродвигателя. При встречном вращении винтовых роторов выступы на их поверхности поочередно входят во впадины, сжимая и вытесняя из них воздух. Впадины ведущего ротора выполняют роль цилиндров, а роль поршней — выступы ведомого вала, которые, заполняя последовательно всю длину канала, образованного впадинами, постепенно сжимают воздух. При встречном вращении винтовых роторов помимо вытеснения воздуха вдоль винтовой линии наблюдается радиальное сжатие воздуха во впадинах ведущего ротора. Необходимая степень сжатия воздуха в винтовом канале достигается выбором шага винтовой линии и местоположения отводящего канала 3. Винтовые компрессоры, как и пластинчатые, имеют постоянную

внутреннюю степень сжатия, не зависящую от давления в нагнетательном патрубке.

Для охлаждения сжимаемого воздуха и уплотнения зазоров в рабочие полости роторов подают масло с помощью двухсекционного шестеренного насоса. Масло отделяется от воздуха в воздухоотборнике, из которого оно поступает в трубчатый холодильник и далее к фильтру. В винтовых компрессорах с сухим сжатием воздух охлаждается с помощью водяных рубашек в корпусе компрессора, а также промежуточного и конечного холодильников. Компрессоры этого типа изготавливают двухступенчатыми.

Подача Q [$\text{м}^3/\text{мин}$] винтового компрессора

$$Q = \lambda (F_1 + F_2) L z n,$$

где $\lambda = 0,85 \div 0,92$ — коэффициент подачи; F_1 и F_2 — площадь поперечного сечения винтовых впадин соответственно ведущего и ведомого роторов, м^2 ; L — длина роторов, м; z — число впадин; n — частота вращения ведущего ротора, мин^{-1} .

Винтовые компрессоры могут обеспечивать подачу $3\text{—}250 \text{ м}^3/\text{мин}$ при конечном давлении $0,3 \text{ МПа}$ (для одноступенчатых) и до $1,1 \text{ МПа}$ (для двухступенчатых). Частота вращения роторов колеблется в пределах $3\text{—}30 \text{ тыс. мин}^{-1}$.

Основные преимущества винтовых компрессоров: небольшие массы и размеры; отсутствие клапанов; высокая динамическая уравновешенность; равномерная подача воздуха.

Основные недостатки винтовых компрессоров: сложность изготовления и ремонта, большой уровень шума при неблагоприятном спектре его частоты.

За последние годы винтовые компрессоры находят все более широкое применение в народном хозяйстве, в том числе и на обогащательных фабриках. Так, ши-

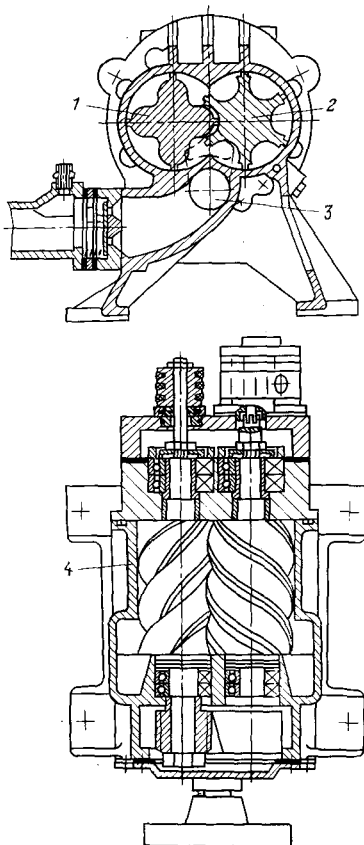


Рис. 81. Винтовой компрессор

роко распространенная передвижная пневматическая установка ЗИФ-ШВ-5 оборудована винтовым компрессором (см. рис. 81).

Технические характеристики винтовых компрессоров

Типоразмер	6ВКМ-25/8	6ВКМ-13/8	ВКШ-11	ЗИФ-ШВ-5
Подача (при абсолютном давлении воздуха на всасывании 0,1 МПа и 0°C), м³/мин	25	12,5	25	5
Абсолютное давление, МПа:				
всасывания	0,1	0,1	0,1	0,1
нагнетания	0,9	0,9	0,9	0,9
Частота вращения ведущего ротора, мин⁻¹	2970	1470	2960	1470
Мощность компрессора, кВт	150—155	80—85	134	33—35
Электродвигатель:				
тип	BAO-102-2	BAO-92-4	BAO-102-2	BAO-81-4
мощность, кВт	260	100	160	40
напряжение, В	660	660	660	380/660
частота вращения, мин⁻¹	2970	1470	2960	1470
Расход масла, уносимого с нагнетаемым воздухом, г/ч	100	100	—	20
Расход воды (для варианта с водяным охлаждением), м³/ч	10—12	4—5	—	—
Масса, кг	584	584	670	180,5

Глава 28

ВОЗДУХОПРОВОДНАЯ СЕТЬ

§ 119. Устройство воздухопроводной сети

Воздухопроводная сеть обогатительной фабрики, по которой осуществляется подача сжатого воздуха от стационарной пневматической установки к потребителям, представляет собой разветвленную систему воздухопроводов. От пневматической установки к отдельным цехам прокладывается магистральный воздухопровод, от которого идут распределительные воздухопроводы к потребителям внутри цехов. Магистральные воздухопроводы на поверхности прокладываются на опорах или под землей в специальных траншеях.

Помимо стальных труб в последнее время для воздухопроводов находят применение трубы из полимеров, а также плоские трубы. Трубы из полимеров обладают малым сопротивлением и более устойчивы против агрессивных примесей, содержащихся в сжатом воздухе.

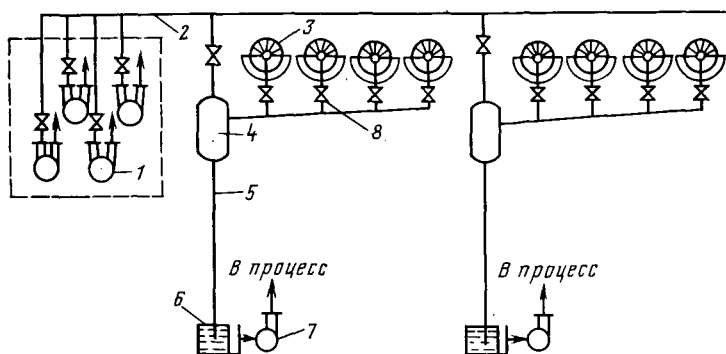


Рис. 82. Схема централизованной вакуумной системы

Вакуум-сеть. На обогатительных фабриках сгущенные продукты и флотационные концентраты с высоким содержанием твердого подвергают фильтрованию обычно на вакуум-фильтрах непрерывного действия. Потребная подача вакуум-насосов и воздуходувок зависит от типа фильтра. Удельный расход воздуха при фильтровании составляет, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$: на барабанных фильтрах 0,5—2 для вакуум-насосов и 0,1—0,4 для воздуходувок; на дисковых фильтрах 0,4—0,8 для вакуум-насосов, 0,05—0,25 для воздуходувок.

При выборе схемы компоновки оборудования фильтровальных установок необходимо учитывать такой немаловажный фактор, как способ отвода фильтрата из ресиверов. Существуют два способа отвода фильтрата — самотечный и принудительный с помощью центробежных насосов.

В зависимости от схемы подключения вакуум-насосов к фильтрам вакуум-системы делятся на общую (централизованную), групповую и индивидуальную. На рис. 82 приведена схема централизованной вакуумной системы. При такой схеме все вакуум-насосы 1 установлены в одном помещении и подключены к общему вакуум-проводу 2, проходящему вдоль фильтровального отделения. Группы вакуум-фильтров 3 (4—6 шт.) через ресивер 4 (8 — задвижки) присоединяют к общему вакуум-проводу. Для отдувания осадка к фильтру от воздуходувки подводят сжатый воздух под давлением около 0,1 МПа. На рис. 82 воздуходувка и ее воздухопровод не показаны; 5 — барометрическая труба; 6 — гидрозатвор; 7 — насос.

При групповой вакуум-системе каждую группу фильтров подключают к вакуум-насосам через изолированный вакуум-провод. Основной недостаток централизованной и групповой схем — недостаточный вакуум у отдаленных фильтров.

При индивидуальной системе каждый фильтр обслуживает свой вакуум-насос. Недостаток схемы — вакуум-насосы рассредоточены по всему фильтровальному отделению. Находят применение и другие разновидности указанных схем.

§ 120. Расчет воздухопроводной сети

Расчет воздухопроводной сети заключается в выборе диаметра труб и определении потерь давления в ней.

Давление в сети уменьшается, во-первых, вследствие утечек сжатого воздуха через неплотности в соединениях труб и, во-вторых, вследствие сопротивления при движении воздуха по воздухопроводу.

Утечки сжатого воздуха через неплотности в сети зависят от геометрических размеров воздухопроводов (длины и диаметра), числа и качества соединений труб. При проектировании воздухопроводных сетей обогатительных фабрик утечки воздуха через неплотности можно принимать в размере 15—20% расхода подаваемого по воздухопроводу воздуха или 1,2—1,5 м³/мин свободного воздуха на 1 км длины воздухопровода.

Следует иметь в виду, что давление сжатого воздуха в сети вследствие расчетных утечек воздуха не должно снижаться, так как при расчете подача пневматической установки принимается больше расхода воздуха потребителями на величину этих утечек.

Для расчета воздухопроводной сети используют ее расчетную схему с указанием потребителей сжатого воздуха и длины отдельных участков сети. На схеме также указывают арматуру (задвижки, влаго-, маслоотделители и др.).

Расход Q [м³/мин] воздуха, протекающего по участкам сети

$$Q = \alpha k_p k_o \sum_{i=1}^z q_i n_i k_{ni} k_{zi}, \quad (60)$$

где $\alpha = 1,15 \div 1,2$ — коэффициент, учитывающий утечки воздуха в воздухопроводной сети; $k_p = 1,05 \div 1,1$ — коэффициент резерва производительности, учитывающий неучтенных потребителей; k_o — коэффициент одновременности работы потребителей сжатого воздуха, зависящий от числа n потребителей ($k_o = 0,9$ при $n < 10$; $k_o = 0,8$ при $n = 10 \div 20$; $k_o = 0,7$ при $n > 20$); z — число групп однотипных потребителей; i — номер группы однотипных потребителей; q_i — номинальный расход воздуха одним потребителем данной группы, м³/мин; n_i — число однотипных потребителей; $k_{ni} = 1,15 \div 1,2$ — коэффициент, учитывающий увеличение расхода воздуха в связи с износом потребителей; $k_{zi} = 0,75 \div 1$ — коэффициент загрузки, учитывающий изменение расхода воздуха потребителями при отклонении фактической нагрузки от номинальной.

Потери давления Δp [Па] при движении сжатого воздуха

$$\Delta p = \lambda l_{\text{п}} v^2 \rho_{\text{ср}} / (2d), \quad (61)$$

где $\lambda = 0,03$ — коэффициент гидравлического сопротивления; $l_{\text{п}}$ — приведенная длина участка воздухопровода, равная сумме фактической и эквивалентной длин (эквивалентная длина учитывает сопротивления в арматуре и фасонных частях и равна 10% фактической длины), м; v — скорость движения воздуха, м/с; $\rho_{\text{ср}}$ — средняя плотность сжатого воздуха, кг/м³; d — внутренний диаметр трубопровода, м.

Выразим скорость v [м/с] движения воздуха через его расход и площадь поперечного сечения трубопровода:

$$v = 4\rho_0 Q / (60\pi d^2 \rho_{\text{ср}}), \quad (62)$$

где Q — расход воздуха при нормальных условиях, м³/мин; $\rho_0 = 1,293$ — плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³.

Определим среднюю плотность $\rho_{\text{ср}}$ [кг/м³] сжатого воздуха, считая ее одинаковой на всех участках воздухопроводной сети:

$$\rho_{\text{ср}} = p_{\text{ср}} / (RT_{\text{ср}}) = (p_{\text{ст}} + p_{\text{п}}) / (2RT_{\text{ср}}), \quad (63)$$

где $p_{\text{ср}} = (p_{\text{ст}} + p_{\text{п}}) / 2$ — среднее абсолютное давление сжатого воздуха, Па; $R = 287$ Дж/(кг·К) — газовая постоянная воздуха; $T_{\text{ср}}$ — средняя температура воздуха в сети, в расчетах принимается, что температура по всей сети одинакова и равна температуре окружающего воздуха, $T_{\text{ср}} = 293$ К (20 °С); $p_{\text{ст}}$ и $p_{\text{п}}$ — абсолютное давление соответственно у пневматической станции и потребителей, Па.

Подставляя значение скорости v из формулы (61) в формулу (60) получим

$$\Delta p = \lambda l_{\text{п}} (\rho_0 Q)^2 / (450\pi^2 \rho_{\text{ср}} d^5), \quad (64)$$

откуда

$$d = \sqrt[5]{\lambda l_{\text{п}} (\rho_0 Q)^2 / (450\pi^2 \rho_{\text{ср}} \Delta p)}. \quad (65)$$

Рассчитанный диаметр труб округляют до ближайшего большего стандартного размера и по формуле (64) определяют фактические потери давления на участках сети.

Для обогащательных фабрик принимают расчетные потери давления $\Delta p = 0,05$ МПа на всю длину воздухопровода.

Для упрощения расчетов рекомендуется пользоваться номограммой (рис. 83), по которой, зная расход воздуха Q [м³/мин], среднее абсолютное давление $p_{\text{ср}}$ [МПа] и задавшись удельными потерями давления $\Delta p_{\text{уд}}$ [Па] на 1 м приведенной длины трубопровода, можно определить диаметр труб d [мм], фактическую удельную потерю давления и скорость v [м/с] движения воздуха на участке воздухопроводной сети.

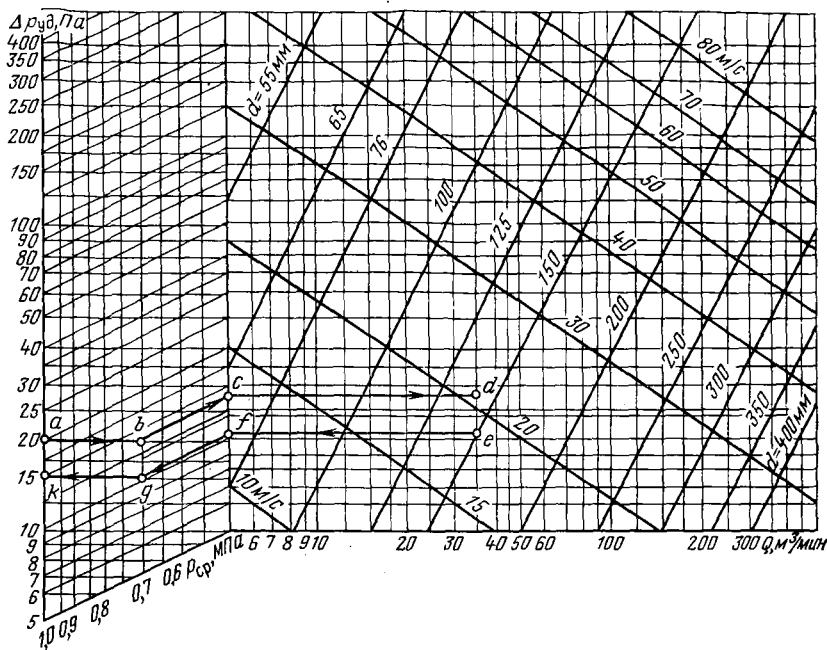


Рис. 83. Номограмма для расчета воздухопроводной сети

Пример пользования номограммой показан на рис. 83 стрелками. Дано: расход сжатого воздуха $Q=35 \text{ м}^3/\text{мин}$, среднее абсолютное давление сжатого воздуха в сети $p_{\text{ср}}=0,7 \text{ МПа}$, удельные потери давления на 1 м приведенной длины $\Delta p_{\text{уд}}=20 \text{ Па}$. По линии $abcd$ находим для расхода $Q=35 \text{ м}^3/\text{мин}$ диаметр трубы $125 < d < 150 \text{ мм}$. Принимаем ближайший больший диаметр $d=150 \text{ мм}$ (точка e) и по линии $efgh$ находим соответствующие этому диаметру удельные потери давления $\Delta p_{\text{уд}}=15 \text{ Па}$ (точка k).

Глава 29

КОМПРЕССОРНЫЕ УСТАНОВКИ

§ 121. Оборудование компрессорных установок

Потребность в сжатом воздухе на обогатительной фабрике обеспечивается в основном с помощью стационарных компрессорных установок на разветвленной сети трубопроводов. Некоторые потребители, например флотационные машины, имеют индивидуальные компрессорные агрегаты.

Компрессорной установкой называют комплекс оборудования, предназначенного для получения сжатого воздуха и

подачи его потребителям. Компрессорная установка имеет в своем составе помимо компрессора или воздуходувки вспомогательное оборудование.

К вспомогательному оборудованию относятся: фильтры, холодильники (промежуточные, последующие, конечные), воздухо-сборники, маслососы и маслопроводы, брызгальные бассейны и градирни.

Фильтры бывают металлические и матерчатые. Наиболее распространенные металлические фильтры обычно делаются секционными. Каждая секция представляет собой металлический кожух, имеющий со стороны входа и выхода воздуха сетчатые или перфорированные стенки и заполненный внутри кольцами из обрезков латунных или алюминиевых труб, покрытых висциновым маслом. При прохождении воздуха через фильтр содержащаяся в нем пыль прилипает к покрытой маслом поверхности колец. Фильтры периодически очищают от пыли промывкой и вновь заряжают маслом.

Каждая компрессорная установка должна иметь *воздухосборник*, включенный между компрессором и воздухопроводной сетью. Основное назначение воздухосборника — выравнивание колебаний давления подаваемого в сеть сжатого воздуха. Воздухосборник должен быть оборудован приспособлениями для удаления содержащегося в сжатом воздухе влаги и масла. Воздухосборник — это закрытый резервуар, чаще всего цилиндрический, оборудованный предохранительным клапаном, спускным краном и манометром. По правилам технической безопасности воздухосборник следует устанавливать вне помещения компрессорной станции. При нагревании подаваемой в цилиндр компрессора смазки летучие фракции ее испаряются и поступают с воздухом в воздухосборник, в результате чего может образоваться взрывчатая смесь, представляющая особую опасность при недостаточном охлаждении компрессора. Между компрессором и воздухосборником устанавливают обратный клапан для предотвращения обратного течения воздуха.

Объем V [м³] воздухосборника зависит от производительности компрессорной станции:

$$V \geq 1,6\sqrt{Q},$$

где Q — подача компрессоров, м³/мин.

Охлаждение компрессоров осуществляется с помощью *рубашек* и *промежуточных холодильников*. Объем охлаждающей воды составляет 3—5 л на 1 м³ воздуха при сжатии до 0,9 МПа. В качестве охлаждающих устройств применяют *градирни* и *брызгальные бассейны*. После охлаждения вода поступает в охлаждающую систему компрессора.

В качестве *привода* компрессоров и воздуходувок применяют двигатели внутреннего сгорания и электродвигатели. Двигатели

внутреннего сгорания применяют для передвижных компрессорных установок. При мощности до 200 кВт применяют короткозамкнутые асинхронные электродвигатели, при большей мощности — синхронные. Напряжение при мощности электродвигателя до 120 кВт — 380 или 660 В, свыше 120 кВт — 3 или 6 кВ.

§ 122. Проектирование компрессорных установок

На обогатительных фабриках потребителям требуется сжатый воздух с различным давлением. Часть потребителей снабжается сжатым воздухом от нагнетателей, входящих в комплект оборудования, обслуживающего определенный технологический процесс (например, процесс фильтрования). Остальные потребители снабжаются сжатым воздухом от центральной компрессорной установки, входящей в состав обогатительной фабрики или горно-обогатительного комбината.

Исходные данные для проектирования компрессорной установки: схема расположения потребителей сжатого воздуха; тип, число и технические характеристики оборудования, использующего сжатый воздух; длина участков; режим работы и годовая производительность обогатительной фабрики; стоимость электроэнергии; наличие воды для охлаждения, схема ее использования и др.

Проектирование пневматической установки производят в следующем порядке.

Определяют по формуле (60) расчетный суммарный расход сжатого воздуха и расход его на отдельных участках. Номинальный расход воздуха отдельными потребителями принимают по их технической характеристике.

Рассчитывают воздухопроводную сеть в соответствии со схемой расположения потребителей сжатого воздуха по формулам (61) — (65) или по номограмме (см. рис. 83):

по формуле (63) рассчитывают среднее абсолютное давление $p_{\text{ср}}$ сжатого воздуха в сети;

зная расход воздуха Q [м³/мин] на участках, среднее абсолютное давление $p_{\text{ср}}$ [МПа] и задавшись удельной потерей давления $\Delta p_{\text{уд.уч}} = 20 \div 40$ Па на 1 м приведенной длины трубопровода, графически определяют диаметр труб на этих участках;

определив диаметр труб, обратным построением находят действительные потери $\Delta p_{\text{уд}}$ на участках воздухопроводов;

потерю давления на отдельных участках определяют по формуле

$$\Delta p_{\text{уч}} = \Delta p_{\text{уд.уч}} l_{\text{п.уч}},$$

где $l_{\text{п.уч}}$ — приведенная длина участка воздухопровода, м.

Определяют полную потерю давления по всему воздухопроводу до наиболее удаленного потребителя:

$$\Delta p = \Sigma \Delta p_{\text{уд.уч}} l_{\text{п.уч.}}$$

Определяют давление воздуха у компрессора с учетом обеспечения рабочего давления у наиболее удаленного потребителя и по допустимой потере давления в сети:

$$p = p_{\text{пр}} + \Delta p,$$

где $p_{\text{пр}}$ — рабочее давление у наиболее удаленного потребителя, МПа.

По расчетным суммарному расходу сжатого воздуха и давлению выбирают тип компрессора и их число. Рекомендуется принимать однотипные компрессоры. Число компрессоров принимают из расчета обеспечения 25—50%-го резерва в виде одного или двух компрессоров.

Определяют объем, число и тип воздухохранилищ, а также тип, число и площадь фильтров.

Выбирают схему водоснабжения компрессорной станции, систему охлаждения и оборудование для нее (насосы, электродвигатели, охладительные сооружения и т. п.).

Определяют среднегодовой объем Q_r [м³] сжатого воздуха

$$Q_r = 60 Q k n t,$$

где Q — производительность компрессорной станции, м³/мин; $k = 0,8 \div 0,9$ — коэффициент загрузки станции; n — число дней работы станции в году; t — продолжительность работы станции в сутки, ч.

Определяют расход воздуха на единицу выпускаемой продукции, а также расход электроэнергии на производство 1 м³ воздуха.

§ 123. Эксплуатация компрессорных установок

При эксплуатации стационарных компрессорных установок необходимо соблюдать правила устройства и безопасной эксплуатации этих установок, воздухопроводов и газопроводов, а также инструкции завода-изготовителя.

Обслуживание компрессорной установки заключается в управлении компрессорными агрегатами, контроле за режимом работы компрессоров и вспомогательного оборудования, периодическом осмотре технического состояния узлов компрессоров и вспомогательного оборудования, проведении планово-предупредительного ремонта всего оборудования.

Компрессорная установка должна быть остановлена (с помощью автоматической блокировки или вручную) в случае:

превышения нормы температуры и давления по ступеням; падения ниже нормы давления масла в системе циркуляционной смазки и давления охлаждающей воды;

отключения маслососа для смазки цилиндров и сальников; повышения температуры одного из коренных подшипников выше допустимой;

появления необычных шумов и стуков;

превышения нормы температуры выходящей воды или содержания в ней газа.

Безопасная эксплуатация компрессорной установки во многом зависит от системы смазки элементов компрессора. Под влиянием высокой температуры сжатия масло подвергается термическому разложению и окислению с образованием легких углеводородов и кокса. Отложение на стенках разложившегося масла способствует дальнейшему повышению температуры сжатия, а также самовоспламенению, что может привести к взрыву и разрушению компрессора и трубопроводов.

Для предотвращения возможности вспышки или взрыва необходимо применять для смазки цилиндров компрессоров масло с высокой стойкостью против окисления и малой склонностью к образованию отложений (нагара). Для достижения этой цели необходимо также снижать температуру воздуха в сети, устанавливать маслоотделители для снижения подачи масла в сеть, не допускать излишне обильной смазки цилиндров, систематически очищать элементы установки (трубопроводы, воздухопроводы и т. п.) от отложений масла. Экономичность работы компрессора во многом зависит от состояния и правильной эксплуатации наиболее ответственных узлов и деталей (клапаны, сальники, поршневая группа, холодильники и т. п.).

Глава 30

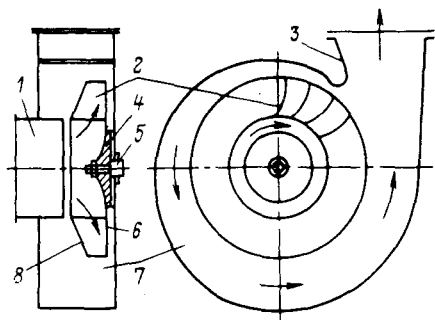
ВЕНТИЛЯТОРЫ

§ 124. Устройство, принцип действия и классификация вентиляторов

Вентиляторами называют нагнетатели, предназначенные для подачи воздуха (газа) и сжимающие его до избыточного давления не более 0,015 МПа. По принципу действия вентиляторы делят на центробежные и осевые. Центробежные вентиляторы применяют для подачи воздуха (газа) при относительно большом давлении, а осевые — если необходимо перемещать большой объем воздуха (газа) при малом давлении. Рекомендуется изготавливать центробежные вентиляторы на номинальное давление 2,5—7,1 кПа, осевые — на номинальное давление 1—4 кПа.

Центробежный вентилятор (рис. 84). Поток воздуха поступает в вентилятор через всасывающий патрубок 1 и направляет-

Рис. 84. Схема центробежного вентилятора



ется в рабочее колесо 2, которое приводится во вращение посредством вала 5. Рабочее колесо состоит из ступицы 4, на которой смонтирован ведущий диск 6 с лопастями, и ведомого кольцевого диска 8. Рабочее колесо вращается в неподвижном спиральном кожухе 7, который имеет на выходе расширяющийся патрубок 3. В некоторых вентиляторах перед входом в рабочее колесо установлен направляющий аппарат (на рис. 84 не показан) с поворотными лопатками, предназначенными для регулирования давления и расхода воздуха.

Принцип действия центробежного вентилятора аналогичен принципу действия центробежного насоса, в связи с чем на них распространяются почти все выводы и закономерности, изложенные в гл. 21.

В центробежном вентиляторе воздух (газ), поступая в осевом направлении в рабочее колесо, при его вращении под действием центробежных сил отбрасывается лопатками к периферии, приобретая при этом статическое давление $p_{ст}$, а одновременное увеличение скорости воздуха обеспечивает создание скоростного (динамического) давления $p_{дин}$. Наибольшее давление (до 6 кПа) развиваемое вентиляторами, незначительно изменяет плотность воздуха при прохождении его через центробежный вентилятор.

Осевой вентилятор (рис. 85). Рабочее колесо 1 с лопастями, монтируется непосредственно на валу электродвигателя 4, который находится в обтекателе 3 в центре воздушного потока соосно с цилиндрическим кожухом 6 вентилятора. В осевом вентиляторе поток воздуха не изменяет направление движения, параллельное оси вращения рабочего колеса. При вращении рабочего колеса с лопастями расположенными под углом к плоскости вращения и имеющими в поперечном сечении профиль крыла, возникает силовое взаимодействие лопаток с обтекающим их потоком воздуха. Частицы воздуха перемещаются из пространства перед рабочим колесом в пространство за ним благодаря энергии, передаваемой лопастями потоку воздуха.

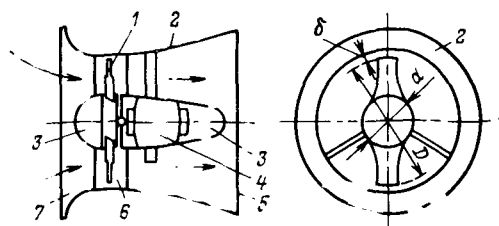


Рис. 85. Схема осевого вентилятора

Вследствие этого перед рабочим колесом возникает область пониженного давления, а за ним — повышенного. Таким образом, между входным и выходным 5 отверстиями осевого вентилятора создается разность давлений, необходимая для поддержания движения воздуха в вентиляционной сети.

Для предотвращения перетекания воздуха из области более высокого давления (диффузор 2) в область всасывания (коллектор 7) зазор δ между внешними кромками лопастей и кожухом делают минимальным, не превышающим 1,5% длины лопатки.

Рабочее колесо вентилятора состоит из втулки, на которой в специальных пазах закреплены лопасти. Лопасти могут быть поворотными или закреплены наглухо. В рабочем колесе осевого вентилятора происходит закручивание воздушного потока. Для раскручивания потока и преобразования части динамического давления в статическое после рабочего колеса устанавливают спрямляющий аппарат (на рис. 85 не показан). Он состоит из установленных в кожухе лопастей, образующих продольные каналы. В некоторых конструкциях вентиляторов перед рабочим колесом установлен направляющий аппарат. За спрямляющим аппаратом расположен кольцевой постепенно расширяющийся канал — диффузор, предназначенный для преобразования части динамического давления в статическое.

Вентиляторы классифицируют:

по быстроходности — малой ($11\text{--}30\text{ мин}^{-1}$), средней ($30\text{--}60\text{ мин}^{-1}$) и большой ($60\text{--}81\text{ мин}^{-1}$);

по давлению — низкого (до 1 кПа), среднего (1—3 кПа) и высокого (3—15 кПа);

по компоновочной схеме — одноступенчатые, двухступенчатые, двусторонние;

по назначению — общего, пылевые, крышные, тягодутьевые, шахтные и др.

§ 125. Основные закономерности

В связи с тем, что максимальное развиваемое вентиляторами давление не превышает 15 кПа, сжимаемость воздуха (газа) практически не оказывает влияния на протекающие в машине

рабочие процессы. Поэтому теоретические основы работы центробежных вентиляторов можно рассматривать по аналогии с лопастными насосами. Поскольку в формуле (32) напор выражен в метрах, а давление вентиляторов измеряется в паскалях, в эту формулу вместо $1/g$ надо ввести множитель ρ [кг/м³] — плотность воздуха.

Теоретическое давление, создаваемое колесом центробежного вентилятора, определяется по формуле (см. § 84)

$$p_T = \rho u_2 c_{2u},$$

а полное давление, создаваемое рабочим колесом вентилятора,

$$p = \eta_T p_T = \eta_T \rho u_2 c_{2u},$$

где $\eta = 0,85 \div 0,9$ — аэродинамический КПД вентилятора, учитывающий потери на конечное число лопаток, гидравлические удары и трение воздуха в каналах.

Полное давление p , создаваемое вентилятором, расходуется на преодоление сопротивлений в вентиляционной сети (статическое давление $p_{ст}$) и на сообщение потоку воздуха на выходе вентилятора некоторой скорости (динамическое давление p_d). Таким образом,

$$p = p_{ст} + p_d.$$

В свою очередь, статическое давление складывается из вакуума, создаваемого вентилятором на всасывании p_v и давления p_n , создаваемого на нагнетании:

$$p_{ст} = p_v + p_n.$$

Динамическое давление

$$p_d = \rho v^2 / 2,$$

где v — скорость воздуха (газа) в выходном патрубке вентилятора, м/с.

Полное давление, создаваемое вентилятором,

$$p = p_v + p_n + \rho v^2 / 2.$$

На основании приведенной зависимости вентиляторы по характеру их работы на внешнюю сеть можно разделить на три категории:

нагнетательный — всасывающий патрубок вентилятора открыт в атмосферу ($p_v = 0$) и тогда

$$p = p_n + \rho v^2 / 2;$$

всасывающий — нагнетательный патрубок вентилятора открыт в атмосферу ($p_n = 0$) и тогда

$$p = p_v + \rho v^2 / 2;$$

безнапорный — только перемещает воздух, не создавая разрежения на всасывании и давления на нагнетании ($p_n=0$; $p_v=0$), т. е. вентилятор не создает статического давления, тогда

$$p = \rho v^2 / 2.$$

В приведенных зависимостях, как принято в технике, полное давление p , создаваемое вентилятором, и его статическую составляющую $p_{ст}$, отсчитывают от атмосферного давления, а не от абсолютного нуля.

Подачу Q [$\text{м}^3/\text{ч}$] обычно определяют по действительным условиям всасывания или нагнетания. Она может быть также приведена к стандартным техническим условиям (см. § 103).

Мощность (полезная) N [кВт], потребляемая вентилятором

$$N = Qp / 1000.$$

Мощность $N_{ст}$ [кВт], затрачиваемая на создание статического давления

$$N_{ст} = Qp_{ст} / 1000.$$

Полная мощность N_v [кВт], потребляемая вентилятором,

$$N_v = N / \eta = Qp / (1000\eta),$$

где η — полный кпд вентилятора.

Коэффициент полезного действия (полный) вентилятора

$$\eta = \eta_o \eta_r \eta_m,$$

где η_o , η_r , η_m — соответственно объемный, гидравлический и механический кпд вентилятора.

Экономичность вентилятора при работе на всасывание оценивается статическим кпд, так как динамическое давление на выходе вентилятора теряется:

$$\eta_{ст} = N_{ст} / N_v,$$

а при работе на нагнетание — полным кпд η .

Мощность $N_{дв}$ [кВт] электродвигателя вентилятора

$$N_{дв} = KN_v / \eta_{пер} = KQp / (1000 \eta_{пер} \eta),$$

где K — коэффициент, характеризующий запас мощности на изменение режима работы вентилятора; $\eta_{пер}$ — кпд передачи.

Законы подобия, выведенные для лопастных насосов, справедливы и для вентиляторов.

§ 126. Характеристики вентиляторов и способы регулирования

По уравнению для теоретического давления вентилятора можно построить его теоретическую характеристику аналогично построению для центробежного насоса. Аэродинамические ха-

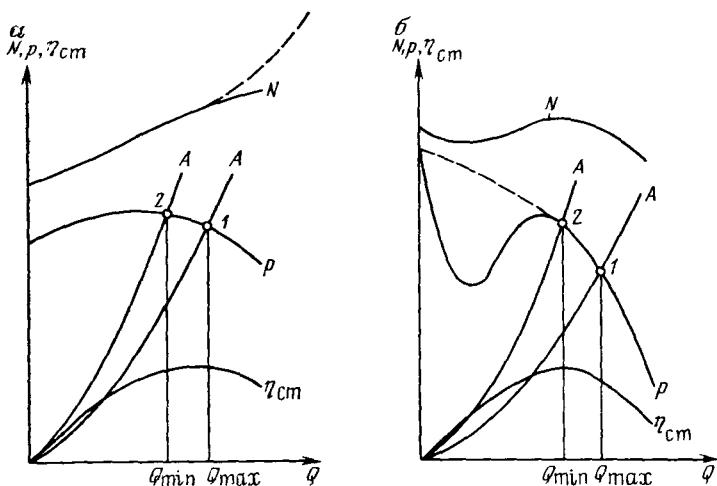


Рис. 86. Характеристики вентиляторов:
а — центробежного; б — осевого

характеристики вентиляторов бывают размерные индивидуальные, размерные универсальные и безразмерные.

Для практических целей и оценки аэродинамических качеств вентилятора пользуются действительными размерными индивидуальными характеристиками, представляющими собой графические зависимости $p=f(Q)$, $N=f(Q)$ и $\eta=f(Q)$ при постоянной частоте вращения, полученные опытным путем.

Вид характеристик центробежных вентиляторов зависит от их быстроходности и угла наклона лопаток рабочего колеса при выходе.

В зависимости от угла β_2 наклона лопаток относительно направления вращения рабочего колеса вентиляторы делятся на три типа (см. рис. 52): с лопатками, загнутыми вперед, радиальными и загнутыми назад.

Если лопатки загнуты вперед ($\beta_2 > 90^\circ$), то вентилятор обладает высоким полным давлением и низким полным кпд ($\eta < 0,67$). Вентиляторы с радиальными лопатками ($\beta_2 = 90^\circ$) развивают среднее полное давление и имеют достаточно высокий полный кпд ($\eta = 0,7 \div 0,76$). Вентиляторы с загнутыми назад лопатками обладают низким полным давлением, но имеют высокий полный кпд ($\eta = 0,8 \div 0,9$).

На рис. 86, а приведены характеристики центробежного вентилятора с лопатками рабочего колеса, загнутыми назад. Из характеристики $N=f(Q)$ следует, что максимальная мощность, потребляемая вентилятором, почти соответствует оптимальному режиму (работа с максимальным кпд) и при дальнейшем увеличении подачи потребляемая мощность увеличивается незначи-

тельно, т. е. увеличение подачи по сравнению с расчетной не вызывает заметной перегрузки электродвигателя.

У вентиляторов с лопатками рабочего колеса, загнутыми вперед, потребляемая мощность возрастает с увеличением подачи (см. рис. 86, а, штриховая линия), что вызывает значительную перегрузку электродвигателя. Указанные особенности характеристик центробежных вентиляторов необходимо учитывать при эксплуатации.

Вид характеристик осевых вентиляторов зависит от угла θ установки лопаток рабочего колеса.

При $\theta < 15 \div 20^\circ$ зависимость $p = f(Q)$ монотонно убывает (см. рис. 86, б, штриховая линия), а при $\theta > 15 \div 20^\circ$ зависимость $p = f(Q)$ имеет седлообразную форму. У осевых вентиляторов с большими углами установки лопаток рабочих колес могут возникнуть неустойчивые многозначные режимы, которые необходимо избегать при эксплуатации.

Характеристикой вентиляционной сети называют параболическую зависимость напора от подачи, имеющую вершину в точке начала координат.

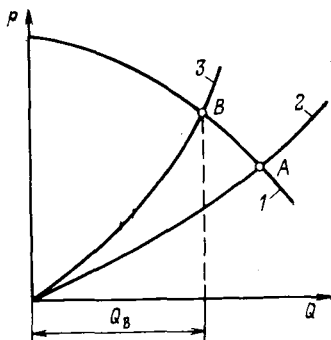
Рабочий режим вентилятора определяется точкой пересечения характеристики вентилятора $p = f(Q)$ и характеристики вентиляционной сети А (см. рис. 86, точки 1 и 2).

Вывод уравнения вентиляционной сети аналогичен выводу уравнения трубопровода (см. § 86). Приняв в уравнении (39) $H_r = 0$ (что является правомерным для вентиляционной сети), получим уравнение вентиляционной сети $p = RQ^2$. При выборе вентилятора необходимо стремиться к тому, чтобы, во-первых, рабочая точка находилась в зоне устойчивой работы вентилятора (в особенности это относится к осевым вентиляторам) и, во-вторых, режим работы соответствовал максимальному кпд вентилятора ($\eta \geq 0,6$).

Регулирование вентиляторов применяют для поддержания постоянной подачи воздуха при изменении сопротивления вентиляционной сети и для изменения подачи воздуха, вызванного технологическими условиями. Регулирование можно осуществлять путем изменения характеристики вентиляционной сети или характеристики вентилятора.

Наиболее простой способ регулирования центробежных и осевых вентиляторов — изменение характеристики вентиляционной сети путем дросселирования в вентиляционном канале (дроссель находится в линии нагнетания) (рис. 87). При характеристиках 1 вентилятора и 2 вентиляционной сети имеется режим (точка А), при котором подача воздуха в сеть будет больше требуемой подачи Q_B . Требуемый режим (точка В) с подачей Q_B достигается изменением характеристики вентиляционной сети (парабола 3). Такой способ регулирования неэкономичен, так как для преодоления сопротивления дросселя (шибера) вен-

Рис. 87. Регулирование вентилятора дросселированием



тилятор создает дополнительное давление и, следовательно, затрачивается излишняя энергия.

При регулировании изменением частоты вращения рабочих колес вентилятора характеристика вентиляционной сети остается неизменной, а характеристика вентилятора изменяется. Каждой частоте вращения соответствует своя характеристика вентилятора. Этот способ регулирования самый экономичный и применяется в мощных вентиляторных установках с регулируемым электроприводом.

Регулирование вентиляторов при постоянной частоте вращения и характеристике вентиляционной сети осуществляется поворотом лопаток рабочего колеса и изменением числа рабочих колес или лопаток на колесе или поворотом лопаток направляющего аппарата.

§ 127. Конструкции вентиляторов

На обогатительных фабриках вентиляторы применяют в системах промышленной вентиляции, в схемах пневмотранспорта и в качестве тягодутьевых устройств. В зависимости от назначения к вентиляторам предъявляют различные требования, которые удовлетворяются особенностями их схем, конструкций и характеристик.

В системах промышленной вентиляции для перемещения воздуха с температурой не более 80°C , содержащего не более 100 мг/м^3 липких веществ, пыли или других твердых примесей, применяют *вентиляторы общего назначения*. В вентиляционных системах следует применять вентиляторы низкого давления при потерях полного давления до 1 кПа , среднего давления при потерях $1\text{—}3\text{ кПа}$, высокого давления при потерях $3\text{—}12\text{ кПа}$. Область параметров, обеспечиваемая серийными вентиляторами общего назначения, показана на рис. 88.

Вентиляторы могут быть правого и левого вращения. Вентиляторы для перемещения агрессивных газов изготавливают из

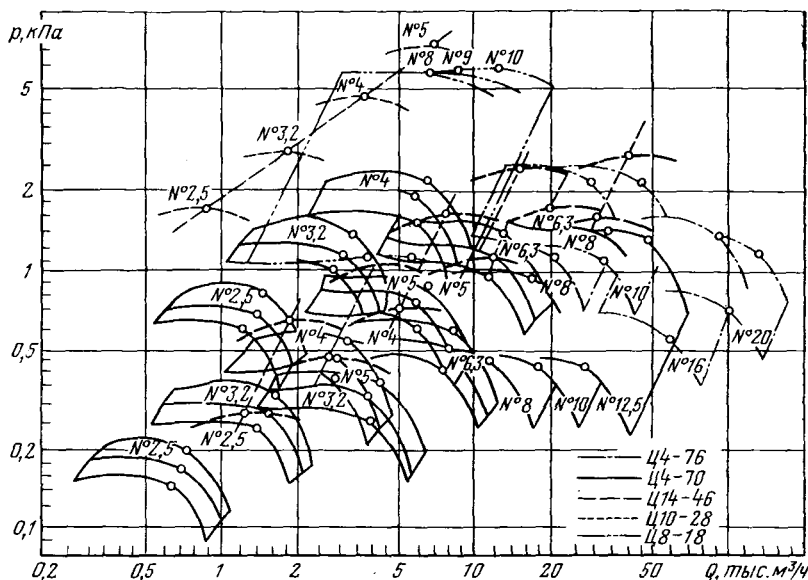


Рис. 88. Поля рабочих режимов центробежных вентиляторов общего назначения

цветных металлов и стали специальных марок, а для перемещения воздуха, содержащего пожаро- и взрывоопасные газы (пыль), из алюминия.

Для увеличения подачи применяют двухсторонние центробежные вентиляторы. Такой вентилятор состоит из двух рабочих колес обычного центробежного вентилятора, зеркально отображающих друг друга, с общим задним диском, двух входных патрубков и спирального корпуса шириной в два раза больше ширины одноступенчатого вентилятора.

Для перемещения воздуха, содержащего более 100 мг/м^3 различных примесей (твердые частицы, пыль, волокнистые материалы, стружка), применяют *пылевые вентиляторы*.

Для общеобменной вентиляции обоганительных фабрик и административных зданий применяют *крышные вентиляторы*. Их устанавливают непосредственно на кровлях зданий для вытяжки воздуха из рабочих помещений по одному вертикальному вентиляционному каналу.

На обоганительных фабриках находят применение *тягодутьевые вентиляторы*. Они бывают трех типов: дутьевые, мельничные и дымососы.

Борьба с шумом и вибрацией. Уровень шума и вибрации обуславливается типом вентилятора и режимом его работы. При окружной скорости до 30 м/с обеспечивается бесшумная работа

центробежных и осевых вентиляторов. Необходимо иметь в виду, что при одинаковом развиваемом полном давлении осевые вентиляторы вследствие большой окружной скорости шумят сильнее, чем центробежные.

Глава 31

ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

§ 128. Системы вентиляции обогатительных фабрик

Для создания нормальных санитарно-гигиенических и безопасных условий труда в производственных помещениях обогатительных фабрик применяют промышленную вентиляцию. Промышленная вентиляция может быть естественной, механической или смешанной.

Естественная вентиляция (аэрация) промышленных помещений осуществляется благодаря разности температуры (плотности) внутреннего и наружного воздуха, а также в результате действия ветрового напора. Для осуществления естественной вентиляции применяют шахты с установленными над ними дефлекторами (или без них), створные переплеты в окнах и фонарях. Приточный воздух поступает в помещение через отверстия на уровне 0,5—2 м от пола в теплый период и на уровне 4—5 м в зимний период.

При естественной вентиляции наружный воздух поступает в помещение без подогрева, вследствие чего в холодные периоды аэрация может осуществляться в цехах со значительным избытком тепла (например, в сушильно-топочных отделениях). В холодных цехах естественная вентиляция эффективно работает только в теплые периоды года. Недостатком естественной вентиляции является также невозможность очистки воздуха. Достоинства аэрации — возможность при незначительных избытках тепла осуществить интенсивный воздухообмен при минимальных затратах (вентиляторы, калориферы и другое оборудование не требуются).

На обогатительных фабриках естественную вентиляцию применяют, как правило, в совокупности с механической (смешанная система вентиляции).

Механическую вентиляцию применяют, если требуемые метеорологические условия и чистота воздуха в помещениях не могут быть обеспечены естественной вентиляцией.

Механическая вентиляция может быть: местной вытяжной, местной приточной, общеобменной, аспирационной от укрытий очагов, выделяющих вредные вещества. Все виды механической вентиляции осуществляются с помощью вентиляторов.

В цехах обогащительных фабрик при отсутствии фиксированных источников вредных выделений (пыли, газа, тепла) применяют общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию. Такую вентиляцию рассчитывают по содержанию вредных выделений и степени разбавления их чистым воздухом до допустимых санитарных норм. Приточный (свежий) воздух подают во все рабочие зоны, а отсасываемый (загрязненный) удаляют из зон вредных выделений.

В цехах с большим числом очагов пылевыведения (дробильно-сортировочное и транспортное оборудование) применяют централизованные аспирационные вентиляторные установки с горизонтальными или вертикальными коллекторами.

При механической вентиляции воздух можно нагревать, охлаждать, увлажнять и очищать от пыли.

Смешанную вентиляцию применяют в двух вариантах:

с помощью вытяжной (аспирационной) вентиляции из помещения удаляют загрязненный воздух, при этом в помещениях создается разрежение, в результате чего через открытые окна, двери или щели неорганизованно поступает свежий воздух;

с помощью приточной вентиляции в помещениях создают давление выше атмосферного, под действием которого воздух через различные неплотности выходит наружу.

В помещениях, где при аварии технологического или транспортного оборудования могут образоваться недопустимые концентрации ядовитых газов или взрывоопасной пыли, предусматривают механическую отсасывающую аварийную вентиляцию.

Система промышленной вентиляции должна обеспечивать в производственных помещениях требуемые метеорологические параметры и чистоту воздуха в рабочих зонах обслуживания, а также необходимые условия для нормального ведения технологических процессов.

Необходимое условие эффективной работы вентиляции — применение технологических и других мероприятий, направленных на снижение загрязненности воздушной среды в рабочих зонах обслуживания. Все технологическое и транспортное оборудование, связанное со значительным выделением пыли и газа, должно быть тщательно герметизировано. Электродвигатели вентиляторных установок вытяжной вентиляции должны быть заблокированы с основным технологическим оборудованием — включаться в работу за 3 мин. до пуска технологического и транспортного оборудования и выключаться через 3 мин. после прекращения его работы.

В промышленных зданиях с общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией (без естественной) необходимо предусматривать не менее двух приточных и двух вытяжных установок, обеспечивающих при включении одной из них не менее 50% требуемой подачи.

§ 129. Оборудование вентиляторных установок

На обогатительных фабриках вентиляторные установки используют для вентиляции, аспирации, пневмоуборки и воздушного отопления производственных и административных помещений; для тяги и дутья в сушилках; в пневмотранспортных установках; в процессах обогащения.

Вентиляторная установка состоит из вентилятора, электродвигателя и присоединенных элементов (входная коробка, диффузор, направляющий аппарат).

Для присоединения вентилятора к вентиляционной сети на его входе устанавливают входную коробку, а на выходе — диффузор, который обеспечивает дополнительное преобразование динамического давления выходящего из спирального корпуса потока в статическое.

Центробежные вентиляторы применяют, если необходимо относительно высокое давление (вентиляционная сеть со значительными аэродинамическими сопротивлениями, пневмотранспортные установки и др.).

Осевые вентиляторы применяют, если необходимо подавать большие объемы воздуха при меньших давлениях по сравнению с центробежными вентиляторами, например, для приточно-вытяжной вентиляции, в отопительно-вентиляционных системах.

В зависимости от системы вентиляции в состав вентиляторной установки может включаться пылеочистительное, воздухонагревательное и другое оборудование.

Для обеспыливания приточного воздуха применяют фильтры различных конструкций (ячейковые, кассетные, рулонные и др.).

Приточный воздух нагревают с помощью калориферов различной конструкции, обогреваемых водой или паром.

Улавливание и отделение пыли от потока воздуха (газа) в вентиляторных установках обогатительных фабрик производят в циклонах различных конструкций (ЛИОТ, СИОТ, НИИОГаз).

Для санитарной очистки выбрасываемого в атмосферу запыленного воздуха (газа) применяют агрегат мокрого пылеулавливания типа АМП (ПМ), который состоит из вентилятора с разбрызгивающей воду турбинкой, радиальной решетки с распределительными коллекторами, каплеуловителя с направляющим цилиндром и устройства для удаления шлама.

§ 130. Вентиляционный воздуховод, его устройство и расчет

Подачу воздуха в производственные помещения при приточной вентиляции и удаление загрязненного воздуха при вытяжной или аспирационной вентиляции производят по системе воздуховодов. Различают магистральные воздуховоды и параллельно подключенные к ним ответвления.

При устройстве воздуховодов необходимо обеспечить их герметичность, гладкую внутреннюю поверхность, несгораемость, устойчивость против коррозии, звуконепроводимость, виброустойчивость.

Вентиляторные воздуховоды могут быть круглого сечения с диаметром 100—2000 мм и прямоугольного сечения размером от 100×150 до 3200×4000 мм.

Воздуховоды должны соединять наиболее отдаленные точки объекта с местом установки вентилятора по возможности кратчайшим путем. Воздухопроводы располагают в толщах стен, на специальных технических этажах, делают подвесными и приставными.

Воздухопроводы аспирационных установок во избежание отложения механических примесей в углах и засорения делают только круглого сечения. Расчет вытяжного (аспирационного) воздуховода по заданной схеме и расходу воздуха заключается в определении диаметра (или сечения) вентиляционных каналов и аэродинамического сопротивления отдельных участков и всего воздуховода в целом.

Перед расчетом воздуховода определяют его конфигурацию, линейные размеры, местные сопротивления (колена, тройники, диффузоры, дроссели, пылеулавливающее оборудование и пр.).

Площадь F [м²] поперечного сечения воздуховода

$$F = Q / (3600 v), \quad (66)$$

где Q — расход воздуха, протекающего по участку, м³/ч; v — скорость движения воздуха, м/с.

Из выражения (66), учитывая, что $F = \pi d^2 / 4$, получаем диаметр d [м] круглого воздуховода

$$d = \sqrt{4Q / (3600 \pi v)}.$$

В воздуховодах при механической вентиляции скорость воздуха составляет 2—10 м/с. В воздуховодах аспирационных установок во избежание засорения скорость воздуха должна быть 10—25 м/с. В магистральных воздуховодах скорость воздуха должна быть больше, чем в ответвлениях.

Потери давления Δp [Па] для каждого участка воздуховода

$$\Delta p = (l/d + \Sigma \xi) v^2 \rho / 2, \quad (67)$$

где l — длина воздуховода, м; λ — коэффициент трения; d — диаметр воздуховода, м; $\Sigma \xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений, для отводов $\xi = 0,15 \div 0,3$, для колен $\xi = 1,5 \div 3$, для тройников $\xi = 1-2$; $v^2 \rho / 2$ — динамическое давление, Па; v — скорость воздуха, м/с; ρ — плотность стандартного воздуха, кг/м³.

Для упрощения расчетов воздуховодов имеются номограммы, одна из которых приведена на рис. 89. На этой номограмме на шкале *IV* отложены потери давления на трение на 1 м длины гладкого трубопровода $R = \lambda v^2 \rho / (2d)$, а на шкале *II* (левая часть) — динамическое давление $v^2 \rho / 2$.

По заданному расходу Q (шкала *I*) и принятой скорости воздуха v (шкала *II*) определяют необходимый диаметр воздуховода (шкала *III*). Одновременно по этой же номограмме находят потери давления на трение на 1 м длины (шкала *IV*) и динамическое давление (шкала *II*, левая часть). Потери давления на трение по длине определяются умножением R на длину участка.

Определив сумму коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$ участка, по формуле (67) находим потери давления на участке. Общие потери в магистральном воздуховоде определяют суммированием потерь давления на всех участках.

Для ответвлений по известным давлениям в узловых точках (точках ответвлений) и их длине определяют потери давления на 1 м длины $R_{\text{отв}}$. Затем по значению $R_{\text{отв}}$ и расходу воздуха в ответвлении определяют его диаметр.

Пример 1. Рассчитать воздуховод с подачей $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при скорости движения воздуха $v = 11 \text{ м/с}$.

По номограмме (см. рис. 89) находим на шкале *I* точку *A*, а на шкале *II* — точку *B*. Соединив точки *A* и *B* и продолжив линию *AB* до пересечения со шкалой *III*, находим точку *C*, соответствующую диаметру $d = 400 \text{ мм}$.

Пример 2. По подаче воздуха $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и диаметру воздуховода $d = 250 \text{ мм}$ определить скорость воздуха, удельные потери давления и динамический напор.

На шкале *I* находим точку *D*, а на шкале *III* — точку *E*. Соединив точки *D* и *E* и продолжив линию *DE* до пересечения со шкалами *II* и *IV*, находим точки *K* и *L*, соответствующие скорости $v = 5,5 \text{ м/с}$, динамическому давлению $p_{\text{дин}} = v^2 \rho / 2 = 18 \text{ Па}$ и удельному сопротивлению $R_{\text{гл}} = 1,4 \text{ Па/м}$.

§ 131. Проектирование вентиляторных установок

Исходными данными для выбора типа и размера вентилятора служат подача и давление, которые он должен обеспечить, а также характеристика подаваемого им воздуха. Эти параметры определяют основные технические требования к вентилятору и зависят от характеристики сети, в которой он работает. Кроме этих параметров должны быть заданы компоновка вентилятора и тип привода. Выбор оптимального вентилятора заключается в определении его типа, размера и частоты вращения, при которых выполнялись бы все заданные требования. Кроме того, нужно стремиться к тому, чтобы вентилятор имел наибольший кпд, минимальные габариты и массу. Для обеспечения необходимой подачи и давления вентилятор должен иметь требуемые регулировочные характеристики.

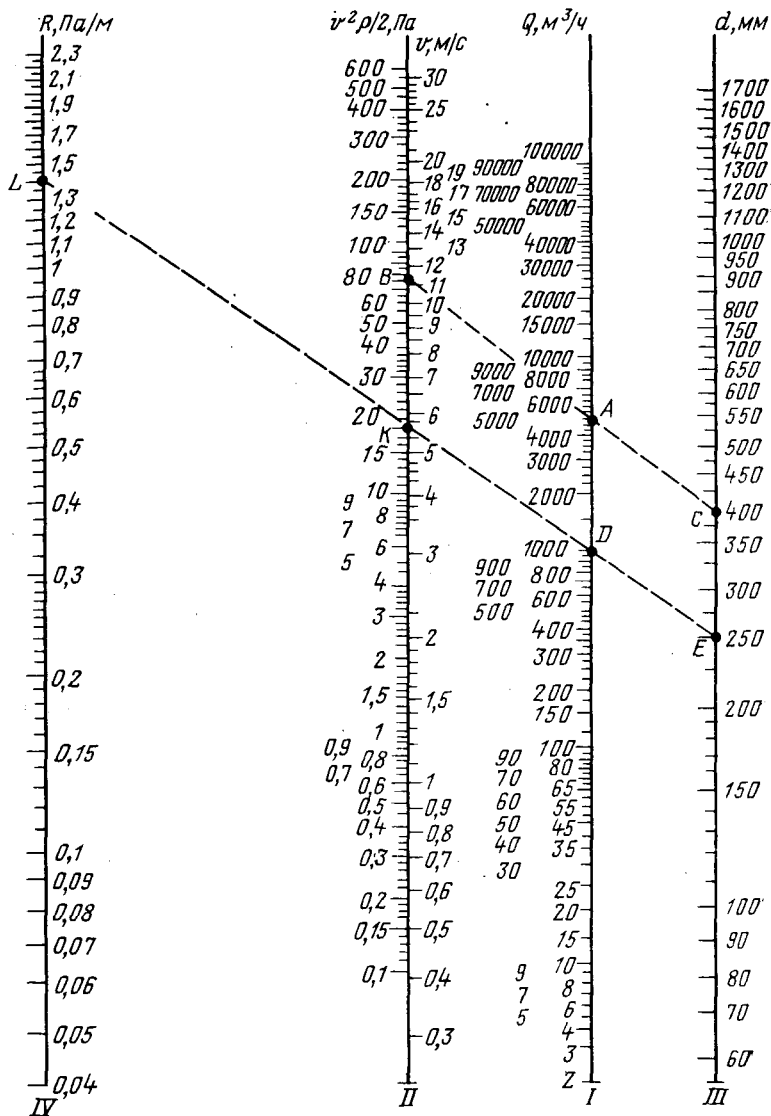


Рис. 89. Номограмма для расчета воздуховода

Эксплуатационный расчет вентиляторной установки выполняется в приведенной ниже последовательности.

Определяют объем воздуха, который необходимо подавать в производственное помещение для обеспечения требуемых параметров воздушной среды. Объем воздуха рассчитывают по избыткам явного и полного тепла и влаги, а также по содержанию выделяющихся вредных веществ. Принимают наибольшее из полученных значений.

Расчетную подачу вентилятора определяют с учетом утечек воздуха вследствие негерметичности воздуховодов по формуле

$$Q = k_0 Q_p,$$

где k_0 — коэффициент резерва подачи, зависящий от протяженности, диаметра и эксплуатационного состояния воздуховода, $k_0 = 1,05 \div 1,15$ (большие значения — для аспирационных воздуховодов); Q_p — необходимая подача чистого воздуха в проветриваемые помещения, м³/с.

Определяют полное давление, развиваемое вентилятором, с учетом потерь во всасывающих и нагнетательных воздуховодах, пылеулавливающих аппаратах или других устройствах и потерь на выбросе в атмосферу.

Потери в воздуховодах Δp и на выбросе в атмосферу ($p_{\text{дин}} = v^2 \rho / 2$) определяют по формуле (67) или по номограмме (см. рис. 89). Потери в пылеулавливающих аппаратах или других устройствах указаны в их технических характеристиках.

Вентилятор выбирают по расчетным значениям подачи Q и давления p по каталогам, в которых приведены характеристики и области режимов работы серийных вентиляторов, или на основе полей рабочих режимов вентиляторов (см. рис. 88).

Производят расчет воздуховодов. Необходимое число воздуховодов определяется принятой системой вентиляции. Так, если проектируется одновременно действующая приточно-вытяжная вентиляция, то необходимы отдельные приточные и вытяжные воздуховоды. Объекты, выделяющие различные по характеристике вредные вещества, должны обслуживаться отдельными воздуховодами.

Определяют мощность N_b [кВт] на валу вентилятора

$$N_b = Qp / (1000 \eta \eta_v).$$

Мощность электродвигателя вентилятора принимается с учетом кпд передачи и коэффициента запаса мощности $K = 1,05 \div 1,5$. Большие значения K принимаются для центробежных вентиляторов.

§ 132. Эксплуатация вентиляторных установок

Правильная эксплуатация вентиляторных установок заключается в наблюдении за их техническим состоянием, своевремен-

ном ремонте, выполнении правил техники безопасности и обеспечении наименьших эксплуатационных расходов.

Практикой эксплуатации установлено, что неудовлетворительная работа вентиляторных установок прежде всего связана с дефектами при проектировании, некачественным монтажом и неправильной эксплуатацией.

Причины неудовлетворительной эксплуатации заключаются в нарушении технических норм и правил работы вентиляционного оборудования, несвоевременном и некачественном ремонте, отсутствии средств контроля за работой вентиляторных установок.

Эффективность работы вентиляторной установки оценивают по показателям температуры, влажности и скорости движения воздуха в зоне обслуживания и содержанию в нем пыли и вредных газов, т. е. по обеспечению санитарно-гигиенического эффекта.

Для проверки работы вентиляторных установок периодически проводят технические и санитарно-гигиенические испытания. Цель испытаний и регулирования вентиляторных установок или систем — обеспечение в производственных помещениях состояния воздушной среды, соответствующей требованиям санитарных норм и правил.

Значительное влияние на работу вентиляции оказывает состояние воздухопроводов. Недостаточная их герметизация ведет к подсосам или утечкам запыленного или загазованного воздуха, что в конечном итоге снижает эффективность их работы.

Глава 32

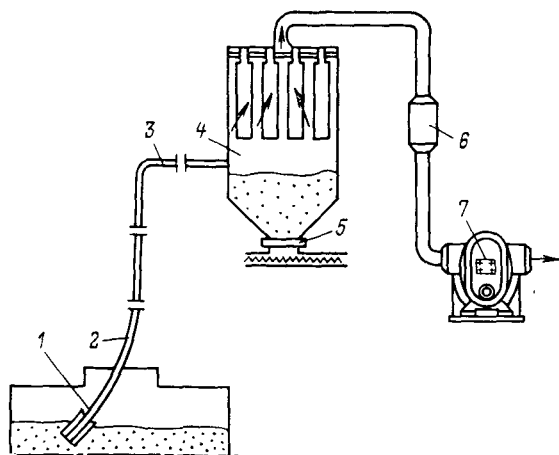
ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

§ 133. Схемы и оборудование пневматических транспортных установок

Принцип действия пневмотранспортных устройств основан на передаче энергии воздуха, газа или пара твердым частицам и перемещении их по транспортным коммуникациям. Этот вид транспорта применяют для перемещения различных сыпучих материалов, если они не спекаются, не прилипают к стенкам трубопроводов и не собираются во флоккулы.

На обогатительных фабриках пневматический транспорт нашел широкое применение для перемещения концентратов руд различных металлов в виде аэросмесей, а также для погрузки и разгрузки сыпучих и пылевидных материалов и удаления пыли.

Рис. 90. Схема пневматической транспортной установки всасывающего действия



Практика показала, что пневматический транспорт находит широкое применение в тех производствах, и в частности на обогатительных фабриках, в которых реализуются главные достоинства трубопроводного транспорта — непрерывность, поточность и возможность совмещения транспортирования с другими технологическими процессами. Так, трубы-сушилки можно рассматривать как пневмотранспорт угля горячими газами, в процессе которого происходит его интенсивная сушка.

Пневматические транспортные установки по способу создания давления или разрежения делятся на следующие:

всасывающие, работающие со специальными устройствами для засасывания и последующего транспортирования материала в виде аэросмеси с использованием разрежения, создаваемого вакуум-насосом или вентилятором;

нагнетательные, работающие с загрузочными устройствами (питателями) и использующие давление, создаваемое компрессором или воздуходувкой;

комбинированные, или всасывающе-нагнетательные.

В зависимости от протяженности пневмопровода для работы установок всасывающего типа необходимо разрежение до 0,05 МПа, а для работы установок нагнетательного типа — избыточное давление 0,05—0,7 МПа. На обогатительных фабриках применяют нагнетательные транспортные установки низкого (до 0,05 МПа) и среднего (до 0,3 МПа) давления.

Всасывающая установка (рис. 90) работает следующим образом. Под действием разрежения, создаваемого вакуум-насосом (вентилятором, воздуходувкой) 7, атмосферный воздух засасывается через всасывающее сопло 1, увлекая за собой транспортируемый материал. По гибкому 2 и жесткому 3 трубопроводам аэросмесь поступает в отделитель 4, в котором вследствие потери скорости транспортируемый материал осаждается. Материал

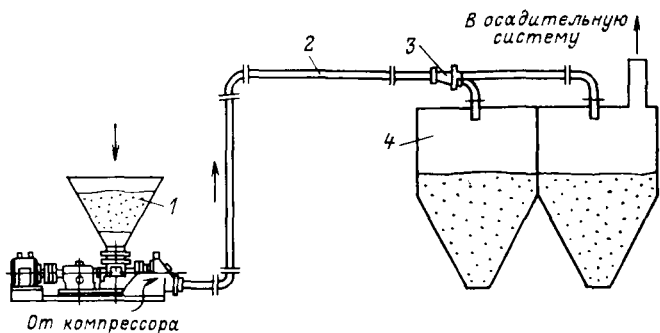


Рис. 91. Схема пневматической транспортной установки нагнетательного действия

выпускается через разгрузочное устройство 5. Воздух из осадительной системы поступает в фильтр 6, в котором очищается, и, пройдя вакуум-насос, выбрасывается в атмосферу.

Основными элементами всасывающей установки являются: сопло, отделитель, фильтр и пневмопровод с арматурой.

Нагнетательная установка работает следующим образом (рис. 91). Материал через загрузочное устройство 1 и воздух от компрессора, смешиваясь в специальной камере, образуют аэро-смесь, которая по пневмопроводу 2 с переключателями 3 транспортируется в приемный бункер 4. Вследствие потери скорости материал оседает на дно бункера, а запыленный воздух поступает в осадительную систему для очистки.

Основные элементы нагнетательной установки: загрузочное устройство (питатель), пневмопровод с арматурой, отделитель, пылеуловитель.

На обогатительных и агломерационных фабриках для перемещения пылевидных материалов с высоких отметок на низкие применяют пневматические желоба, отличающиеся простотой конструкции, малыми габаритами, незначительными затратами энергии.

В комбинированных установках материал загружается в конце пневмопровода всасывающей части, затем подается через загрузочное устройство в пневмопровод нагнетательной части, по которому и перемещается к месту разгрузки.

Для пневмопроводов применяют цельнотянутые толстостенные трубы из стали обычных марок, а также трубы, армированные каменным литьем и закаленные токами высокой частоты. Начинают находить применение трубы из пластмасс, обладающие меньшим аэродинамическим сопротивлением.

Для борьбы с закупорками пневмопроводов, которые обычно происходят при изменении условий транспортирования или попадании негабаритных кусков, применяют регуляторы давления

и управляемые вентили, автоматически регулирующие расход при отклонении режима транспортирования от заданного. Технологические параметры пневматического транспорта зависят от крупности транспортируемого материала. При транспортировании мелкозернистого материала (мелкие классы угля, концентраты и др.) максимально возможное содержание его по условиям надежности работы составляет 40 кг на 1 кг воздуха. Определяющее значение для надежной работы транспортной установки при этом имеют влажность и температура материала, способствующие слипанию частиц. Предельная влажность углей и пылевидных материалов не должна превышать 6%, а гранулированных — 15%.

Преимущества пневматического транспорта: требует в 4—5 раз меньше производственной площади по сравнению с механическими видами транспорта; простота сборки и разборки; высокая степень автоматизации; безопасность и гигиеничность. Так, запыленность воздуха при механическом транспорте (конвейеры, шнеки, элеваторы) — 1,5 г/м³ воздуха, а при пневматическом — 15 мг/м³.

Основные недостатки пневматического транспорта — повышенная энергоемкость процесса, значительный износ трубопроводов и оборудования.

§ 134. Основы расчета пневматического транспорта

Расчет пневматического транспорта сводится к определению расхода воздуха, диаметра пневмопровода и потерь давления в нем при транспортировании сыпучего материала. Заканчивается расчет выбором воздухоподающей машины.

Исходные данные для расчета: подача установки, дальность транспортирования и характеристика транспортируемого материала.

Содержание твердого в смеси определяется отношением массы твердых частиц к массе воздуха:

$$\mu = G_m / G_v,$$

где G_m — масса материала, кг; G_v — масса воздуха, кг.

Пневматическое транспортирование твердых материалов обычно осуществляется:

в аспирационных системах с содержанием твердого в аэро-смеси $\mu \leq 1$ (при вентиляторном дутье) и $\mu \leq 5$ (при вакуум-насосах);

в системах пневматического транспорта различного давления с содержанием твердого в аэро-смеси $\mu = 5 \div 40$;

в системах пневматического транспорта аэрированными потоками в плотной фазе с содержанием твердого в аэро-смеси $\mu = 60 \div 150$.

На содержание твердого (по массе) в аэросмеси оказывают влияние: степень сыпучести и слеживаемости материалов, склонность к комкованию и аэрированию, наличие влаги и т. п. В то же время необходимо учитывать, что с уменьшением содержания твердого удельная энергоемкость пневматического транспорта увеличивается.

Пневматическое транспортирование материалов можно осуществлять в трех режимах; при скорости движения аэросмеси значительно больше критической; близкой или равной критической; меньше критической (при наличии слоя твердых частиц).

Для надежного транспортирования твердого материала без закупорок необходимо, чтобы максимальный размер куса не превышал $\frac{1}{3}$ диаметра пневмопровода. Эксплуатация пневматического транспорта при наличии поворотов и искривлений трассы в режимах движения аэросмесей с образованием отложения слоя частиц в трубах не рекомендуется.

Предпочтение, как и при гидротранспортировании, отдается режиму движения аэросмесей при скорости, равной или несколько большей критической.

Критическая скорость $v_{кр}$ [м/с] аэросмеси

$$v_{кр} = c \sqrt{\mu a g d},$$

где $c = 0,25 \div 0,4$ — коэффициент, зависящий от крупности материала, склонности к слеживанию и наличию влаги; $a = (\rho_m - \rho_v) / \rho_v$; ρ_m и ρ_v — плотность соответственно материала и воздуха, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; d — диаметр пневмопровода, м.

Необходимая скорость v [м/с] потока

$$v = (1,05 \div 1,1) v_{кр}.$$

Соппротивление p_n [Па] пневмопровода при движении аэросмеси

$$p_n = (1 + 0,4\mu) p_v,$$

где p_v — потеря давления при движении чистого воздуха, Па.

Потерю давления при движении чистого воздуха по пневмопроводу определяют по формуле (67).

Потеря давления Δp_r [Па] в поднимающихся коротких участках пневмопровода

$$\Delta p_r = (1 + \mu) \rho g H,$$

где H — разница геодезических отметок, м.

Полное падение давления Δp [Па] в пневмотранспортной системе

$$\Delta p = p_n + \Delta p_r + \Delta p_{дин} + \Delta p_з,$$

где $\Delta p_{дин} = v^2 \rho / 2$ — динамические потери давления, Па; $\Delta p_з$ — потери давления в загрузочном устройстве, обычно $\Delta p_з = 1$ Па.

Расход Q_0 [$\text{м}^3/\text{мин}$] воздуха

$$Q_0 = Q_m \rho_m / (\mu \rho_0),$$

где Q_m — расход материала, транспортируемого по пневмопроводу, $\text{м}^3/\text{мин}$.

Необходимая подача Q_v [$\text{м}^3/\text{мин}$] воздухоподающей машины

$$Q_v = k Q_0,$$

где $k = 1,1 \div 1,15$ — коэффициент, учитывающий потери воздуха в пневмопроводе.

По значениям Q_v и Δp выбирают воздухоподающую машину (компрессор, воздуходувку, вентилятор, вакуум-насос).

Мощность N [кВт] привода воздухоподающей машины

$$N = K L_{\text{из}} Q_v / (60 \cdot 1000 \eta),$$

где $K = 1,05 \div 1,1$ — коэффициент запаса; $L_{\text{из}}$ — работа воздухоподающей машины на сжатие 1 м^3 воздуха при изотермическом сжатии, Дж; η — полный кпд воздухоподающей машины.

Расчет пневмопровода для транспортирования материалов аналогичен расчету воздухопровода (см. § 120).

Раздел VII

РЕМОНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Глава 33

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

§ 135. Роль и значение ремонтного хозяйства

Улучшения использования оборудования на обогатительных фабриках можно добиться в результате совершенствования технологии и организации монтажно-демонтажных работ, организации системы планово-предупредительного ремонта (ППР) оборудования, технологии и организации выполнения капитального ремонта, а также разработки научно обоснованной периодичности плановых осмотров и ремонта машин и средств диагностического контроля технического состояния машин и оборудования.

Замена устаревших машин и оборудования на более совершенные с повышенными конструктивной сложностью и энерговооруженностью приводит к увеличению трудоемкости выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования и росту численности ремонтного персонала.

Тесная увязка в технологических процессах большого числа машин, оборудования, аппаратов и других технических средств предъявляет повышенные требования не только к надежности оборудования, но и к поддержанию работоспособности как отдельных единиц, так и комплексов и систем технических средств. Специфические тяжелые режимы и условия работы оборудования обогатительных фабрик, обусловленные динамическим характером нагрузок, взрывоопасностью, запыленностью и агрессивностью окружающей среды и другими неблагоприятными факторами, вызывают дополнительные трудности при решении рассматриваемых проблем.

На обогатительных фабриках существует система технического обслуживания и ремонта, обусловленная суточным режимом работы фабрик и цехов, применяемой технологией, техническим состоянием оборудования, условиями эксплуатации, которая представляет собой совокупность заранее запланированных и технически обоснованных мероприятий, проводимых с целью предотвращения отказов оборудования, и предусматривает ежедневные, ежесуточные, еженедельные работы по тех-

ническому обслуживанию, ежемесячный ремонтный осмотр и периодический текущий ремонт.

Выбор критериев оценки продолжительности работы деталей, сборочных единиц и машин, накопление данных об их ресурсе имеют важное значение, так как эксплуатация машин, отработавших ресурс, приводит к увеличению простоев, а преждевременная их сдача в ремонт — к снижению эффективности использования.

Определение состава и периодичности работ по техническому обслуживанию и ремонту, технически обоснованной потребности в запчастях, планирование и организация ремонтов с целью предотвращения внезапных отказов обеспечивают повышение эффективности использования оборудования обогатительных фабрик.

Для поддержания работоспособности оборудования имеют значение правильный выбор и применение смазочных материалов и рабочих жидкостей.

Применение средств диагностики для безразборного контроля технического состояния машины и ее составных частей позволяет планировать работы по техническому обслуживанию и ремонту, обеспечивая большую вероятность предупреждения отказов.

Значительный резерв повышения качества капитального ремонта оборудования и эффективности использования запасных частей — освоение на ремонтных предприятиях прогрессивных способов восстановления и упрочнения деталей.

Ремонтные работы можно усовершенствовать за счет специализации и централизации капитального ремонта оборудования, оптимального сочетания обезличенного и индивидуального методов и расширения агрегатно-узлового метода ремонта. Осуществляется комплекс мероприятий по повышению технического уровня и стандартизации ремонтного производства, аттестации качества промышленной продукции.

Действенное направление дальнейшего качественного совершенствования управления ремонтом оборудования обогатительных фабрик — широкое использование ЭВМ, эксплуатируемых в автоматизированной системе управления производством.

§ 136. Основные термины и определения

Система ППР представляет собой совокупность проводимых в плановом порядке организационных и технических мероприятий по техническому обслуживанию, надзору, эксплуатации и ремонту оборудования, направленных на предупреждение преждевременного изнашивания деталей, узлов и механизмов и содержание их в работоспособном состоянии. Терминология по рассматриваемой теме определена в основном ГОСТ 18322—78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Тер-

мины и определения»; для некоторых терминов приведены нестандартизированные определения. Термин «изделие» заменен на термин «оборудование».

Оборудование — орудия производства, в которых для выполнения определенной части технологического процесса размещаются материалы или заготовки, средства воздействия на них и при необходимости — источники энергии. Оборудование, используемое для ведения целевого технологического процесса, называют технологическим или основным в отличие от типового, применяемого во многих отраслях промышленности.

Агрегат — совокупность ряда машин, механизмов, устройств и сооружений, связанных единым технологическим процессом и предназначенных для совместной работы.

Машина — комплекс механизмов, предназначенных для выполнения полезной работы, связанной с процессом производства или транспортирования, либо преобразования энергии.

Механизм — система кинематически взаимосвязанных узлов и деталей, предназначенных для совершения определенных целесообразных движений.

Узел — разъемное или неразъемное соединение нескольких деталей, представляющих собой сборочную единицу, входящую в машину.

Деталь — элемент машины, представляющий собой одно целое, который не может без разрушения быть разобран на более простые составляющие звенья.

Допуск (допуск на обработку) — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами.

Зазор — положительная разница между диаметром отверстия и диаметром вала.

Натяг — отрицательная разница между диаметром отверстия и диаметром вала.

Посадка — способ соединения деталей, определяемый получающимися зазорами и натягами.

Ремонт — комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности оборудования и восстановлению ресурсов оборудования или его составных частей.

Техническое обслуживание — комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности оборудования при использовании его по назначению, ожидании, хранении и транспортировании.

Плановый ремонт — ремонт, постановка на который осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Текущий ремонт — ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности оборудования и состоящий в замене и (или) восстановлении отдельных частей.

Капитальный ремонт — ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса оборудования с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

§ 137. Надежность оборудования

Возросший уровень механизации и автоматизации технологических и вспомогательных процессов обогатительных фабрик, увеличение числа единиц оборудования, повышение конструктивной сложности и его энерговооруженности, тесная увязка в технологическом процессе большого числа машин и механизмов, аппаратов и других технических средств предъявляют повышенные требования к надежности оборудования.

Надежность — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

В практике оценки надежности оборудования и его составных элементов получили практическое применение следующие понятия и показатели надежности.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Наработка — продолжительность или объем работы объекта, измеряемая в часах, тоннах, километрах, кубических метрах или других единицах.

Наработка на отказ — наработка объекта от начала его эксплуатации до возникновения первого отказа:

$$T_o = \sum_{i=1}^n t_{oi} / n,$$

где T_o — наработка на отказ; t_{oi} — интервал времени между последовательными отказами; n — число отказов за время испытаний или наблюдений.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности состояния объекта. Это состояние объекта, при котором он не может выполнять функциональное назначение. Возникновение отказа всегда связано с неисправностью — состоянием объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической (НТД) и (или) конструкторской (КД) документации. Однако не всегда наличие неисправности означает появление отказа. В зависимости от причин возникновения различают отказы: конструктивные, производственные и эксплуатационные.

Работоспособное состояние — состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТД и КД.

Неработоспособное состояние — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТД и КД.

Предельное состояние — состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Долговечность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Показатели долговечности — срок службы и ресурс.

Срок службы — календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала или возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Ресурс — наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта определенного вида до перехода в предельное состояние.

Предприятиями-изготовителями в технических условиях устанавливается гарантийный срок на продукцию, определяющий гарантийное обязательство, по которому изготовитель (поставщик) гарантирует и обеспечивает выполнение предусмотренных в технических условиях требований к качеству продукции.

Ремонтопригодность — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений, а также к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния проведением технического обслуживания и ремонтов. Показатели ремонтпригодности объекта — среднее время восстановления и вероятность его восстановления в заданное время. Ремонтпригодность объектов зависит от конструктивных и организационных факторов, условий эксплуатации и материально-технического обеспечения.

Сохраняемость — свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности во время и после хранения и транспортирования. Показатель сохраняемости — срок сохраняемости — календарная продолжительность хранения и транспортирования объекта, во время и после которой сохраняются значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в установленных пределах.

§ 138. Общие сведения о трении

Наука о трении, изнашивании, смазке и взаимодействии контактирующих поверхностей при их взаимном перемещении называется трибоникой. Если изнашивание проявляется в виде разрушения трущихся поверхностей взаимодействующих тел и изменения вследствие этого их размеров и формы, то трение проявляется в виде противодействия относительному перемещению, т. е. характеризует силовую сторону явления. Трение — механическое взаимодействие между твердыми телами, возникающее в местах их соприкосновения и препятствующее относительному перемещению тел в направлении, лежащем в плоскости их соприкосновения. Твердые тела (детали) называют трущимися парами, а их соприкасающиеся поверхности — трущимися поверхностями. Существует несколько видов трения: трение покоя, кинематическое трение, подразделяющееся на трение скольжения, трение качения и трение качения с проскальзыванием. В свою очередь трение скольжения, характерное для механического оборудования обогатительных фабрик, можно подразделить: на трение без смазочного материала, граничное трение, жидкостное трение, смешанное трение.

Трение без смазочного материала (сухое) возникает при отсутствии смазки и загрязнений между трущимися поверхностями. Такое трение существует в ременных передачах, соединения с гарантированным натягом, сухих муфтах и тормозах.

Граничное трение наблюдается, когда контактирующие поверхности разделены чрезвычайно тонкой масляной пленкой (0,1 мкм и меньше). Этот вид трения характерен для подшипников с малой скоростью и большинства направляющих. Граничная масляная пленка уменьшает коэффициент трения в 2—10 раз (по сравнению с сухим трением) и в сотни раз уменьшает износ.

Жидкостное трение происходит, когда поверхности контактирующих тел полностью разделены сплошным слоем смазки. В этом случае износ рабочих поверхностей по сравнению с другими видами трения практически отсутствует, а потери энергии на трение минимальны.

Смешанное трение имеет место, когда одновременно наблюдается сочетание различных видов трения. Полусухое трение характерно для резьбовых и клеммовых соединений и соединений с натягом. Полужидкостное трение наблюдается в тихоходных подшипниках и направляющих.

§ 139. Виды и классификация износа

При эксплуатации оборудования происходит изменение геометрических размеров и свойств рабочих поверхностей деталей, вследствие чего увеличиваются зазоры в подвижных и уменьшаются натяги в неподвижных соединениях, нарушается взаимное положение деталей, ухудшаются условия зацепления в зубчатых передачах и т. д. Основная причина этих явлений — процесс изнашивания.

Изнашивание — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Износ — результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы и др. Скорость изнашивания — отношение износа к времени изнашивания. Скорость изнашивания — основной показатель процесса изнашивания, который оценивается скоростью изменения размеров и массы в единицу времени [мкм/ч, мг/ч]. Интенсивность изнашивания — отношение износа к пути трения, на котором происходит изнашивание, или к объему выполненной работы [мг/км, мм/км, мг/т, мм/т]. Износостойкость — свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания.

В процессе эксплуатации происходят естественный (нормальный) и внезапный (аварийный) износы. Естественный износ деталей происходит постепенно в течение достаточно длительного времени при правильной эксплуатации оборудования. Внезапный износ характеризуется быстрым выходом детали из строя и является следствием нарушения условий эксплуатации (отсутствие смазки, перегрузка и др.).

Следует различать физический и моральный износ машины. При физическом износе дальнейшая эксплуатация машины без ремонта невозможна из-за потери ею установленных параметров, опасности возникновения аварийных ситуаций и др. Моральный износ — результат старения нормально функционирующих машин, при котором их дальнейшая эксплуатация нецелесообразна из-за наличия новых более прогрессивных машин аналогичного назначения.

Изнашивание подразделяют на механическое, молекулярно-механическое, коррозионно-механическое и тепловое. Механическое изнашивание — разрушение трущихся поверхностных слоев в результате упругих и пластических деформаций без значительных изменений свойств материала. Его разделяют на абразивное, усталостное и кавитационное. Абразивное изнашивание — процесс пластической деформации

трущихся поверхностных слоев в результате воздействия на них твердых абразивных частиц. Поверхностное упрочнение деталей (цементация, закалка, азотирование и др.) позволяет значительно повысить их сопротивляемость абразивному изнашиванию. Усталостное изнашивание — процесс многократного деформирования микрообъемов материала на поверхности трения, приводящий к возникновению трещин и отделению частиц материала с поверхностного слоя. Оно возникает как при трении качения, так и при трении скольжения. Кавитационное изнашивание представляет собой хрупкое разрушение поверхностей деталей в результате местных гидравлических ударов.

Гидроабразивное и газоабразивное изнашивание — разновидности абразивного изнашивания под действием твердых частиц, взвешенных в жидкости или газе. В результате воздействия твердых частиц на поверхностный слой детали происходит интенсивное ее изнашивание путем резания с одновременным возникновением под действием ударов частиц усталостного изнашивания, что приводит к ее разрушению. Интенсивность изнашивания возрастает с увеличением скорости перемещения, крупности и содержания абразивных частиц в потоке жидкости (газа). Для деталей, работающих в гидро- или газоабразивной среде, применяют износостойкие покрытия (корундирование, гуммирование) или их изготавливают из сплавов металлов, имеющих повышенную износостойкость.

Молекулярно-механическое изнашивание (изнашивание при схватывании и заедании) — повреждение соприкасающихся поверхностей в результате одновременного действия молекулярных сил и механического воздействия. Его подразделяют на адгезионное и избирательный перенос. Адгезионное изнашивание — процесс возникновения на контактирующих поверхностях адгезионных взаимодействий, силы которых превышают прочность связей поверхностного слоя с основным материалом детали. Наиболее сильное проявление адгезионного изнашивания — задира, который приводит к появлению на поверхности менее прочной детали повреждений в виде вырывов или борозд; на поверхности более прочной детали наблюдается налипание и размазывание металла. Появление задира обычно связано с отсутствием или существенным снижением подачи смазки к узлам трения. Избирательный перенос возникает при соприкосновении металлополимерных поверхностей, при котором полимер переносится на поверхность металла, образуя на ней мономолекулярный слой.

Коррозионно-механическое изнашивание — повреждение сопряженных поверхностей в результате механического разрушения пленок, образовавшихся в результате химического или электрохимического взаимодействия материала по-

верхности детали с кислородом. Основные его разновидности: окислительное изнашивание, фреттинг-коррозия. Окислительное изнашивание — разрушение металла в результате микропластических деформаций поверхностных слоев и диффузии в них кислорода из разрушающихся окисных пленок. Скорость изнашивания невелика; ему подвержены шейки коленчатых и распределительных валов, поршневые кольца и др. Фреттинг-коррозия — процесс разрушения постоянно контактирующих поверхностей при их малых относительных смещениях в результате периодических деформаций или вибраций элементов конструкции. Этот вид изнашивания наблюдается на поверхностях деталей, соединенных с помощью посадок с натягом.

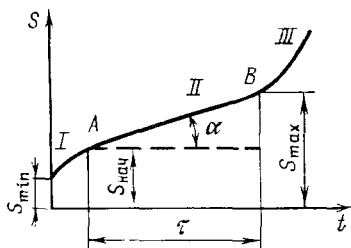
Тепловое изнашивание — повреждение поверхностей в результате циклического нагрева и охлаждения, наблюдаемое в виде термических трещин, выкрашивания, смятия, ползучести. В процессе эксплуатации оборудования наблюдается действие нескольких видов изнашивания, протекающих с различными скоростями. Изнашивание, протекающее наиболее интенсивно и определяющее скорость изнашивания и долговечность детали, определяет вид износа.

§ 140. Основные положения теории трения и износа

Основу признанной в настоящее время молекулярно-механической теории трения составляют следующие представления. Трущиеся поверхности детали имеют волнистость и шероховатость, поэтому контакт между ними происходит только в отдельных пятнах, диаметр которых (1—50 мкм) зависит от состояния поверхности, способа обработки и вида трения. На пятнах контакта образуются адгезионные мостики (мостики сварки между твердыми телами) — результат молекулярного взаимодействия. Кроме того, более жесткие выступы внедряются в поверхности менее жесткого сопряженного тела. При перемещении на трущихся поверхностях деталей в направлении движения на мягкой поверхности образуются канавки и желобки; материал раздвигается в стороны, поднимается твердыми неровностями и образует канавки и желобки на твердой поверхности. В результате получается взаимное изнашивание обеих поверхностей, твердой и мягкой. Образующиеся между неровностями мостики сварки разрушаются и образуются вновь. Таким образом, процесс трения представляет собой деформирование весьма тонких поверхностных слоев каждой из трущихся поверхностей, осложненное разрушением адгезионных мостиков между пленками, покрывающими эти поверхности.

Для уменьшения изнашивания необходимо обеспечивать минимальное внедрение выступов трущихся поверхностей деталей,

Рис. 92. Диаграмма износа подвижного сопряжения



а также минимальную прочность адгезионных связей на участках контакта. Наличие тонкой предельно пластичной прослойки, образующей малопрочные адгезионные связи, и твердая основа, сводящая к минимуму внедрение выступов и уменьшающая коэффициент трения, позволяют выполнить эти требования.

Процесс изнашивания имеет три периода: приработка трущихся поверхностей, установившийся и ускоренный износ. Износ называется предельным, если дальнейшая эксплуатация детали становится невозможной. На диаграмме (рис. 92) предельному износу соответствует точка *B*, после которой происходит интенсивное разрушение трущихся поверхностей и недопустимое изменение геометрических размеров деталей.

Приведенная диаграмма справедлива для большинства подвижных сопряжений, работающих в установившемся режиме. Она имеет три явно выраженных участка: *I* (до точки *A*) характеризует процесс приработки нового сопряжения; *II* (*AB*) установившийся период, соответствующий нормальной работе сопряжения (естественный износ); *III* (за точкой *B*) — соответствует периоду разрушения сопряжений вследствие износа его сверх допустимого предела (аварийный износ). Межремонтный срок τ [ч] сопряжения, работающего в установившемся режиме,

$$\tau = (S_{\max} - S_{\text{нач}}) \operatorname{tg} \alpha,$$

где $S_{\max}$ — предельно допустимое ослабление посадки при износе (предельно допустимый зазор), мкм; $S_{\text{нач}}$ — посадка (зазор) после периода приработки, мкм; $S_{\min}$ — начальная посадка (зазор) в сопряжении, мкм; $\operatorname{tg} \alpha$ — скорость износа сопряжения, мкм/ч.

Значение $\operatorname{tg} \alpha$ определяют опытным путем при испытаниях. Увеличение срока службы сопряжения может быть достигнуто уменьшением начального зазора (посадки) $S_{\min}$ и уменьшением скорости изнашивания в *I* и *II* периоды, т. е. путем повышения износостойкости сопрягаемых деталей.

Аварийный износ (*III* период) происходит двояко: в одном случае он отличается от естественного износа только значительно большей скоростью достижения допустимого предела изменения зазора; в другом случае, когда допустимые пределы уже

превышены, он начинается с разрушения деталей. В первом случае, если дальнейший износ был прекращен, детали могут быть восстановлены путем текущего ремонта; во втором — требуется капитальный ремонт.

Разрушение деталей бывает трех видов: вязкое, хрупкое и усталостное. Вязкое разрушение происходит в результате действия напряжений, превышающих предел текучести металла. Ему предшествует пластическая деформация металла под влиянием кручения, изгиба, растяжения или сжатия. Излом при таком разрушении имеет волокнистое строение. Хрупкое разрушение происходит в результате перегрузок (статических или ударных). Излом при таком разрушении имеет кристаллическое строение. Усталостное разрушение происходит в результате длительного воздействия переменных по величине и знаку динамических и статических нагрузок. Причина разрушения детали — усталостная трещина, возникающая, как правило, от какого-либо концентратора напряжений (забоина, риска от обработки и т. д.). Излом имеет мелкозернистую, блестящую или матовую поверхность.

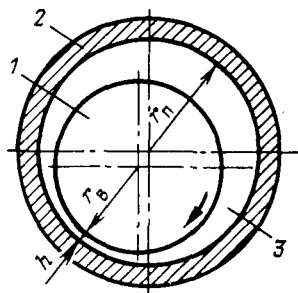
Пластическое деформирование происходит в результате возникновения в материале детали напряжений, превосходящих предел его упругости. Оно приводит к изменению формы и размеров детали и называется остаточной деформацией; проявляется в виде изгибов, скручиваний, смятия поверхностей и др.

Коррозия (химический износ) — процесс постепенного самопроизвольного разрушения металлов, начинающийся с поверхности вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой. На поверхности корродированного металла образуются неустойчивые пленки оксидов (например, ржавчина), что приводит к изменению качества поверхности и размеров детали. Материальный ущерб от коррозии связан с безвозвратными потерями металла, резким снижением долговечности и надежности машин, увеличением затрат на ремонт и противокоррозионные мероприятия.

§ 141. Зазоры в сопряжении вал — подшипник скольжения

Исходя из требований нормальной эксплуатации подшипников скольжения и других аналогичных сопряжений, трущиеся поверхности должны быть разделены слоем смазки, т. е. работать в условиях жидкостного трения. Зазоры в подобных сопряжениях и толщину слоя смазки можно определить на основании гидродинамической теории Н. П. Петрова. При вращении вала 1 (рис. 93) в подшипнике скольжения 2 слой смазки вступает в сцепление с поверхностью цапфы, и вал увлекает за собой смазку в клиновидный зазор 3. Под действием смазочной жидкости

Рис. 93. Схема жидкостного трения сопряжения вал — подшипник



по мере возрастания частоты вращения вал приподнимается, одновременно смещаясь в направлении вращения. Толщина h (м) слоя смазки в наиболее узком месте масляного клина

$$h = \frac{\mu n d^2 c}{18,36 p S}, \quad (68)$$

где μ — динамическая вязкость масла, Па·с; n — частота вращения вала, с^{-1} ; d — диаметр подшипника, м; $c = l/(d+l)$ — коэффициент длины подшипника; l — длина подшипника, м; p — распределенная поверхностная нагрузка на вал, Па; S — зазор сопряжения (разность диаметров подшипника и вала $2r_{\text{п}} - 2r_{\text{в}}$ (см. рис. 93), м.

Принято считать, что оптимальный зазор $S_{\text{опт}}$ [м] сопряжения вал — подшипник скольжения должен быть в четыре раза больше толщины слоя смазки, т. е. $S_{\text{опт}} = 4h$.

Выразив в формуле (68) h через $S_{\text{опт}}$ и проведя преобразования, получим:

$$S_{\text{опт}} = 0,467 d \sqrt{\mu n c / p}.$$

Полученный оптимальный зазор соответствует первоначальному зазору, получаемому после приработки нового сопряжения, с которого начинается нормальная работа сопряжения.

Исследованиями установлено, что между предельно допустимым зазором $S_{\text{пр}}$ [мм] и оптимальным зазором $S_{\text{опт}}$ [мм] существует зависимость

$$S_{\text{пр}} = S_{\text{опт}}^2 / (4\delta),$$

где $\delta = \delta_{\text{п}} + \delta_{\text{в}}$ — сумма микронеровностей подшипника $\delta_{\text{п}}$ и вала $\delta_{\text{в}}$, остающаяся после их приработки, мм. У большинства нормально приработанных поверхностей подшипников скольжения $\delta = 0,004$ мм.

Подставив в приведенную формулу значения δ и $S_{\text{опт}}$, получим:

$$S_{\text{пр}} = 13,6 \mu n d^2 c / p.$$

В сопряжениях с частотой вращения менее 300 мин^{-1} и в сопряжениях с колебательными движениями, т. е. работающих в условиях полужидкостного, граничного или полусухого трения, предельный зазор следует принимать в 2—3 раза больше $S_{\text{опт}}$.

§ 142. Износ подшипников качения

Усталостное разрушение подшипников качения — следствие воздействия переменных нагрузок на его элементы. На поверхностях шариков (роликов, игл) и колец вследствие усталости материала возникают повреждения в виде язвин, точек, шелушения, изломов, трещин. Происходит также истирание внутренних рабочих поверхностей элементов подшипника, влияющее на размеры зазоров. Осевые и радиальные зазоры проверяют специальными приборами и приспособлениями. Для подшипников качения предельно допустимый осевой зазор (в обе стороны) составляет: не более 0,3 мм при наружном диаметре 60—100 мм; 0,4 мм при наружном диаметре более 100 мм.

Срок службы подшипника — время T [ч], в течение которого не менее 90% подшипников эксплуатируются без проявления признаков начала усталости материала:

$$T = \frac{10^6}{60 n} \left(\frac{c}{Q} \right)^p,$$

где n — частота вращения, мин^{-1} ; c — динамическая грузоподъемность подшипника, Н; Q — эквивалентная нагрузка, Н; p — показатель степени, зависящий от типа подшипников (для шариковых $p=3$; для роликовых $p=3,33$).

Значения динамической грузоподъемности c подшипника, зависящей от его типа, размера, материала и нагрузки на него, приведены в справочной литературе.

Эквивалентная нагрузка

$$Q = (R + mA) k_1 k_2 k_3,$$

где R — радиальная нагрузка, Н; $m=1,5 \div 5$ — коэффициент перевода осевой нагрузки A [Н] в радиальную; k_1 — коэффициент безопасности, учитывающий характер нагрузки (при спокойной нагрузке $k_1=1$, при нагрузке с умеренными толчками $k_1=1,3 \div 1,8$, при ударной $k_1=2 \div 3$); k_2 — коэффициент, учитывающий характер вращения (при вращении наружного кольца $k_2=1,2$, при вращении внутреннего кольца $k_2=1$); k_3 — температурный коэффициент (при рабочей температуре подшипника до 125°C $k_3=1$, при $125\text{—}250^\circ \text{C}$ $k_3=1,05\text{—}1,4$).

Срок службы подшипников качения зависит от точности изготовления, качества монтажа и обслуживания, условий эксплуатации. Износ подшипника определяют по характеру шума, с помощью стетоскопа.

§ 143. Износ зубчатых колес

Трущиеся поверхности зубчатых колес подвержены одновременному воздействию трения скольжения и трения качения, вызывающему изнашивание рабочих поверхностей зубьев, т. е. изменение их толщины и искажение формы. В результате этого нарушается правильность зацепления, что в свою очередь ведет к неравномерности передачи усилия и повышению динамических нагрузок на зубья, а следовательно, к еще более интенсивному изнашиванию и, в некоторых случаях к поломке зубьев. При попадании в смазку посторонних частиц процесс разрушения трущихся поверхностей зубьев усугубляется абразивным изнашиванием.

Принято считать, что предельный износ зубьев стальных зубчатых колес (при окружной скорости $v > 3$ м/с) не должен превышать 5—10% первоначальной толщины зуба; для тихоходных стальных зубчатых колес ($v < 3$ м/с) предельный износ не должен превышать 10—20% толщины зуба. При тяжелых условиях работы, характерных для обогатительного оборудования, нужно принимать меньшие значения износа. Максимально допустимый износ зубьев цементированных колес не должен превышать 0,8 толщины цементации.

Рекомендуются следующие основные проверочные расчеты на прочность зубчатых колес:

- расчет на контактную выносливость (предотвращение усталостного выкрашивания активных поверхностей зубьев);

- расчет на контактную прочность при действии максимальной нагрузки (предотвращение остаточной деформации или хрупкого разрушения поверхностного слоя);

- расчет на выносливость при изгибе (предотвращение усталостного излома зубьев);

- расчет на прочность при изгибе максимальной нагрузкой (предотвращение остаточной деформации или хрупкого излома зуба).

§ 144. Износ цилиндропоршневой группы

В цилиндропоршневую группу входят следующие основные детали: цилиндр, поршень, поршневые кольца, шток. Изнашивание деталей этой группы происходит при неправильной сборке, недостаточной или некачественной смазке, попадании в цилиндр (в воздушных компрессорах) пыли вместе с засасываемым воздухом.

Трущиеся поверхности цилиндра по окружности и длине изнашиваются неравномерно. Неравномерный износ, в результате которого цилиндр приобретает овальную форму, объясняется следующим. Воспринимаемое поршнем давление по прави-

лу параллелограмма раскладывается на две составляющие, одна из которых прижимает поршень к стенке цилиндра, выжимает смазку и увеличивает трение, а следовательно, и износ трущихся поверхностей. При изменении направления движения поршня сила переменит знак и прижмет поршень к противоположной стороне. Попеременное давление поршня на стенки цилиндра вызывает неравномерный износ их рабочих поверхностей.

Изнашивание поршня наблюдается в виде истирания боковых поверхностей (эллипсность поршня), получения царапин, задиров и трещин на боковой поверхности, увеличения канавок для колец, принимающих трапецевидную форму, появления трещин в днище поршня. Предельный износ поршня по диаметру не должен превышать 0,03%. В поршневых машинах простого действия износ канавок и помещенных в них колец тем интенсивнее, чем ближе они к рабочей части цилиндра. В машинах двойного действия крайние канавки и кольца изнашиваются быстрее, чем средние. Износ канавок не должен превышать 0,02 мм.

Наиболее интенсивно изнашиваются поршневые кольца, в особенности крайние, под которыми развивается наибольшее давление. От трения о стенки кольцо утончается и в месте стыка расходится, в результате чего увеличивается пропуск воздуха через зазор. Кольцо теряет упругость, делается податливым и еще больше трется о стенки цилиндра. Поршневые кольца подлежат замене, если радиальный износ достигает 1—2 мм, а осевое утончение 0,02 мм. Предельный зазор между канавкой и кольцом не должен превышать 0,03 мм.

Износ пары цилиндр — поршень приводит к изгибу оси штока. Прогиб оси (биение) штока не должен превышать 0,1 мм. Прогнувшийся шток восстанавливают проточкой на токарном станке.

§ 145. Методы определения износа

Обнаружение изношенных деталей, сопряжений и общих неисправностей в работе оборудования имеет важное значение в предупреждении простоев и аварий и осуществляется методами дефектоскопии.

На скорость, тип и распределение коррозии влияют внутренние и внешние факторы. К первым относятся состав, структура, внутренние напряжения и состояние поверхности металла, ко вторым — состав коррозионной среды и условия коррозии (температура, давление, скорость движения металла относительно среды и т. д.). Коррозионное разрушение оценивают качественным и количественным методами.

Качественный метод, производимый визуально, состоит в проверке состояния поверхности, подвергающейся коррозии, и состояния среды, омывающей эту поверхность. Появление на поверхности детали или в омывающей среде продуктов коррозии свидетельствует о наличии коррозионного разрушения.

Количественные методы основаны на определении скорости коррозии и фактических механических характеристик металла. Скорость коррозии оценивают массовым или объемным способом, т. е. определением массы или объема продуктов коррозии, образующихся на единице поверхности металла детали в течение определенного времени (неделя, месяц, год). Свойства исследуемого металла оценивают изменением его механических свойств, количеством выделившегося водорода или поглощенного кислорода. Характер коррозии и ее скорость определяют путем систематических осмотров и измерений, проводимых периодически в течение всего срока службы оборудования.

§ 146. Способы уменьшения износа

Вид износа и его размеры зависят от многих факторов, основными из которых являются: свойства материала детали и качество обработки поверхностей; конструктивные особенности деталей и узлов; свойства среды, с которой соприкасается трущаяся поверхность; характер взаимодействия трущихся поверхностей (относительная скорость движения, удельное давление); способ смазки и качество смазочного материала. Поэтому повышение сопротивления изнашиванию достигают осуществлением комплекса мероприятий, учитывающих влияние перечисленных факторов.

Правильный выбор конструкционных материалов при проектировании и изготовлении оборудования — наиболее радикальный способ предупреждения интенсивного изнашивания.

Необходимые свойства деталям и их поверхностям придают термической или химико-термической обработкой. Основные способы такой обработки приведены в § 160.

Поверхностное упрочнение деталей методом наклепа осуществляют дробеструйной обработкой, наклепыванием шариками, поверхностной обкаткой, дорнованием. При пластической деформации металла в холодном состоянии увеличивается его твердость и уменьшается вязкость. Наклеп позволяет увеличить срок службы деталей при сохранении условий эксплуатации.

Дробеструйная обработка заключается в том, что готовая деталь подвергается действию в течение 3—5 мин мелкой дроби из отбеленного чугуна, который подают струей воздуха под давлением 0,5—0,6 МПа.

Наклепывание шариками производят центробежными упрочнителями, рабочим органом которых служит сепаратор, в котором свободно размещены шарики. При вращении сепаратора

шарики под действием центробежной силы выдвигаются на определенное расстояние, ударяя о поверхность детали. Такую обработку применяют для внутренних и наружных поверхностей деталей из черных и цветных металлов: коленчатых валов, гильз цилиндров, втулок, вкладышей подшипников. Глубина наклепа 0,8—1,5 мм для мягких материалов и 0,3—0,8 мм для материалов средней твердости.

Поверхностная обкатка заключается в перемещении одного или нескольких свободно вращающихся роликов или шариков по обрабатываемой поверхности под давлением. Обкатку применяют для обработки цилиндрических и плоских деталей несложной конфигурации, изготовленных из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных металлов и других материалов, которые в холодном состоянии деформируются без разрушения. После обкатки твердость поверхности увеличивается на 15—25%, шероховатость поверхности может быть изменена с $R_a=2,5$ мкм до $R_a=0,32$ мкм.

Дорнование — процесс продавливания дорна или стальных шариков через отверстие. Шероховатость поверхности изменяется с 2,5 до 0,16 мкм при одновременном повышении износостойкости детали.

Конструктивные меры борьбы с износом основаны на недопустимости интенсивного изнашивания оборудования по причине неудачного конструктивного решения того или иного узла. Конструктивная несостоятельность оборудования с точки зрения износостойкости может быть также обусловлена изменением параметров его работы (давления, температуры, физико-химических свойств среды и т. п.).

Ингибирование — введение в агрессивную рабочую среду специальных веществ (ингибиторов), снижающих скорость коррозии металла. В зависимости от свойств агрессивных сред различают ингибиторы кислотной, щелочной, атмосферной коррозии и коррозии в нейтральных средах.

Для защиты оборудования, работающего в средах с высокой электропроводностью, применяют *электрохимическую защиту* — катодную и протекторную.

Глава 35

ПОДГОТОВКА МАШИН К РЕМОНТУ

§ 147. Структура технологического процесса ремонта

Подготовка к ремонту состоит из ряда взаимосвязанных мероприятий, основная задача которых — обеспечение высокого качества работ при наименьшей продолжительности простоев

оборудования. Основные виды подготовки: дефектно-сметная, конструкторская, материальная, организационная, технологическая.

Дефектно-сметная подготовка заключается в составлении ведомости дефектов и сметы на производство ремонтных работ. На основании ведомости дефектов определяют объем ремонтных работ и потребность в материалах, запасных частях, подъемно-транспортных машинах и вспомогательном оборудовании. В ведомости дефектов указывают перечень деталей и узлов оборудования и необходимые ремонтные работы. Смету на производство работ составляют на основании действующих прейскурантных цен, фактической себестоимости деталей и узлов, изготавливаемых силами предприятия, и затрат на ремонт.

Конструкторская подготовка заключается в обеспечении ремонтных работ необходимой технической документацией (рабочие чертежи узлов и деталей, эскизы на восстанавливаемые детали, ремонтные чертежи и т. п.). Она включает в себя проектирование приспособлений и оснастки, специальных инструментов. В процессе конструкторской подготовки прорабатывают вопросы модернизации оборудования и унификации деталей и узлов. Ее проводит проектный или конструкторский отдел предприятия.

Материальная подготовка предусматривает: приобретение необходимых материалов и изделий; доставку деталей, приспособлений, инструментов и оснастки; доставку материалов и изделий к месту ремонта; установку подъемно-транспортных механизмов; подготовку площадок для нового и заменяемого оборудования.

Организационная подготовка включает в себя оформление заявок на покупные материалы и изделия, составление плана организации работ и графика ремонта, инструктаж рабочих и ИТР, согласование порядка и очередности остановки оборудования, назначение ответственных за отдельные виды работ.

Технологическая подготовка заключается в выборе технологии изготовления или восстановления деталей и определении предприятий или цехов для этих целей. На детали собственного производства (восстановление) составляют ремонтные (технологические) карты способов изготовления и задания на проектирование оснастки. Способы восстановления деталей следует выбирать с учетом их конструктивных особенностей, материала, характера воспринимаемых нагрузок, размеров и характера износа. В ремонтных картах указывают причины брака, способы восстановления ремонтнопригодных деталей, применяемое оборудование и инструмент, нормы времени и расценки на каждую ремонтную операцию.

§ 148. Разборка оборудования

Перед разборкой оборудование необходимо отключить от электрической сети и других коммуникаций, освободить от кожухов, ограждений и других предохранительных элементов. Разборку производят узловым или агрегатным методом. При текущем ремонте разбирают только те узлы, которые нуждаются в ремонте, а при капитальном — полностью разбирают все механическое оборудование. Массивные узлы разбирают с использованием грузоподъемных механизмов. Разбирать оборудование следует на специально отведенной площадке цеха, удаленной от мест сборки узлов и машин. Разбирают оборудование в последовательности, предусмотренной технологическим процессом. Объем работ по разборке зависит от типа оборудования и вида ремонта. В технологических картах на разборку оборудования указывают последовательность выполнения операций, применяемые приспособления и инструмент, нормы времени и основные технологические условия на разборку. Детали каждого из разбираемых узлов и механизмов следует помечать и складывать отдельно от деталей других узлов. Если разбираемый узел состоит из двух и более одинаковых деталей, то, чтобы при сборке не спутать их, на рабочие поверхности деталей наносят метки. Метки ставят и в тех случаях, когда требуется точная ориентировка одной из деталей относительно другой; на съемной детали указывают верх, низ, правую и левую стороны. В процессе разборки нельзя допускать обезличивания деталей, которые взаимно сбалансированы либо имеют взаимно фиксированные положения.

Разборку можно производить по методам последовательного и комбинированного хода операций. Длительность разборки при комбинированном методе, т. е. при одновременной разборке нескольких узлов, будет меньше.

Рассмотрим технологические особенности разборки наиболее часто встречающихся видов соединений.

Резьбовые соединения — наиболее распространенный вид разъемных соединений в конструкциях машин и аппаратов. Применяют в основном цилиндрические резьбовые соединения — с крепежной и со специальной резьбой. К первым относятся основная и мелкая резьба, ко вторым — трубная, трапецеидальная, прямоугольная, упорная, круглая и др. Для разборки резьбовых соединений применяют механизированный инструмент с электро- или пневмоприводом (гайковерты и шпильковерты), а также гаечные ключи. При разборке резьбовых соединений прикладываемый крутящий момент в 1,5—2 раза превышает крутящий момент, необходимый при сборке соответствующего нового соединения. Если оборудование эксплуатировалось в условиях высоких температур, агрессивных сред и воз-

можного отложения грязи, солей и нагара, то доступные поверхности разбираемых соединений очищают от грязи и промывают керосином или горячей водой.

Соединения с гарантированным натягом разбирают с помощью специальных съемников (винтовых, гидравлических) и прессов (гидравлических и винтовых).

§ 149. Очистка, мойка деталей

Перед началом ремонта наружные поверхности оборудования очищают от пыли, загрязнений и отложений. Способы очистки зависят от назначения и габаритов оборудования и включаются в технологию ремонта конкретного оборудования. Узлы и детали сначала очищают от грязи деревянными чистилками, вытирают сухими или смоченными в керосине концами, а затем промывают в специальных выварочных ваннах или моечных машинах (конвейерных, камерных). Для очистки деталей от смазочных материалов применяют водощелочные растворы на основе каустической или кальцинированной соды.

Применяют ультразвуковой способ очистки деталей, основанный на возмущении промывочной жидкости созданием режима кавитации. Такой способ обычно применяют для очистки мелких деталей со сложной конфигурацией.

Нагар с поверхностей удаляют деревянными или алюминиевыми скребками, обдувом косточковой крошкой или мытьем нагретыми концентрированными щелочными растворами. Поверхность стальных деталей от накипи очищают растворами кальцинированной соды или разбавленной соляной кислотой. Детали из черных и цветных металлов промывают в растворах тракторина или ламбобиды-203. Алюминиевые детали обрабатывают слабым раствором молочной кислоты.

Эффективный и широко распространенный при ремонте способ — струйная очистка деталей, при которой на слой загрязнения помимо физико-химического действия моющей жидкости оказывает влияние энергия удара струй жидкости. Такая очистка производится в моечных машинах периодического (однокамерных) и непрерывного действия (одно-, двух- и трехкамерных).

§ 150. Дефектация деталей

Детали машин после мойки и сушки подвергают дефектации и сортировке, цель которых выявить степень износа и определить пригодность к дальнейшему использованию. Выявляют износы рабочих поверхностей деталей в виде изменения размеров и геометрических форм, наличия царапин, рисок, остаточных деформаций, трещин, обломов, пробоев, выкрашивания, измене-

ния физико-механических свойств поверхностного слоя или детали в целом. По каждому типу машин составляют технические условия на дефектацию и сортировку деталей, содержащие возможные дефекты деталей, способы определения этих дефектов, методы, приборы и инструменты для производства контроля.

В соответствии с техническими условиями детали разделяют на четыре группы: годные, износ которых не превышает допустимых размеров (их отправляют на сборку или на склад деталей); условно годные, имеющие незначительный остаточный ресурс (они не могут быть установлены в капитально отремонтированное оборудование, но могут быть использованы для поддержания работоспособного состояния оборудования на небольшой срок); подлежащие ремонту, износ и повреждения которых могут быть устранены (их отправляют в ремонт или на склад деталей, ожидающих ремонта); забракованные, ремонт которых невозможен или экономически нецелесообразен (их отправляют на склад металлолома, с указанием марки металла, из которого изготовлена деталь). После сортировки детали маркируют, окрашивают в тот или иной цвет.

Последовательность проведения дефектации: внешний осмотр, измерения, специальные методы.

Внешним осмотром выявляют повреждения, видимые невооруженным глазом, — крупные трещины, пробоины, задиры, изломы, коррозию, следы кавитации и т. п.

Измерения с целью контроля размеров и геометрической формы производят универсальными измерительными инструментами — штангенциркулями, штангенрейсмусами, микрометрами, нутрометрами, специальными калибрами и приспособлениями.

Специальные методы предназначены для обнаружения скрытых дефектов. К этим методам относят: цветной, люминесцентный, магнитный, ультразвуковой и др.

Цветной метод применяют для выявления поверхностных трещин шириной не менее 20—30 мкм в деталях из металлов, сплавов и неметаллических материалов.

Люминесцентный метод применяют для выявления поверхностных трещин шириной более 10 мкм в деталях из цветных металлов и неметаллических материалов. Этот метод основан на свойстве некоторых веществ светиться в ультрафиолетовых лучах.

Магнитный метод применяют для выявления трещин шириной до 1—5 мкм в деталях из ферромагнитных материалов (сталь, чугун). Метод основан на свойстве магнитного потока при прохождении им скрытого дефекта рассеивать магнитные силовые линии и образовывать местные магнитные поля.

Ультразвуковой метод применяют для обнаружения внутренних дефектов в деталях (трещин, раковин и т. п.). Этот метод

основан на свойстве ультразвуковых волн отражаться от границы раздела двух сред (металл, пустота) вследствие резкого изменения плотности среды и акустического сопротивления.

Для определения дефектов в сварных швах применяют *магнитоакустический метод* контроля.

Глава 36

СБОРКА МАШИН

§ 151. Общие сведения

Сборкой называют совокупность операций соединения готовых деталей в определенной последовательности для получения сборочной единицы, соответствующей сборочному чертежу и требуемым техническим условиям. Сборка — завершающая стадия производства машин, осуществляемая после изготовления или ремонта деталей.

Монтажный (ремонтный) узел — соединение нескольких деталей, которое может быть выполнено независимо от других сопрягаемых частей машины, а также снято или установлено в собранном виде как одно целое. В зависимости от порядка сборки машины узлы подразделяют на группы и подгруппы. **Группа** — соединение нескольких узлов, представляющих собой самостоятельную часть машины. **Подгруппа** — узел, являющийся составной частью группы.

Сборочные работы состоят в соединении деталей и узлов; их выполняют по сборочным чертежам, в которых указывают проекции и разрезы; спецификацию деталей и узлов; размеры, выдерживаемые при сборке; зазоры и посадки; технические условия на собираемое изделие и процесс сборки. В зависимости от взаимного положения собранных деталей соединения бывают: неподвижные, подвижные, неразъемные, разъемные.

При сборке в отличие от монтажа машину устанавливают не на проектный фундамент, а на временное основание.

Детали и узлы, с которых начинают сборку, называют **базовыми**. Сборку начинают с базовой детали. Последовательность сборки указана в технологической карте сборки.

Сборку машин после ремонта производят из деталей трех групп: номинальных размеров, ремонтных и с допустимым износом. При комплектовании узлов недостающие забракованные детали заменяют новыми или отремонтированными. Оборудование собирают в следующей последовательности: соединяют детали в сборочные единицы; сборочные единицы и детали — в агрегаты; агрегаты, сборочные единицы и детали — в машины в соответствии с их кинематической схемой, характером посадок и величиной размерных цепей.

§ 152. Разработка технологического процесса сборки машин

Процесс сборки зависит от характера производства, которое может быть единичным, мелкосерийным, серийным, крупносерийным, массовым.

В единичном и мелкосерийном производстве сборку производит бригада слесарей-сборщиков на одном рабочем месте, к которому подают все детали и узлы. Такую сборку называют стационарной, ее недостаток — большие затраты времени.

В серийном производстве применяют сборку оборудования со специализацией по отдельным процессам и операциям — дифференцированная сборка. Сборочные единицы и агрегаты собирают параллельно, затем они поступают на общую сборку.

В крупносерийном и массовом производствах применяют поточную сборку — подвижную (конвейерную) или стационарную. Для соблюдения непрерывности процесса поточной сборки необходимо выдерживать его ритмичность, которую обеспечивают тем, что продолжительность каждой операции равна или кратна темпу выпуска изделия с данной поточной линии.

Разработка технологического процесса сборки заключается в выборе способа сборки, разработке последовательности операций, разработке схемы сборки и операционной технологии на сборку каждого узла и узловую сборку машины, нормировании сборочных работ, составлении технологических карт сборки.

При определении необходимых зазоров и натягов в процессе сборки пользуются так называемыми размерными цепями.

Размерной цепью называют замкнутую цепь взаимно связанных размеров, расположенных в определенной последовательности. По числу размеров (звеньев), входящих в размерную цепь, они могут быть простыми и сложными. Основное свойство размерных цепей заключается в их замкнутости и влиянии на любое звено цепи отклонений по другим звеньям. На рис. 94, а показана простая размерная цепь, состоящая из отверстия диаметром A , вала диаметром B и зазора X . При изменении диаметров A и B изменяется и зазор X . Размерная цепь, показанная на рис. 94, б может быть представлена уравнением $X = A + B + C + D - E$. Размеры A, B, C, D и другие называют составляющими звеньями, а X — замыкающим звеном.

В узлах и сопряжениях замыкающим звеном обычно является зазор. Допуск этого звена равен алгебраической сумме допусков составляющих звеньев. Обычно замыкающим в размерной цепи выбирают самое грубое по точности звено, на которое можно отнести суммарный допуск всей цепи. Расчет допусков размерной цепи при сборке машины позволяет определить: по заданным допускам всех составляющих звеньев собираемого

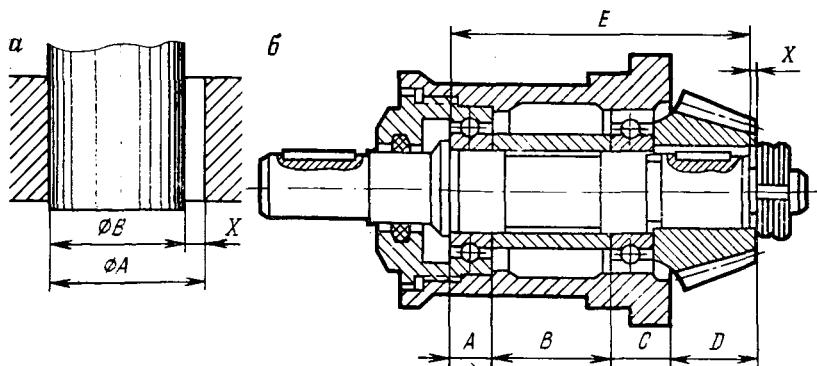


Рис. 94. Размерные цепи

узла — допуск замыкающего звена; по заданному допуску замыкающего звена — допуски составляющих звеньев; исходя из общих требований к собираемому узлу — наиболее рациональное сочетание допуска замыкающего звена и допусков остальных звеньев.

§ 153. Виды сборки деталей и узлов

Применяют различные виды сборки: полную взаимозаменяемость; сортировку деталей по группам (селективная сборка); подбор (неполная взаимозаменяемость); с помощью компенсаторов; пригонку или изготовление деталей по месту.

Взаимозаменяемость деталей — пригодность любой детали данной партии для сборки без дополнительной обработки и пригонки. То же относится к взаимозаменяемости узлов и агрегатов. Если при перестановке однотипных деталей (узлов) не требуется производить дополнительную обработку и подбор их, то взаимозаменяемость называется *полной*.

Сборка с применением полной взаимозаменяемости сводится к соединению деталей без подбора и пригонки и получением с заданной точностью требуемого зазора или натяга. Для полной взаимозаменяемости деталей (узлов) необходимо применение совершенных методов обработки, наличие точных приспособлений, инструментов и приборов.

Селективную сборку применяют там, где по условиям необходимо получить минимальный зазор или натяг. Это достигается подбором деталей из одноименных групп, образованных при изготовлении деталей одинаковых размеров (в пределах допуска).

Сборку с применением подбора деталей целесообразно применять для сочленений, имеющих многозвенные размерные цепи

при высокой заданной точности их замыкающих звеньев. Этот метод сборки позволяет расширить допуски на все звенья размерной цепи, что значительно удешевляет изготовление деталей.

Сборка с применением компенсаторов позволяет все звенья размерной цепи кроме одного обрабатывать по допускам, приемлемым для данного производства. Необходимая точность размерной цепи обеспечивается изменением величины только одного из звеньев. Получение при сборке необходимой точности размерной цепи достигается применением различных компенсаторов: неподвижных (прокладки, шайбы, кольца и т. п.) и подвижных (клинья, муфты, втулки и т. п.).

Компенсаторные устройства широко применяют при ремонте машин для выбора зазора после износа сопряжения.

Сборка с применением пригонки применяют, когда установленный предел точности замыкающего звена в размерной цепи целесообразно достигнуть изменением размера одного из звеньев путем снятия стружки. Различают следующие виды пригоночных слесарно-сборочных работ: опилование, зачистку, сверление отверстий по месту и нарезание резьбы, притирку, шлифование, полирование, шабрение, резку, снятие фасок под сварку, гибку. Эти виды работ выполняют как при сборке нового оборудования, так и при ремонте действующего.

Сборка неподвижных соединений. Неподвижные соединения могут быть неразъемными и разъемными. Неразъемные соединения — сварные, паяные, заклепочные, клееные, с горячей посадкой, с охлаждением, с посадкой под давлением; разъемные — болтовые, винтовые, на шпильках и шпонках.

Сборку с помощью нагрева применяют главным образом при большом диаметре охватываемой детали и небольшой ее длине. Охватываемую деталь нагревают в масляной ванне или в индукторе до 150—250 °С и надевают на охватываемую деталь.

Вместо нагревания отверстия применяют *охлаждение вала* с помощью жидкого воздуха (температура испарения — 190 °С) или сухого льда (углекислота, температура испарения — 79 °С).

При *запрессовке* одну деталь (например, вал) вдвигают в отверстие под действием осевой силы. Поверхностные слои металла сопрягаемых деталей деформируются и между ними возникает давление, которое обеспечивает соединение с гарантированным натягом. Крупные детали запрессовываются с помощью гидравлического пресса, мелкие — винтовыми и рычажными прессами.

Резьбовое неподвижное разъемное соединение обеспечивает высокую надежность, допускает регулирование затяжки и многократную сборку.

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

§ 154. Методы и способы восстановления изношенных деталей

Применяют два основных метода восстановления изношенных деталей обогатительного оборудования: с изменением первоначальных (нормальных) размеров деталей; без изменения первоначальных размеров.

Первый метод наиболее распространенный и заключается в том, что восстановление производится за счет увеличения размеров посадочных мест обеих сопряженных деталей или, наоборот, за счет уменьшения размеров их посадочных мест.

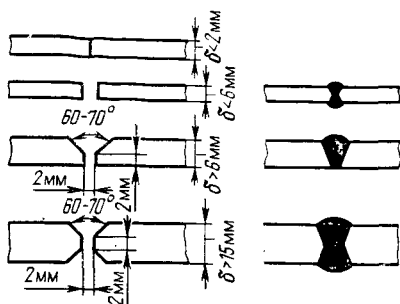
Второй метод заключается в том, что размеры сопряженных деталей восстанавливают наращиванием металла или иным способом с последующей обработкой их на нормальный размер. Этот метод позволяет полностью восстановить проектные допуски и посадки. Наиболее простой и прогрессивный способ восстановления нормальных характеристик ремонтируемого узла — замена сопрягаемых деталей новыми. Процентное соотношение заменяемых и ремонтируемых деталей машины определяется техническими возможностями ремонтных предприятий и с учетом экономической целесообразности восстановления.

Восстановлению подлежат размеры деталей, их геометрическая форма, прочность, твердость, посадка и т. д. Основные способы восстановления деталей: сварочно-наплавочный; металлизация; гальванический; химический, пластическая деформация; склеивание; механическая обработка; электрическая обработка. При выборе способа восстановления необходимо руководствоваться размером выбраковочного износа или характером повреждения детали, ее твердостью, размерами, конфигурацией, условиями эксплуатации и конкретными возможностями ремонтного предприятия. Следует отметить, что при выборе способа восстановления ремонтные предприятия зачастую исходят из своих производственно-технических возможностей и не всегда используют передовой опыт как из-за отсутствия необходимого оборудования и опыта, так и из-за сложившихся на предприятии традиций.

Соотношение применяемых на ремонтных предприятиях способов в общем объеме восстановления составляет, %:

ручная электронаплавка	44,5
хромирование	20,3
цинкование	6,9
автоматическая наплавка под слоем флюса	4,7
наплавка в среде CO_2	1,1
наплавка нержавеющей проволокой	0,4
другие способы	12,8

Рис. 95. Виды кромок, подготовленных под сварку



Из приведенных данных следует, что почти половина объема восстановления приходится на ручную электронаплавку.

§ 155. Восстановление деталей сваркой и наплавкой

Сварка — процесс неразъемного соединения металлов посредством местного сплавления или нагрева до пластического состояния и соединения с помощью механических усилий. Сваркой восстанавливают изношенные и поврежденные детали соединением отдельных их частей, заваркой трещин и наращиванием изношенных поверхностей. По виду энергии различают химическую (кузнечную, газовую, термитную) и электрическую (электродуговая ручная, электродуговая полуавтоматическая и автоматическая под флюсом, контактная и др.) сварку.

При ремонтных работах применяют следующие виды сварочных работ: сварка, наплавка, заварка. Сваривать приходится поврежденные станины и рамы машин, ободы, спицы, ступицы зубчатых колес и шкивов, а также заплаты на резервуарах, бункерах и других металлических конструкций.

Наплавлять слой металла на места с недопустимым износом необходимо в различных деталях из углеродистых и легированных сталей (гнезда корпусов машин и механизмов, звездочки, щеки дробилок и т. д.).

Заварка применяется для заделки отверстий, раковин, трещин и других подобных дефектов.

Для получения надежного сварного соединения требуется правильно подготовить шов необходимой формы — X-образный или V-образный (рис. 95) в зависимости от толщины δ свариваемого места детали.

Электродуговая (ручная) сварка и наплавка. Электрическая дуга с температурой 4000—5000 °С разогревает кромки соединяемых деталей и конец электрода, в результате чего образуется ванна из жидкого расплавленного металла, который, перемещаясь, заполняет стык в свариваемых деталях и после остывания образует шов. Для защиты расплавленного металла от взаимодействия с кислородом и азотом воздуха электроды

(присадочный материал) обычно покрывают специальными обмазками или применяют защитные среды: газовую (сварку в среде защитных газов) или сыпучую (сварка под слоем флюса).

Для электродуговой сварки и наплавки применяют источники переменного и постоянного тока. При переменном токе используют сварочные трансформаторы ТС-300, ТС-55, ТД-300, ТД-500.

При постоянном токе применяют сварочные генераторы. Сварку постоянным током ведут только в случаях, когда переменный ток не применим. При постоянном токе электрическая дуга получается более устойчивой и можно пользоваться сваркой по прямой и обратной полярности. В электрической дуге больше тепла концентрируется на аноде (прямая полярность). Если требуется небольшой нагрев детали, то ее подсоединяют катодом (обратная полярность).

Электродуговую сварку угольным или графитовым электродом на постоянном токе применяют при сварке тонких стальных листов, цветных металлов и сплавов, при наплавке твердых сплавов.

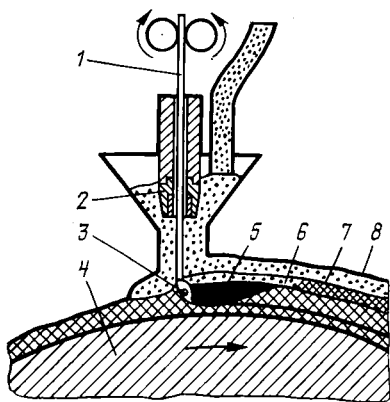
Более экономичны источники питания на переменном токе. При ручной сварке на переменном токе расход электроэнергии составляет 3—4 кВт·ч на 1 кг наплавленного металла, а при сварке на постоянном токе 6—8 кВт·ч.

Электроды для дуговой сварки выбирают в зависимости от химического состава металла детали, толщины наплавляемого слоя и вида обработки восстанавливаемых поверхностей.

Применение наплавки позволяет быстро получить слой наплавленного металла значительной толщины, обладающий высокой сопротивляемостью износу при нормальной и повышенной температуре, способный сопротивляться термической усталости и сохранять длительную стойкость в агрессивных средах, а также наносить слой, обладающий высокой стойкостью против абразивного износа. Применение наплавки позволяет многократно восстанавливать детали независимо от размера износа, что значительно уменьшает расход металла для изготовления запасных частей. Применяемое для наплавки оборудование сравнительно несложное и недорогое, а сам процесс экономичен. Недостатки ручной наплавки: низкая производительность, тяжелые условия труда, снижение предела выносливости наплавленных деталей.

Полуавтоматическая и автоматическая электродуговая сварка и наплавка под флюсом обеспечивают: непрерывность процесса благодаря использованию электродной проволоки в виде больших мотков; применение токов большой силы без перегрева электрода; использование механизмов для подачи электродов и перемещения дуги или изделия. Принцип такой сварки и наплавки состоит в том, что сварочная дуга находится под сло-

Рис. 96. Схема механизированной наплавки под флюсом



ем сухого зернистого вещества, называемого флюсом. Дуговой промежуток и расплавленный металл окружены оболочкой расплавленного флюса, поэтому доступ атмосферного воздуха к ним исключен, что в значительной мере снижает содержание в наплавленном металле азота и кислорода.

На рис. 96 показана схема механизированной наплавки под флюсом. На непрерывно движущуюся электродную проволоку 1 через втулку 2 подается ток, создающий дугу 3. Расплавленные капли проволоки смешиваются с расплавленным металлом изделия 4 и образуют сварочную ванну 5. Образующийся сварочный валик 6 покрыт шлаковой коркой 7 и нерасплавившимся флюсом 8. При вращении изделия флюс осыпается, шлаковая корка удаляется перед наплавкой следующего валика. Под слоем флюса образуется однородный наплавленный металл, свободный от пор и раковин.

Наплавку в защитных газах применяют для деталей сложной формы, где необходимо наблюдение за дугой и ее управлением. В качестве защитной среды применяют углекислый газ, аргон, гелий. Вытесняя воздух, газ предохраняет расплавленный металл от вредного воздействия кислорода и азота. Сварка производится плавящимися и неплавящимися электродами ручным, полуавтоматическим и автоматическим способами. Этот способ позволяет сваривать и наплавлять детали, изготовленные из алюминия, меди и других цветных металлов. Недостаток способа — большие потери металла на разбрызгивание.

Вибродуговая наплавка заключается в переносе металла небольшими порциями при коротких замыканиях при сравнительно малой плотности тока на электроде. Изменяя частоту вибрации плавящегося электрода (от 30 до 100 Гц), можно изменять массу перенесенного металла, что способствует хорошему формированию тонких слоев и узких валиков. Для уменьшения термического влияния и деформации наплавляемой детали в дугу

или на валик подают охлажденный 4—5%-й раствор кальцинированной соды, что способствует закалке наплавленного металла. Вибродуговую наплавку применяют для восстановления деталей малого диаметра и тонкостенных деталей при необходимости нанесения равномерного тонкого слоя металла при минимальной деформации.

Газовая сварка и наплавка основаны на получении высокой температуры при сгорании горячих газов в струе кислорода. В качестве горючего применяют газы: ацетилен, водород, метан, пары бензина и др. Наибольшее распространение получило ацетилено-кислородное пламя с температурой до 3200 °С. Ацетилено-кислородным пламенем можно сваривать металлы с высокой температурой плавления и большой теплопроводностью.

§ 156. Восстановление деталей гальваническим покрытием

Гальванические покрытия применяют для восстановления изношенных деталей, защиты от коррозии и декоративных целей. В настоящее время наибольшее распространение получили процессы хромирования, осталивания, меднения, никелирования и цинкования. Для восстановления и повышения износостойкости деталей используют хромирование и осталивание. Остальные способы применяют для антикоррозионных и декоративных покрытий.

Процесс гальванического покрытия осуществляется следующим образом (на примере хромирования). В ванну 2 со свинцовыми обкладками 1 (рис. 97), наполненную раствором, опускают деталь 3 (катод) и свинцовую пластину 4 (анод). Ванна оборудована бортовыми отсосами воздуха 5. К детали и пластине присоединяют источник постоянного тока. При прохождении тока через электролит из последнего выделяются положительно заряженные атомы хрома (меди, никеля), которые ровным слоем осаждаются на детали. В качестве анода могут быть использованы свинцовые, угольные, платиновые, железные и медные пластины.

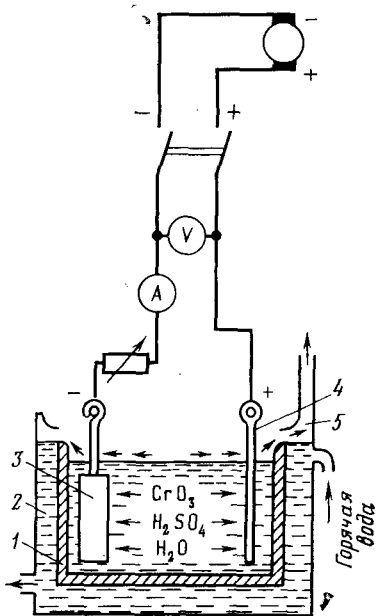


Рис. 97. Схема электролитической ванны для хромирования

Хромирование применяют для восстановления изношенных поверхностей деталей машин и инструментов, нанесения защитно-декоративного покрытия, повышения износостойкости поверхностей деталей и т. п. Хромированные поверхности деталей имеют высокое сопротивление механическому износу, обладают повышенной химической стойкостью, не подвержены коррозии, не чувствительны к нагреву до 400 °С. Хромирование позволяет наращивать слой металла толщиной до 0,5 мм, поэтому этот способ широко применяют для ремонта изношенных деталей и исправления брака.

Основные недостатки хромирования: длительность процесса; многочисленность и сложность подготовительных операций; восстановление деталей с относительно небольшим износом; низкий КПД хромовых ванн; относительно высокая стоимость хромирования.

Основные преимущества хромирования: не нарушается термическая обработка деталей, так как процесс происходит при температуре не выше 70 °С; наращенный слой хрома имеет надежное сцепление с основным металлом детали, высокую твердость и при малой толщине (до 0,3 мм) высокую износостойкость.

Осталивание применяют для восстановления деталей, имеющих значительный износ и работающих в неподвижных сопряжениях. Его применяют также как подслой при восстановлении деталей хромированием, если они имеют значительный износ. Толщина осажденного на детали слоя железа или его сплавов при осталивании достигает 5 мм. При этом можно получать мягкие толстые и твердые тонкие (0,3—2 мм) покрытия, по твердости и износостойкости приближающиеся к термически обработанной стали.

Меднение применяют для восстановления изношенных поверхностей деталей; придания поверхности детали притирочных или смазочных свойств; нанесения противокоррозионного покрытия; нанесения подслоя на детали при их покрытии другими металлами; покрытия не подлежащих цементации поверхностей.

Технология гальванического меднения аналогична хромированию и осталиванию.

Основные достоинства меднения: простота; большой (98—99% при кислом и 67—70% при основном электролитах) выход металла по току; высокая скорость отложения меди (0,04—0,05 мм/ч).

Основные недостатки: при кислом электролите трудно получить устойчивый осадок меди непосредственно на стали и чугуне; при основном цианистом электролите происходят выделения при электролизе паров синильной кислоты, что требует применения герметизированной ванны и хорошей вытяжки в процессе работы.

Никелирование применяют для предохранения основного металла от коррозии. Процесс электролитического никелирования аналогичен выше описанным процессам электролиза. Аноды применяют из технического никеля, содержащего до 10% железа. Выход никеля по току 90—95%, скорость отложения никеля 0,018—0,03 мм/ч. Никелирование позволяет наносить качественные и износостойкие покрытия большей толщины, чем при хромировании.

Химическое никелирование производится выделением никеля из растворов его солей с помощью химических препаратов — восстановителей. Вместе с никелем в процессе реакции происходит восстановление и осаждение фосфора, наличие которого повышает твердость покрытия.

§ 157. Восстановление деталей металлизацией

Металлизацией называют нанесение на поверхность детали расплавленного металла струей сжатого воздуха или инертного газа. Металлизация находит применение для наращивания поверхностей с незначительным износом (посадочные места валов, муфт, шестерен и др.), устранения трещин и нанесения на деталь антифрикционных покрытий, защиты стальных изделий от коррозии, действия воды и химических веществ, а также для нанесения защитно-декоративных покрытий. Толщина покрытия при металлизации в зависимости от его назначения составляет 0,03—10 мм и

более. Напыление имеет преимущество перед наплавкой в том, что деталь не нагревается выше 70—80 °С и поэтому в основном металле детали не происходят структурные изменения и не возникают термические напряжения. В зависимости от способа расплавления металла металлизация подразделяется: на электродуговую, высокочастотную, газовую и плазменно-дуговую.

Электродуговая металлизация осуществляется электродуговым металлизатором (рис. 98, а), в распылительной

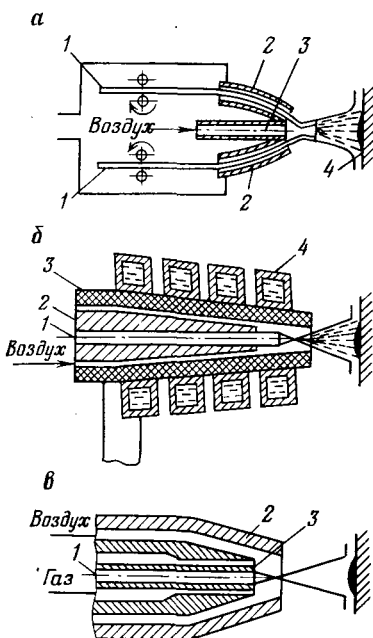


Рис. 98. Основные типы металлизаторов

головке которого электрическая дуга горит между двумя присадочными проволоками 1, которые непрерывно подаются роликовым механизмом со скоростью 0,6—1,5 м/мин по трубчатым наконечникам 2 к воздушному соплу 3. Через сопло в зону дуги поступает воздух или инертный газ под давлением 0,4—0,6 МПа, который захватывает капли расплавленного металла, измельчает их и направляет на поверхность детали 4, расположенной от сопла на расстоянии 75—150 мм.

Электродуговые металлизаторы проволочного типа применяют для напыления сталей и цветных металлов, температура плавления которых не превышает 2800 °С.

Высокочастотная металлизация осуществляется металлом, расплавленным токами высокой частоты (200—500 кГц). В распылительной головке металлизатора (рис. 98, б) присадочная проволока 1 подается по наконечнику 2 и плавится в электромагнитном поле, создаваемом индуктором 4, обмотка которого намотана на воздушное сопло 3. Поток сжатого воздуха уносит частицы расплавленного металла через коническое отверстие на металлизруемую поверхность детали. Металлизаторы типа МВЧ-1 и МВЧ-2 применяют в основном для наплавки стали, слой которой после механической обработки должен иметь толщину не менее 1 мм. Преимущества по сравнению с электродуговой металлизацией: уменьшение выгорания легирующих элементов присадочной проволоки (не более 5—6%) и углерода (в 4—6 раз меньше); снижаются пористость покрытия и удельный расход электроэнергии.

Газовая металлизация производится за счет расплавления присадочной проволоки теплом горючего газа (ацетилена, пропанбутана и др.) и кислорода с последующим размельчением и переносом частиц металла на поверхность детали сжатым воздухом или инертным газом. В распылительной головке газового металлизатора (рис. 98, в) присадочная проволока 1 подается в наконечник 3 и при выходе из него плавится газовым пламенем. Газ подается по нижнему каналу, а воздух по верхнему каналу сопла 2.

Газовый металлизатор МГМ-1-57 применяют для восстановления поверхностей деталей, нанесения покрытий из керамики, тугоплавких соединений и металлов с особо высокой температурой плавления. Недостатки газовой металлизации: относительно высокая стоимость покрытия поверхности детали; сложность установки.

Плазменно-дуговая металлизация основана на способности газов переходить в состояние плазмы при возбуждении электрической дуги под влиянием высокой температуры, повышенного давления газа и эмиссии электронов с поверхности катода. Плазма, представляющая собой поток заряженных частиц, обладает высокой электрической проводимостью. Температура

плазмы выше температуры электрической дуги и может достигать 10 000—35 000 °С. В зависимости от схемы включения возможны три вида плазменной дуги: открытая, когда анодом служит деталь (применяют для резки, сварки и наплавки); закрытая, когда анодом является сопло (применяют для металлизации); комбинированная, когда анодом служат сопло и деталь (применяют для проплавления и наплавки).

Для плазменного напыления металлов применяют установки УМП-1-61, УМП-2-62, УМП-4-64, которые могут работать по любой из перечисленных схем. Эти установки предназначены для напыления вольфрама, диоксида циркония, оксида алюминия, карбидов, боридов, нитридов и других соединений тугоплавких металлов.

§ 158. Восстановление деталей клеями и полимерными материалами

С помощью клея заделывают раковины и трещины в литье и деталях, заклеивают трещины, склеивают поломанные детали. Для этих целей применяют промышленные клеи типа БФ, ПУ-2, ПК-5, ВС-10М, ВС-10Т, ВК-32-ЭМ, ВК-32-200, эпоксидные смолы и т. п. Клеи типа БФ-2, БФ-4, ВС-10Т и ВС-10М выпускаются в готовом для употребления виде с шестимесячным сроком годности. Клеи других марок выпускают в виде отдельных компонентов, которые смешивают в определенном соотношении непосредственно перед склеиванием. Эксплуатационные свойства клеевых соединений зависят от температуры, давления и продолжительности процесса отверждения.

Процесс склеивания состоит из следующих операций: подготовки поверхностей, нанесения клеевого слоя, соединения деталей, термообработки.

Для заделки трещин и раковин в корпусных деталях, герметизации сварочных швов, восстановления неподвижного характера сопряжений деталей применяют клеевые составы на основе эпоксидных смол ЭД-6, ЭД-5 или Э-40. В качестве отвердителя применяют полиэтиленполиамин; пластификатора — дибутилфталат; наполнителей — чугунный порошок, оксид железа, графит, портландцемент, слюдяной порошок, алюминиевую пудру, рубленое стекловолокно.

Полимерные материалы (пластические массы) применяют для покрытия изношенных и поврежденных поверхностей, заделки трещин, и пробоев, склеивания деталей. Во многих случаях использование полимерных материалов позволяет заменить сварку, наплавку и гальванизацию. Восстановленные поверхности деталей и изделий обладают прочностью, водо-, масло-, кислото-, щелоче- и коррозионной стойкостью.

Пластические массы получают добавлением к смоле (искусственной или естественной), которая является их основой, наполнителей, пластификаторов, отвердителей и других материалов. Для восстановления деталей применяют следующие полимерные материалы: эпоксипласты, амидопласты, акрилопласты, стеклопласты, фенопласты и др. Различают термореактивные и термопластические материалы.

Термореактивные пластмассы при нагревании не плавятся и не размягчаются, а при температуре 250 °С и выше обугливаются. К ним относятся пластмассы на базе эпоксидных смол ЭД-16 и ЭД-20.

Термопластические пластмассы при нагревании переходят из твердого состояния в жидкое, а при охлаждении вновь затвердевают. Из капролактама (капрона), АК-7 и ПК-68, основой которых являются полиамидные смолы, изготавливают методом литья под давлением подшипниковые втулки, втулки рессор, оси и другие детали.

Восстановление деталей с помощью полимерных материалов осуществляется: *облицовкой* — покрытием изношенной поверхности металлической детали материалом до технологически требуемых размеров; *наложением* — накладыванием материала на изношенную поверхность приклеиванием, заклепками, шурупами, используя адгезионные свойства самих пластмасс; *намоткой* — на изношенную поверхность наматывается стеклолента или пряди из стеклянных нитей, пропитанные связующими веществами; *заливкой* — деталь заливается материалом в пресс-формах в холодном или горячем состоянии; *формованием* — деталь облицовывают материалом с одновременным получением точных внешних параметров по ее форме, конфигурации и размерам; *наплавкой* — нагретые поверхности деталей при соприкосновении с порошкообразными полимерами наплавляются; *сваркой* — процесс самослипания, который обеспечивается одновременным действием повышенных температуры и давления.

§ 159. Восстановление деталей механической обработкой

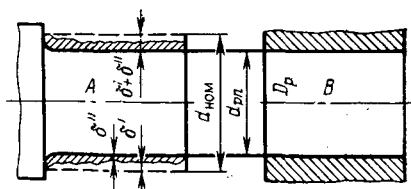
Применяют три способа восстановления деталей механической обработкой: получение ремонтных размеров; введение добавочной детали; замена части детали.

Способ ремонтных размеров заключается в механической обработке изношенной поверхности одной из сопряженных деталей до устранения следов износа и приобретения нового ремонтного размера, больше или меньше номинального, и в замене другой, сопряженной с первой, детали — новой или восстановленной наращиванием под размер первой детали.

Ремонтным называют размер, изменяемый при ремонте детали по сравнению с номинальным. Различают два вида ре-

Рис. 99. Схема ремонта деталей методом обработки на ремонтный размер:

А — ремонтируемая деталь; В — заменяемая деталь



монтажных размеров: стандартные и свободные. Применение стандартных размеров позволяет заблаговременно изготавливать или ремонтировать заменяемые детали сопряжения, а следовательно, осуществлять ремонт методом взаимозаменяемости. В этом случае непосредственный ремонт заключается в механической обработке несменяемой детали, как правило, наиболее дорогой и трудоемкой в изготовлении. При свободных ремонтных размерах полностью нарушается взаимозаменяемость деталей, поэтому детали можно изготавливать только в полуобработанном виде с оставлением припуска на окончательную подгонку по месту.

В зависимости от степени изношенной поверхности деталь может иметь несколько ремонтных размеров. Очередной ремонтный размер d_{pn} [мм] вала (рис. 99)

$$d_{pn} = d_{\text{ном}} - 2n(\delta' + \delta''),$$

где $d_{\text{ном}}$ — номинальный диаметр шейки вала до износа, мм; n — порядковый номер ремонтного размера; δ' — допустимый износ шейки вала на одну сторону, мм; δ'' — припуск на обработку при ремонте на одну сторону, мм.

При необходимости сохранить деталь с отверстием его очередной ремонтный размер

$$D_{pn} = D_{\text{ном}} + 2n(\delta' + \delta'').$$

При известном допустимом износе δ' можно разработать систему установленных ремонтных размеров для каждой детали. Опыт показал, что после каждого межремонтного срока износ деталей приблизительно одинаков.

Способом восстановления на ремонтный размер пользуются при таких сопряжениях, как шейка вала с подшипником; цилиндр с поршнем; толкатели и клапаны с направляющими втулками; втулки с посадочными отверстиями в корпусной детали и др.

Недостатки способа: многократное изменение размера детали в сторону износа сокращает общий срок ее службы; большое число ремонтных размеров деталей усложняет снабжение предприятий запасными частями. Преимущества: простота и невысокая стоимость восстановления изношенных сопрягаемых деталей.

Способ добавочной детали заключается в восстановлении номинальных или получении ремонтных размеров сопрягаемых деталей применением специальных вставок в виде стаканов, переходных втулок, колец, накладок, вкладышей, компенсирующих износ. Например, при ремонте изношенного отверстия его растачивают под определенный диаметр и в него запрессовывают изготовленную втулку (добавочная деталь) с последующей обработкой ее внутренней поверхности под номинальный или ремонтный размер; при ремонте концевой шейки вала ее протачивают до определенного размера и напрессовывают на нее втулку, которая затем обрабатывается под номинальный или ремонтный размер. Этот способ применяют при восстановлении изношенных подшипников скольжения, валов, цилиндров поршневых насосов и компрессоров, зубчатых колес, шкивов и др. Основной недостаток способа — необходимость проверки детали расчетом на прочность.

Способ замены части детали применяют при неравномерном изнашивании нескольких ее рабочих поверхностей. При восстановлении таких деталей удаляют дефектную часть (отрезают, стачивают) и к основной части присоединяют с помощью резьбы или напрессовки с последующей заваркой изготовленную деталь с окончательными размерами или припуском для окончательной обработки.

Этот способ применяют для восстановления звездочек и зубчатых колес при износе зубьев; заделке в корпусных деталях трещин и др. Преимущества способа — высокое качество ремонта и невысокая стоимость восстановления.

Восстановление изношенных деталей пластическим деформированием, основанное на использовании пластических свойств металла, осуществляется созданием напряжений, превышающих предел текучести металла, и применением приспособлений, обеспечивающих направленное перераспределение металла по объему детали (с нерабочих участков детали к изношенному). Этот способ применяется для восстановления деталей сравнительно простой конфигурации и осуществляется с нагревом или без нагрева детали.

В зависимости от направления действия внешних сил и требуемой деформации различают основные разновидности этого способа: осадка, раздача, обжатие, правка, накатка, вдавливание, вытяжка. *Осадку* применяют для увеличения наружного диаметра сплошных или уменьшения внутреннего диаметра полых деталей (втулки, пальцы, полуоси и др.) за счет уменьшения их высоты. *Раздачу* используют для восстановления размеров наружной поверхности детали за счет уменьшения ее толщины, а *обжатием* восстанавливают размеры внутренней поверхности. *Правкой* восстанавливают изогнутые, скрученные и покоробленные детали (валы, оси, тяги, рычаги и др.). *Накатка*

применяется для незначительного увеличения размеров изношенной поверхности детали, предназначенной для неподвижного соединения с сопрягаемой деталью. *Вдавливание* объединяет операции раздачи и осадки. *Вытяжка* увеличивает длину детали за счет местного сужения их поперечного сечения на небольшом участке.

§ 160. Термическая и химико-термическая обработка восстанавливаемых деталей

Основные способы термической обработки; отжиг, нормализация, закалка, отпуск.

Отжигом называют термическую обработку металла, при которой он сначала нагревается до определенной температуры, а затем медленно охлаждается для снятия внутренних напряжений. Это позволяет снизить твердость и увеличить вязкость металла перед механической обработкой.

Нормализацией называют термическую обработку металла (стали), при которой он сначала нагревается до красного каления, а затем охлаждается на воздухе для снятия внутренних напряжений и получения мелкозернистой структуры. Температура нагревания на 25—50 °С выше, чем при отжиге.

Закалкой называют термическую обработку металла, при которой он сначала нагревается до определенной температуры, а затем быстро охлаждается в воде, масле и каком-либо другом веществе.

Разновидность закалки — поверхностная закалка, которую применяют для получения деталей с вязкой сердцевинной и очень твердой рабочей поверхностью. Основные способы поверхностной закалки: пламенная (ацетилено-кислородным пламенем); нагревом токами высокой частоты; нагревом в электролите. При пламенной закалке применяют оборудование, предназначенное для газовой сварки и резки металлов, а также специально переоборудованные сварочные горелки; для охлаждения используют воду или эмульсию. Качество закалки зависит от правильности выбора технологической схемы и параметров процесса. Рекомендуется глубину закаленного слоя принимать в пределах 2—6 мм; температура нагрева не должна превышать 1000 °С. Применение пламенной закалки позволяет повысить долговечность деталей в 2—3 раза.

Пламенную закалку применяют для таких изделий, как шейки коленчатых валов, оси, пальцы, обоймы крупных подшипников, цапфы, тормозные барабаны и др.

При поверхностной закалке с нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) деталь помещают внутри индуктора или под проводником, по которому проходит переменный ток большой частоты. Он вызывает появление вихревых токов на поверхно-

сти детали и быстро разогревает слой с наибольшей плотностью индуцированного тока. По достижении заданной температуры нагрева (820—880 °С) деталь интенсивно охлаждают водным душем или погружением в охлаждающую жидкость.

При поверхностной закалке в электролите нагреваемую деталь (катод) помещают в электролит, через который пропускают постоянный ток высокого напряжения. Нагревание детали происходит вследствие выделения на катоде (детали) водорода, образующего оболочку с большим сопротивлением электрическому току. Закалка производится в ванне или в струе электролита (5—10%-й водный раствор солей). Нагрев осуществляется при постоянной температуре электролита в пределах 20—60 °С.

Отпуском называют термическую обработку металла, при которой он нагревается до 100—700 °С, а затем охлаждается для снятия внутренних напряжений и уменьшения хрупкости, приобретенных в процессе закалки.

Химико-термическая обработка восстанавливаемых деталей заключается в упрочнении их поверхностного слоя за счет совместного воздействия активной внешней среды и температуры. Основные способы химико-термической обработки: цементация; цианирование; азотирование.

Цементацией называют процесс насыщения углеродом поверхностного слоя стали. Для получения высокой твердости поверхности и вязкой сердцевины содержание углерода должно быть не более 0,3%. Глубина обработки поверхностного слоя 1,1—2 мм. Насыщение углеродом производится при нагревании стальных деталей до 900—950 °С и длительном прогреве их при этой температуре в атмосфере газов, распадающихся с выделением атомарного углерода. Цементации подвергают вал-шестерни, цилиндры, зубчатые колеса и др.

Цианированием называют процесс насыщения поверхностного слоя стали углеродом и азотом одновременно для повышения механических свойств, износостойкости, а в ряде случаев и коррозионной стойкости. Цианирование осуществляется нагреванием стальных деталей до 750—850 °С и длительным прогревом их при этой температуре в средах, содержащих атомарный углерод и азот; глубина обработки поверхностного слоя 0,25—1,5 мм.

Азотирование — процесс насыщения поверхностного слоя стали азотом для повышения твердости и изнсоустойчивости. Азотирование производится нагреванием стальных деталей до 500—650 °С и длительной выдержкой их при этой температуре в атмосфере аммиака. Глубина обработки поверхностного слоя 0,01—0,8 мм. Этот способ обработки применяется для деталей, работающих при температурах до 500—600 °С (гильзы цилиндров, коленчатые валы).

§ 161. Общие сведения

Балансировкой называют устранение неуравновешивающих друг друга центробежных сил, возникающих при вращении деталей и узлов. Причины, вызывающие неуравновешенность вращающихся деталей и узлов: неоднородность материала, из которого они изготовлены; неточность изготовления деталей; погрешность сборки из-за допущения перекосов и смещений сопряженных деталей; неравномерный износ деталей; неправильная термическая обработка детали, обуславливающая образование различных структур металла в одной детали; деформация деталей и др.

Возникающие инерционные силы от неуравновешенных масс создают дополнительные нагрузки на опоры, вызывают вибрацию, способствуют ослаблению соединений, расшатывают фундаменты.

При ремонте вращающихся деталей и узлов оборудования возникает необходимость выявления и устранения причин обнаруженной неуравновешенности. Существуют три вида неуравновешенности вращающихся деталей и узлов: статическая, динамическая и смешанная.

Статическая неуравновешенность возникает, если неуравновешенные массы данной детали приводятся к одной массе m и одной центробежной силе инерции R_n , вызываемой данной массой при вращении детали с угловой скоростью ω . В этом случае $R_n = m\omega^2 r_c$, где r_c — расстояние от оси вращения до центра тяжести S неуравновешенной приведенной массы (рис. 100, а). Мерой статической неуравновешенности детали является статический дисбаланс $\Delta = Gr_c$ [Н·м]; здесь статический момент детали выражен через ее вес $G = mg$. Остаточную неуравновешенность, допускаемую нормами, оценивают в относительных единицах — дисбалансом, приходящимся на единицу веса детали, т. е. величиной Δ/G . Эта величина характеризует окончательное смещение r_c центра тяжести детали от оси ее вращения. Если деталь статически уравновешена, то ее центр тяжести проходит через ось ее вращения.

Статическая неуравновешенность возникает в деталях, имеющих сравнительно большой диаметр и незначительную длину (маховики, шкивы, зубчатые колеса и т. п.). При отношении диаметра детали к ее длине более 10 достаточно только статической балансировки.

Динамическая неуравновешенность возникает в том случае, когда центробежная сила инерции $R_n = 0$, а все силы инерции приводятся к главному моменту M_n . В этом случае деталь мож-

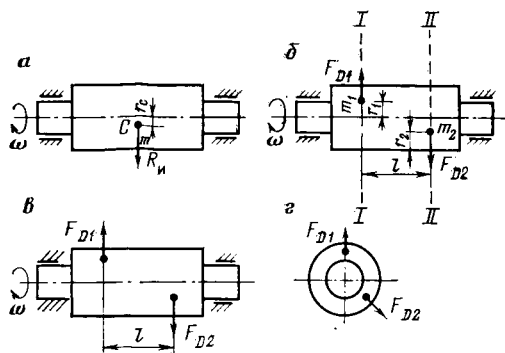


Рис. 100. Виды неуравновешенности детали:

а — статическая; б — динамическая; в, г — смешанная

но представить в виде двух масс m_1 и m_2 , расположенных асимметрично относительно оси вращения на расстоянии l друг от друга (рис. 100, б). При вращении детали появляются две разные центробежные силы $F_{D1} = \omega^2 m_1 r_1$ и $F_{D2} = \omega^2 m_2 r_2$. Так как $F_{D1} = F_{D2}$, центр тяжести детали расположен на оси вращения и обнаружить динамическую неуравновешенность в статическом состоянии невозможно; она обнаруживается и устраняется только в процессе вращения детали. Мера динамической неуравновешенности — центробежный момент инерции всей детали относительно осевой плоскости или два равных и противоположно направленных дисбаланса Δ_{AI} и Δ_{BII} , расположенных в двух параллельных плоскостях $I-I$ и $II-II$ детали, перпендикулярных оси вращения. Симметричная относительно оси вращения деталь динамически уравновешена, если ее главная центральная ось инерции параллельна оси вращения, а когда эти оси совпадают, то деталь полностью (т. е. статически и динамически) уравновешена.

Динамическая неуравновешенность возникает в деталях, у которых осевые размеры значительно превышают диаметральные (втулочные муфты, роторы) и которые вращаются с достаточно высокой скоростью.

Смешанная неуравновешенность возникает, когда центробежная сила инерции R_n и главный момент M_n сил инерции не равны нулю. Неуравновешенные силы инерции можно представить в виде двух сил F_{D1} и F_{D2} , расположенных в параллельных плоскостях на расстоянии l друг от друга; в общем случае эти силы не равны и расположены не в параллельных плоскостях (рис. 100, в, г). Мерой смешанной неуравновешенности (статической и динамической одновременно) являются два неравных между собой дисбаланса Δ_I и Δ_{II} , расположенных в двух параллельных плоскостях, перпендикулярных оси вращения.

Смешанная неуравновешенность устраняется динамической балансировкой.

§ 162. Статическая балансировка

Статической балансировкой называют процесс устранения статической неуравновешенности, заключающийся в опытным определении наиболее легкой и тяжелой частей детали или узла с последующим облегчением тяжелой части или утяжелением легкой части.

Для статической балансировки применяют установки, работающие в статических условиях, т. е. без вращения деталей и узлов. К таким установкам относится устройство для балансировки деталей на горизонтальных призмах (рис. 101). Принцип действия этого и подобных ему статических балансировочных устройств основан на стремлении центра тяжести детали или узла занять низшее положение, в котором деталь или узел будут находиться в состоянии устойчивого равновесия.

Статическая балансировка на призмах проводится в следующей последовательности. Балансируемую деталь 3, собранную на валу, устанавливают на призмы 1, горизонтальность которых проверяют по уровню 2 и освобождают от внешних связей. Деталь под действием момента силы тяжести поворачивается так, что ее центр тяжести C оказывается в самом нижнем положении. В этом положении к детали на расстоянии r со стороны, диаметрально противоположной центру тяжести, прикрепляют небольшой груз 4 массой m , в качестве которого используют пластилин, замазку и кусочки металла, приклеиваемые к детали. После этого деталь поворачивают на угол около 90° и отпускают; если деталь стремится возвратиться в прежнее положение равновесия, то массу дополнительного груза увеличивают. Это продолжают до тех пор, пока деталь не окажется в положении безразличного равновесия. После этого удаляют эквивалентное количество материала со стороны диаметрально противоположной контргрузу m . У массивных деталей излишний материал удаляют сверлением глухих отверстий на нерабочих поверхностях. В некоторых случаях отверстия делают на легкой стороне детали и заливают свинцом. При массе корректировочного груза более 0,1 кг, его изготавливают в виде металлических пластинок, которые приваривают к детали в необходимом месте.

Основной недостаток способа статической балансировки на призмах — катание детали по направляющим и невозможность балансировки при разных диаметрах шпилей.

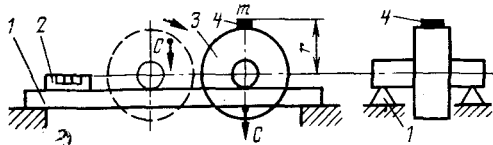


Рис. 101. Устройство для статической балансировки деталей на призмах

§ 163. Динамическая балансировка

Динамической балансировкой называют процесс устранения динамической неуравновешенности, заключающейся в приложении корректирующего момента, создаваемого силами инерции двух дополнительных масс, расположенных в двух параллельных произвольно выбранных плоскостях, отстоящих друг от друга на расстоянии l .

Принцип действия всех машин для динамической балансировки основан на измерении амплитуды и фазы колебаний, которые возникают при вращении неуравновешенной детали и воспринимаются опорами машины. По измеренным тем или иным способом значениям параметров колебаний вычисляют массу и угловое положение корректировочных грузов.

Применяют балансировочные машины различных типов, например, машина с неподвижной осью вращения, неуравновешенность в которой проявляется только в виде возникающих в опорах динамических реакций R_{1D} и R_{2D} , измеряемых с помощью специальных силоизмерительных устройств. По значениям динамических реакций оценивают массу компенсирующих грузов в выбранных плоскостях коррекции, а угловое положение дисбаланса определяют с помощью механических или электрических индикаторов. Машины этого типа просты и легко настраиваются, поэтому они нашли широкое применение при балансировке деталей в процессе их ремонта.

Рамные балансировочные машины (рис. 102) просты в эксплуатации и широко применяются для уравнивания деталей и узлов массой до 100 кг, обеспечивая определение дисбалансов с достаточно высокой точностью без использования специальной измерительной аппаратуры. Неуравновешенная деталь 1 вращается в раме 2, имеющей упругую опору 3 и ось качания 0. Независимость измерения дисбалансов Δ_A и Δ_B в двух выбранных плоскостях коррекции достигается тем, что плоскость коррекции $A-A$ совмещена с осью качания рамы балансировочной машины. В этом случае при вращении неуравновешенной детали возникают вынужденные колебания рамы во-

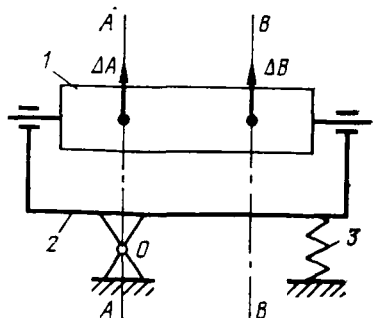


Рис. 102. Схема установки для динамической балансировки рамного типа

круг оси 0, которые не будут зависеть от момента дисбаланса Δ_A , а будут определяться только моментом дисбаланса Δ_B . Измерив амплитуду и фазу вынужденных угловых колебаний рамы, можно оценить массу и угловое положение дисбаланса Δ_B . Для определения дисбаланса Δ_A требуется совместить ось качания 0 рамы с плоскостью коррекции $B-B$, для чего необходимо переложить деталь на 180° , либо иметь две поочередно включаемые оси качания рамы в плоскостях $A-A$ и $B-B$. После определения дисбаланса деталь уравнивают постепенным снятием металла или прикреплением корректирующих грузов.

Глава 39

СМАЗКА МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

§ 164. Общие сведения о смазочных материалах

Смазочный материал — материал, наносимый на поверхности трения для уменьшения силы трения и интенсивности изнашивания, охлаждения деталей, удаления из зазоров продуктов износа. Правильный выбор смазочных материалов и режимов смазывания оказывает значительное влияние на работоспособность и долговечность машин, их производительность и эксплуатационные расходы. Смазочные материалы разделяют на группы: минеральные, получаемые из нефти, угля и других минералов; растительные, вырабатываемые из растений (хлопка, подсолнечника и др.), животные, получаемые из жира животных (свиное сало, тюлений, китовый и рыбий жир и др.); синтетические, получаемые в результате химического синтеза. Различают жидкие, пластичные, твердые и газообразные смазочные материалы, материалы с присадкой.

Минеральные масла получают вакуумной перегонкой и химической обработкой мазута, оставшегося после первичной переработки нефти. Мазут при его перегонке выделяет масляные дистиллаты, которые содержат вредные примеси, значительно ухудшающие качество масла. Для очистки масляных дистиллатов применяют серную кислоту, щелочь и специальные отбеливающие глины. Рафинированное масло (очищенные дистиллаты) для придания ему в зависимости от назначения специальных физических и химических свойств подвергают дополнительной обработке. Введением в масла небольшого количества присадок (добавок) (3—5%) улучшают их эксплуатационные свойства. Добавляемые присадки могут улучшить одно или несколько свойств масел. Присадки делятся на вязкостные, моющие, противозадирные, противоизносные и др.

Пластичные смазки — смазочные материалы в виде мазей или паст, полученных путем введения в минеральные масла специальных загустителей (10—20%), в качестве которых применяют соли жирных кислот (мыло), твердые углеводороды (парафин, церезит, петролатум и т. п.), искусственные жирные кислоты. По назначению пластичные смазки подразделяют на антифрикционные, защитные и уплотнительные. К антифрикционным смазкам относятся солидолы, констаины, индустриальные смазки и др. Защитными смазками являются технический вазелин, канатная и пушечная мази, консервационные смазки и др. Уплотнительные смазки применяют для герметизации уплотнений, резьбовых соединений, газовых кранов и др.

К положительным качествам пластичных смазок следует отнести высокую работоспособность при сложных режимах нагружения, хорошее сохранение смазочного слоя, достаточные герметизирующие свойства. К отрицательным качествам — возможность их расслоения при длительной работе при высокой температуре, сложность системы подводки.

Твердые смазочные материалы применяют, когда использование минеральных масел и пластичных смазок невозможно (тяжелонагруженные узлы, высокая температура, в условиях вакуума и агрессивных сред). Смазывающее действие твердых смазывающих материалов объясняется слоистой структурой их кристаллических решеток. К твердым смазывающим материалам относятся: графит, дисульфид молибдена (вольфрама), селениды и теллуриды молибдена и вольфрама, свинец, тальк, слюда и др. Твердые смазочные материалы применяют в чистом виде и в композициях в виде стержней, брикетов, порошков, паст.

§ 165. Физико-химические свойства смазочных материалов

Основные свойства минеральных масел: плотность, вязкость, кислотное число, температура вспышки и застывания, содержание механических примесей и воды.

Плотность масла характеризует его способность осаживать воду, т. е. всплывать. Она находится в пределах 0,86—0,96 г/см³.

Вязкость характеризует способность масла сопротивляться сдвигу между его частицами и обуславливает образование масляной пленки на поверхности деталей. Различают вязкость динамическую, кинематическую и условную. Единица динамической вязкости — ньютон-секунда на квадратный метр (паскаль-секунда, Па·с). Паскаль-секунда — динамическая вязкость среды, касательное напряжение в которой при ламинарном течении и разности скоростей слоев, находящихся на расстоянии 1 м по нормали к направлению скорости, равной 1 м/с,

равно 1 Па. Десятая часть паскаль-секунды называется пуаз (П), тысячная — сантипуаз (сП). В практических расчетах чаще пользуются кинематической и условной вязкостью.

Кинематическая вязкость ν — отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности при измеряемой температуре. Единица кинематической вязкости — квадратный метр на секунду ($\text{м}^2/\text{с}$). Кинематическая вязкость входит в обозначение марки масла.

Условная вязкость ($^{\circ}\text{ВУ}$) — отвлеченное число, выражающее отношение времени истечения через калиброванное отверстие вискозиметра одного миллилитра испытываемого масла, нагретого до температуры 50 или 100 $^{\circ}\text{C}$, ко времени истечения такого же количества дистиллированной воды при температуре 20 $^{\circ}\text{C}$. Условная вязкость выражается в градусах Энглера. Вязкость смазочного масла зависит от давления. С его увеличением вязкость растет.

Химическая стойкость масел оценивается несколькими показателями, важнейший из которых кислотное число, которое выражает массу едкого калия КОН в миллиграммах, необходимого для нейтрализации органических кислот в 1 г масла. Кислотное число характеризует эксплуатационные качества масла. В процессе транспортирования, хранения и эксплуатации в масло попадает вода. В картеры, редукторы, подшипники вода попадает из окружающего воздуха в виде конденсата в момент их остывания после окончания работы. Наличие воды в масле — причина образования вредных эмульсий, уменьшения вязкости и липкости масла, вызывающих сильную коррозию металлов. Смесь масла с водой ухудшает смазочные свойства масла и делает невозможной дальнейшую его эксплуатацию.

Температура вспышки — температура, при которой масло выделяет пары, воспламеняющиеся от поднесенного к ним огня. Температуру, при которой загорается само масло и горит не менее 5 с, называют температурой воспламенения. Температуры вспышки и воспламенения служат показателями испаряемости и огнеопасности масла и характеризуют пригодность его к работе в соприкосновении с сильно нагретыми поверхностями. Температура вспышки минеральных масел 200—300 $^{\circ}\text{C}$.

Температура застывания — температура, при которой масло теряет подвижность. Эта температура выявляет возможность использования масла в условиях пониженных температур и для минеральных масел находится в пределах —5...—30 $^{\circ}\text{C}$. Лабораторными испытаниями температуру застывания можно определить охлаждением масла в пробирке до тех пор, пока оно не загустеет настолько, что при наклоне ее на 45° уровень масла остается неизменным в течение 1 мин.

Содержание механических примесей в виде

песка, пыли, металлических и деревянных частиц, волокон войлока и т. п., особенно абразивного характера, — один из важнейших параметров, определяющих пригодность масла к эксплуатации. Механические примеси — причина износа узлов трения, засорения маслопроводов и приборов системы смазки.

В процессе эксплуатации и хранения качество и свойства масла изменяются и оно становится негодным для дальнейшего использования. В связи с этим должны проводиться сокращенные испытания поступающих свежих и находящихся в эксплуатации масел.

Пластичные смазки оцениваются следующими показателями.

Вязкость характеризует возможность механизированной подачи смазки к узлам трения и ее антифрикционные свойства, особенно при низкой температуре. Вязкость не должна превышать 0,5—1 тыс. Па·с (при ручной подаче) и 1,5—2 тыс. Па·с (при низшей температуре применения).

Температура каплепадения — температура, при которой из небольшого количества нагреваемой смазки отделяется и падает первая капля. Смазку рекомендуется применять при температуре на 10—20° ниже ее температуры каплепадения.

Пенетрация характеризует степень консистенции и плотности смазки. Определяется по шкале пенетromетра путем погружения при температуре 25 °С стандартного конуса в течение 5 с. Число пенетрации равно глубине погружения в смазку конуса. По числу пенетрации можно судить о подвижности смазки. Для систем централизованной густой смазки это число должно быть не менее 260—280.

§ 166. Выбор смазочных материалов и смазочных систем

Выбор смазочных материалов и эффективность их применения зависят от условий эксплуатации оборудования: нагрузки, скорости, температуры рабочей среды и материала смазываемых поверхностей, а также конструктивных особенностей узла трения. Необходимо учитывать, что в одних случаях смазка служит эффективным охладителем, в других — предохраняет поверхности от коррозии, в третьих — уплотняет узел и т. п.

При выборе смазочных материалов, смазочных систем и организации смазки оборудования обогатительных фабрик необходимо учитывать следующие особенности его эксплуатации: наличие ударных нагрузок (дробилки, грохоты, питатели); большая запыленность (дробилки, пластинчатые питатели, конвейеры и др.); интенсивный абразивный износ (дробилки, мельницы, насосы, флотационные машины и др.); повышенная влажность (сгустители, флотационные машины, классификаторы, магнитные сепараторы и др.); высокая температура (обжиго-

вые печи, сушильные барабаны). Следует учитывать, что в большинстве случаев оборудование связано единой технологической цепочкой, когда остановка любой из машин влечет остановку всей цепочки. Выход из строя таких крупных единиц оборудования, как дробилка крупного дробления, может нарушить не только работу фабрик, но и всего горно-обогатительного комбината. Число крупных машин на обогатительной фабрике достаточно велико и достигает для флотационных машин, магнитных сепараторов, насосов, конвейеров десятков, а иногда и сотен единиц.

При выборе смазочного материала решают какой вид смазки применить: жидкую (масло), густую (пластичную или твердую).

Минеральные масла применяют: в узлах трения, выделяющих большое количество тепла или работающих при высоких температурах, т. е. когда требуется принудительный отвод тепла; в подшипниках скольжения, работающих в режимах полужидкостного и жидкостного трения; в узлах трения, требующих промывки для удаления продуктов износа и производственной пыли; в быстроходных подшипниках качения. Свойства масла можно улучшить введением присадок; в большинстве случаев оно дешевле пластичных смазок.

Пластичные смазки применяют: в узлах, работающих в режиме полусухого трения, при условии, что смазка не используется для отвода тепла; для смазки подшипников качения (кроме высокоскоростных подшипников) и узлов трения, расположенных в труднодоступных местах и которые могут работать длительное время без смены и пополнения смазки; для уплотнения подвижных и неподвижных соединений (сальников, резьбы); при необходимости защиты поверхности трения от воздействия окружающей среды, пыли и т. п.

Твердые смазки применяют при работе узлов трения в вакууме, агрессивной среде, при отрицательных или высоких температурах.

Вид смазки и нормы ее расхода указывают в *карте смазки*, которая представляет собой часть общего паспорта машины и является основным документом, регламентирующим режим смазки всех узлов машины. При отсутствии рекомендаций о виде смазки завода-изготовителя ее подбирают опытным путем.

Для смазывания подшипников скольжения применяют индустриальные и автотракторные масла (И-12А, И-20А, И-30А, И-45А, АК-10) и пластичные смазки УСс-2, УС-3, УТс-1, УТс-2. Для подшипников качения применяют в основном те же смазочные материалы, что и для подшипников скольжения. Для смазывания закрытых зубчатых передач применяют автотракторные АК-10, АК-15, трансмиссионные летние и зимние, реже ин-

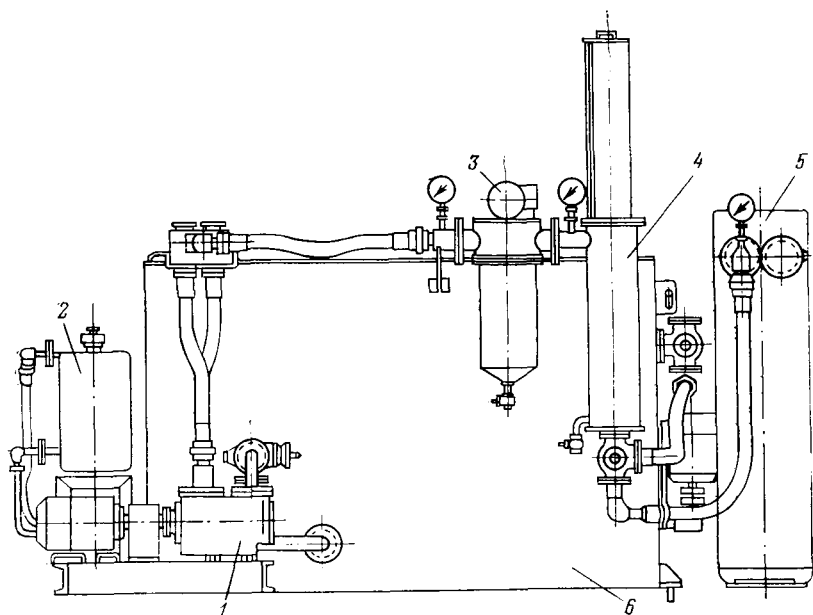


Рис. 103. Индивидуальная маслостанция УС-200

дустриальные масла. Для открытых тихоходных передач, работающих при средних скоростях, применяют графитную смазку УСaA, УСс-2 и солидол. Более подробные сведения о смазочных материалах, применяемых для обогатительного оборудования приведены в работе [17].

На обогатительных фабриках применяют системы жидкой и пластичной смазки.

Системы жидкой смазки по способу подачи масла подразделяют на централизованные и нецентрализованные, проточные и циркуляционные, а по способу управления — на ручные, полуавтоматические и автоматические. Основные системы — циркуляционные, в состав которых входят баки-отстойники, насосные установки, фильтры, маслоохладители и маслопроводы, образующие замкнутое кольцо. Работа системы смазки регулируется и контролируется системой приборов по времени, давлению, температуре и расходу, а также по уровню масла. Циркуляционные смазочные станции применяют для смазки одной или нескольких машин (групповые станции). Их изготавливают и поставляют в комплекте с обслуживаемым оборудованием заводы-изготовители.

На рис. 103 показана индивидуальная маслостанция УС-200, предназначенная для смазки дробилок. Станция состоит из бака-отстойника 6, являющегося несущей конструкцией; фильт-

ра 4 тонкой очистки из сменных бумажных патронов; фильтра 3 пластинчатого; маслонасоса 1; электроподогревателя 2; пластинчатого маслоохладителя 5, предназначенного для охлаждения масла с 65 до 45 °С.

Смазку вручную с помощью масленок (наливных, фитильных, пресс-масленок, масленок с набивкой) применяют для неответственных и малонагруженных механизмов и узлов с кратковременным режимом работы. Для смазки отдельных механизмов и узлов, имеющих сравнительно небольшое число смазочных мест, применяют лубрикаторы, т. е. приспособления, подающие масло под давлением к нескольким смазочным точкам.

Нецентрализованными системами циркуляционной смазки являются: кольцевая, картерная, самотечная и под давлением. Кольцевую систему смазки применяют для подшипников скольжения. Картерную систему смазки применяют для редукторов, зубчатых муфт, конических и цилиндрических зубчатых передач. Основные недостатки такой системы: отсутствие фильтрации масла; дополнительные затраты энергии на перемешивание масла.

Системы пластичной смазки подразделяют: по виду привода — ручные и автоматические; по числу трубопроводов — однолинейные и двухлинейные; по способу разводки магистральных трубопроводов — петлевые и конечные. На обогатительных фабриках применяют все разновидности систем пластичной смазки.

Централизованную ручную систему пластичной смазки применяют для отдельных машин с числом точек смазки не более 50 и расходом смазки в каждой из них не более 0,25 г/ч.

Целесообразен перевод смазки оборудования на *централизованные системы густой смазки* (ЦГС). К этим системам не подключают оборудование, связанное с технологическими процессами, попадание смазки в которые недопустимо (флотационные машины, реагентные чаны).

ЦГС применяют для группы машин, обычно связанных между собой технологическим процессом, с числом точек смазки до 1000 и расходом в каждой из них более 0,25 г/ч. Централизованная система пластичной смазки в общем случае состоит из следующих узлов: насосная станция (ручная или автоматическая); питатели, фильтры, распределители, трубопроводы, контрольная и управляющая аппаратура.

Петлевые системы применяют в тех случаях, когда смазываемое оборудование расположено близко друг к другу и не вытянуто в линию, для смазки крупных машин, особенно когда подшипники расположены по обеим сторонам станины, а также для отдельных машин, требующих частой подачи смазки.

Конечные системы применяют для смазки оборудования и механизмов, вытянутых в линию на большую длину и расположенных на ряде «отметок» в корпусах.

§ 167. Замена, очистка и регенерация смазочных материалов

Сроки службы и замены смазочных материалов во многом зависят от условий эксплуатации оборудования, своевременности проведения анализов смазочных материалов и очистки их в процессе эксплуатации. Срок службы и необходимость замены масла определяют путем периодического отбора и испытания проб. Опыт эксплуатации обогатительного оборудования показал, что при смазке дробилок масла служат от 3 мес. до 1,5 лет; мельниц — от 5 мес. до 2 лет.

Смазочные материалы в процессе эксплуатации загрязняются механическими и другими вредными примесями и при длительном использовании стареют. Старение масла — процесс окисления углеводородных частей масла кислородом воздуха. На процесс старения оказывает влияние температура, при которой эксплуатируется масло (она не должна превышать 30—35°C); активными катализаторами окисления масел являются металлы (свинец, медь, железо и его оксиды). Масла с присадками теряют свойства в результате истощения присадок, разложения их под действием высоких температур и воды. Старение масла приводит к ухудшению его эксплуатационных качеств (повышению вязкости, образованию осадка, наличию воды и механических примесей и др.). Выделяющийся в процессе старения шлам засоряет, а иногда и полностью закупоривает маслопроводы. Вода вызывает коррозию деталей машин и систем смазки.

Необходимость замены смазочных материалов определяют по результатам проводимых анализов, сроки которых (от 10 дней до 2 мес) зависят от условий эксплуатации оборудования и смазочных систем. Наиболее часто анализы необходимо производить для масел, работающих в системах дробильно-измельчительного оборудования, особенно конусных дробилок среднего и мелкого дробления.

Применяют следующие методы очистки масла: отстой, фильтрование, сепарация (разновидность регенерации). На обогатительных фабриках применяют сепараторы масла СЦ-1,5А и СЦ-3А (с производительностью до 2500 и 4000 л/ч соответственно). Сепаратор может производить (при определенной настройке) либо отгон воды, либо отгон механических примесей. При обслуживании крупных маслостанций целесообразно иметь по два сепаратора, с настройкой каждого на один из режимов. Для очистки минеральных масел применяют фильтр-пресс ФП2-3000 (производительность 3000 л/ч).

Физико-химические свойства могут быть восстановлены путем регенерации масла. Регенерацией называют процесс восстановления первоначальных свойств отработанных масел

путем удаления из них примесей и продуктов старения. Методы регенерации: физические — отстой, фильтрование, сепарация (центрифугирование); химические — сернокислотная и щелочная очистка, гидрирование, очистка жидким стеклом, силикагелем; физико-химические — адсорбция, коагуляция, очистка селективными растворителями и т. п. Наибольшее распространение имеют комбинированные методы; при этом выход восстановленного масла составляет 85—95% подвергаемого регенерации.

Расход масел на крупных обогатительных фабриках составляет 500—1000 т в год, а пластичных смазок 100—120 т в год, поэтому в состав смазочного хозяйства фабрик входят регенерационные установки. Для регенерации отработанных промышленных масел применяют установку УРИМ-100 (производительность 100 л/ч).

§ 168. Организация смазочного хозяйства

Применение на обогатительных фабриках оборудования большой единичной мощности со сложными автоматизированными системами централизованной смазки обеспечивает значительное повышение производительности труда. Строгое соблюдение правил технической эксплуатации оборудования и, в первую очередь, его смазки обеспечивает надежную его работу в оптимальных режимах.

Организация смазочного хозяйства на обогатительной фабрике должна начинаться с составления *карт смазки оборудования*, являющихся основным документом для последующего правильного решения всех вопросов смазочного хозяйства. Карта смазки служит для расчетов сменной, суточной, месячной и годовой потребности в смазочных материалах как для отдельного оборудования, так и для фабрики в целом. Если оборудование поступило на фабрику с картой смазки, то необходимо произвести оценку рекомендаций завода-изготовителя по смазке этого оборудования с учетом условий эксплуатации его на данной фабрике (температурные условия, влажность, агрессивность окружающей среды и т. п.), а также применяемых на фабрике видов смазочных материалов.

Более точно расход смазочных материалов можно определить для конкретных узлов трения по формулам, приведенным в справочной литературе. Расход смазочных материалов на узел трения зависит от следующих факторов: марки смазочного материала, его смазывающих свойств, надежности уплотнения смазываемого узла; режима подачи смазочного материала и срока его замены; эффективности очистки масла в процессе работы; исключения или уменьшения потерь смазочного материала, связанных с его заправкой и негерметичностью оборудова-

ния, трубопроводов и арматуры; способа смазки. Для расчетов при проектировании Механобр рекомендует принимать расход на 1000 т руды: масел — 22 кг, пластичных смазок — 5 кг.

В состав смазочного хозяйства входят централизованные и раздаточные склады смазочных материалов, индивидуальные и централизованные системы смазки, стационарные и передвижные насосные установки, маслораздаточные колонки, маслозаправщики, регенерационная станция, мастерская по ремонту смазочного оборудования и аппаратуры, группа по анализу смазочных материалов при химической лаборатории, маслопроводы, смазочный инвентарь и инструмент.

Организацией смазочного хозяйства должны заниматься группы (на крупных фабриках) или старшие инженеры при отделах главного механика, а также механики и энергетики цехов, участков и транспортных хозяйств. В их задачи входят: наблюдение за работой оборудования, его смазкой и износом; реконструкция существующих и внедрение новых смазочных систем; внедрение новых смазок и присадок; разработка норм расхода смазочных материалов и контроль за их соблюдением; разработка мероприятий, исключающих попадание смазки в технологический процесс, оборотные и сточные воды, и контроль за их выполнением; систематическая проверка качества смазочных материалов.

Потери смазочных материалов приводят к их перерасходу, нарушению технологических процессов и загрязнению окружающей среды. Борьба с потерями основана на правильной организации приема, хранения и раздачи смазочных материалов, установлении контролируемых норм их расходования, учета, сбора и регенерации масел. Необходимо применять правильную техническую эксплуатацию смазочных систем основного и вспомогательного оборудования, приборов, арматуры и маслопроводов, обеспечивающих их смазку.

При работе с маслами и нефтепродуктами следует руководствоваться Правилами техники безопасности при транспортировке, хранении нефтепродуктов и заправке транспорта; общими и отраслевыми правилами по технике безопасности; правилами Госгортехнадзора; инструкциями по выполнению монтажных работ по системам смазки, а также инструкциями, разработанными на фабрике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Н. Н.* Водоснабжение. — М.: Стройиздат, 1974.
2. *Александров М. П.* Подъемно-транспортные машины. — М.: Высшая школа, 1985.
3. *Батаногов А. П.* Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1984.
4. *Евдокимов Е. П., Сазонов Г. Т.* Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1978.
5. *Зверевич В. В., Перов В. А.* Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1976.
6. *Коберник С. Б., Войтенко В. И.* Напорный гидротранспорт хвостов горно-обогатительных комбинатов. — Киев: Наукова думка, 1967.
7. *Ласков Ю. М., Воронов Ю. В., Калищун В. И.* Примеры расчетов канализационных сооружений. — М.: Высшая школа, 1981.
8. *Оборотное водоснабжение углеобогатительных фабрик/И. С. Благов, М. А. Борц, Б. И. Вахрамеев и др.* — М.: Недра, 1980.
9. *Процессы и машины для обогащения полезных ископаемых/В. И. Кармазин, Е. Е. Серго, А. П. Жендринский и др.* — М.: Недра, 1974.
10. *Разумов К. А., Перов В. А.* Проектирование обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1982.
11. *Смолдырев А. Е.* Трубопроводный транспорт. — М.: Недра, 1980.
12. *Солод Г. И., Морозов В. И., Русихин В. И.* Технология машиностроения и ремонт горных машин. — М.: Недра, 1988.
13. *Спиваковский А. О., Дьячков В. К.* Транспортирующие машины. — М.: Машиностроение, 1983.
14. *Транспорт на горных предприятиях/Под ред. Б. А. Кузнецова.* — М.: Недра, 1976.
15. *Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности.* — М.: Стройиздат, 1978.
16. *Шевелев Ф. А.* Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. — М.: Стройиздат, 1973.
17. *Юделев Д. М.* Смазка оборудования обогатительных фабрик. — М.: Недра, 1984.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абразивность 6
Абразивное изнашивание 282
Аварийный износ 285
Адгезионное изнашивание 283
Адиабата 218
Азотирование 314
Активная реакция воды 103, 123
Арматура 114, 136
Артезианские воды 100
Атмосферные сточные воды 118
Аэротенин 127
Антифрикционная смазка 320
Багер-элеваторы 45
Бактериальная загрязненность воды 103
Бактериальные загрязнения 117
Балансировка 315
Барабанная лебедка 83
Барабанный питатель 68
«Башмак» 49
Безнапорные воды 100
Безнапорный транспорт 145
Безотказность 279
Безэстакадный открытый склад 71
Безэстакадный способ 159
Береговой водоприемник 104
Бесприводные насосы 198
Биологический пруд 125
 » фильтр 127
Биохимическая потребность в кислороде
БПК 123
Блок 91
Вакуум-насосы 214
Вакуум-сеть 247
Вакуум-фильтры 247
Вантуз 115
Вентиляторы 214
Вибрационный питатель 67
Винтовые насосы 197, 202
 » спуски 13, 15
Взаимозаменяемость деталей 299
Внезапный износ 282
Внутренняя водопроводная сеть 110
Внутризаводской транспорт 4
Водозаборные скважины 103
Водопотребление 94
Водопровод 93
Водокольцевые насосы 204
Водонапорная башня 108, 113
Воздуходувки 214
Воздухосборник 251
Выпуск 127
Вязкость масла 320
Газоабразивное изнашивание 283
Газовая металлизация 308
Гарантийный срок 280
Гидравлический домкрат 84
 » уклон 132, 137
Гидравлическое транспортирование 131
Гидроциклон 125
Гидроэлеваторы 198, 204
Горизонтальный отстойник 106
Грейферный склад 72
Грунтовые воды 100
Давление 167
Дамбы 155
Дезинфекция сточных вод 127
Деталь 278
Деформация 286
Динамическая неуравновешенность 315
Дисковый питатель 67
Дифференциальная сборка 298
Добавочная деталь 312
Дождевая канализация 119
Дозировочный стол 67
Долговечность 114, 280
Домкрат 84
Дорнование 292
Допуск 278
Дробеструйная обработка 201
Дросселирование 186, 228, 236, 260.
Естественная вентиляция 263
Естественный износ 282
Желоб 12, 15, 35
Жесткость воды 102
Жидкостное трение 281
Жиroleвка 124
Заварка 302
Загрузочное устройство конвейера 23
Задвижки 114
Заклинивание 136
Закалка 313
Закон пропорциональности 181
 » подобия 181
Замыкающее звено 298
Запрессовка 300
Звездочка 91
Землесос 139
Зенитный способ 159
Зернистые фильтры 125
Избирательный перенос 283
Изнашивание 282
Износостойкость 282
Ингибирование 292
Индикаторная мощность 229
Индикаторный к. п. д. 229
Ишжектор 198
Интенсивность изнашивания 282
Кавитационное изнашивание 283
Каптаж 104
Камера реакции 106
Каскадные спуски 13, 15
Качающиеся питатели 66
Ковши 48
Ковшовая лента 44
Кольцевая сеть 110, 111
Компенсатор 115
Коэффициент быстроходности 182
 » полезного действия 268, 230, 258
 » суточной неравномерности 95
 » часовой » 95
 » Шези 147
Крепость 6
Критическая скорость потока 132
Крупность 5, 143
Крюк 88
Лебедки 54, 83
Лента 18
Ленточный затвор 59
Ленточный питатель 64
Лотковый затвор 59
Магистральная линия 109
Меднение 306
Местные потери 137
Металлизация 307
Механическая вентиляция 263
Механическое изнашивание 282
Механическая очистка 124
Минеральные загрязнения 117
Минеральные масла 319, 323
Многоколесные насосы 192
Монтажный узел 297
Моральный износ 282
Мощность на валу 168
Мутность воды 102

- Нагнетатели 214
- Нагнетательный вентилятор 257
- Надежность 279
- Напор 97, 113, 137, 167
- Напорная характеристика 176, 235
- Напорный транспорт 133, 136
- Наработка 279
- Наружная водопроводная сеть 109
- Наружная канализационная сеть 119
- Насосные станции 157
- Насосы двухстороннего входа 192
 - » с погружным электродвигателем 195
- Насыпной груз 5
- Насыпная плотина 155
- Натяг 278
- Натяжение ленты 27
- Натяжное устройство 22, 35, 36, 48
- Неисправность 279
- Несущая лента 18
- Неуравновешенность 315
- Никелирование 307
- Нормализация 313
- Обезвоживающие элеваторы 44
- Обеззараживание 107
- «Обход контура» 9
- Общесплавная канализация 118
- Объемный коэффициент компрессора 222
- Объемная подача 166
- Окстенки 127
- Органические загрязнения 117
- Осадка 312
- Осевой вентилятор 255
- Осталивание 306
- Останов 24
- Отбросы 124
- Отжиг 313
- Отказ 279
- Отходы 124
- Пенетрация 322
- Песколовка 124
- Плановый ремонт 278
- Пластическое деформирование 312
- Пластичные смазки 320, 323
- Поверхностная обкатка 292
- Полужидкостное трение 281
- Поля фильтрации 125
- Посадка 278
- Поточная сборка 298
- Правка 312
- Предельный износ 285
- Производственные сточные воды 117, 120
- Рабочая лента 18
- Рабочая скорость потока 132
- Рабочее колесо 170, 184, 256
- Радиальный отстойник 107
- Размерная цепь 298
- Разрушение 286
- Ремонт 278
- Ремонтнопригодность 280
- Ремонтный узел 297
- Ролькоопоры 20
- Ротационные насосы 197
- Самоочищающая скорость 119
 - » способность водоема 124
- Самотечный транспорт 133, 135
 - » пульпопровод 144
- Сварка 302
- Сварная цепь 90
- Свободный напор 97
- Свободный ремонтный размер 310
- Секционные насосы 192
- Секторный затвор 59
- Сила тяги 9
- Скорость изнашивания 282
- Скреперный склад 71
- Смеситель 106
- Смешанное трение 281
- Смешанная вентиляция 264
- Содержание взвешенных веществ 102, 123
- Соединения с гарантированным натягом 295
- Составляющие звенья 298
- Спиральные насосы 194
- Спуски 13
- Статический дисбаланс 315
- Стационарная сборка 298
- Струйные насосы 39, 198, 204
- Сухое трение 281
- Таль 85
- Тарельчатый питатель 67
- Твердая смазка 323
- Температура воды 102, 123
- Тепловое изнашивание 284
- Техническое обслуживание 278
- Транспортирующие желоба 12
- Трение 281
- Трибоника 281
- Трущиеся пары 281
- Тупиковая сеть 110, 111
- Турбокомпрессоры 233
- Тяговый орган 46
 - » элемент 34, 35
- Угол естественного откоса 5
 - » трения движения 14
- Удельный расход воды 112
- Узел 278
- Уплотнительные смазки 320
- Уравнение политропного процесса 220
 - » центробежного насоса 173
- Усталостное изнашивание 283
 - » разрешение 286
- Фекальные воды 117
- Физический износ 282
- Фильтры 125
- Фреттинг-коррозия 284
- Характеристика вентиляционной сети 260
- Хвосты 147
- Хвостохранилище 150
- Хозяйственно-бытовые сточные воды 117
- Цепь 90
- Цепной конвейер 32
- Цианирование 314
- Шаг ковшей 45
- Шестеренные насосы 197, 203
- Шибберные затворы 58
- Шпиль 84
- Эжекторы 198
- Эсплуатационная характеристика 178, 235
- Электродуговая сварка и наплавка 302

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Раздел I. ТРАНСПОРТ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК	4
Глава 1. Общие сведения о транспорте обогатительных фабрик . . .	4
§ 1. Роль и значение транспортных устройств	4
§ 2. Характеристика транспортируемых материалов и грузов	5
§ 3. Грузопотоки и составные звенья транспорта	6
§ 4. Классификация транспортных средств	7
Глава 2. Общие вопросы теории и расчета конвейерных установок	8
§ 5. Производительность конвейерных установок	8
§ 6. Определение сопротивлений на конвейере и мощности привода	9
§ 7. Привод транспортных средств	11
Глава 3. Гравитационный транспорт	12
§ 8. Общие сведения	12
§ 9. Основы теории гравитационного транспорта	13
§ 10. Устройство гравитационных установок	15
Глава 4. Ленточные конвейеры	16
§ 11. Общие сведения	16
§ 12. Устройство и основные элементы ленточного конвейера	18
§ 13. Основы теории привода ленточного конвейера	24
§ 14. Определение сопротивлений на конвейере и натяжения ленты	25
§ 15. Приближенный расчет мощности привода	27
§ 16. Определение производительности ленточного конвейера и ширины его ленты	28
§ 17. Эксплуатационный расчет ленточного конвейера	29
§ 18. Эксплуатация ленточных конвейеров	31
Глава 5. Пластинчатые и скребковые конвейеры	32
§ 19. Общие сведения	32
§ 20. Устройство пластинчатых и скребковых конвейеров	33
§ 21. Эксплуатационный расчет цепных конвейеров	36
Глава 6. Вибрационные конвейеры	39
§ 22. Общие сведения	39
§ 23. Устройство вибрационных конвейеров	40
§ 24. Эксплуатационный расчет вибрационных конвейеров	42
Глава 7. Ковшовые элеваторы	44
§ 25. Общие сведения	44
§ 26. Устройство ковшовых элеваторов	46
§ 27. Эксплуатационный расчет ковшовых элеваторов	49
Глава 8. Канатный транспорт	51
§ 28. Канатный транспорт по рельсовым путям	51
§ 29. Подвесные канатные дороги	52
§ 30. Основные элементы канатных транспортных устройств	53
§ 31. Основы расчета канатного транспорта	54

Раздел II. БУНКЕРНОЕ И СКЛАДСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	57
Глава 9. Бункера и бункерные затворы	57
§ 32. Общие сведения	57
§ 33. Конструкции бункеров и бункерных затворов	57
§ 34. Основы расчета бункеров	60
§ 35. Эксплуатация бункеров	61
Глава 10. Питатели	63
§ 36. Общие сведения	63
§ 37. Типы и параметры питателей	64
§ 38. Основы расчета питателей	68
§ 39. Эксплуатация и ремонт питателей	69
Глава 11. Склады полезного ископаемого	70
§ 40. Общие сведения	70
§ 41. Устройство складов	70
§ 42. Расчет складов	73
Глава 12. Приемные устройства обогатительных фабрик	74
§ 43. Общие сведения	74
§ 44. Типы приемных устройств	76
§ 45. Расчет приемных устройств	77
Глава 13. Погрузочные устройства обогатительных фабрик	79
§ 46. Общие сведения	79
§ 47. Типы погрузочных устройств	80
§ 48. Расчет погрузочных устройств	81
Глава 14. Грузоподъемные и вспомогательные механизмы	82
§ 49. Общие сведения	82
§ 50. Грузоподъемные механизмы	83
§ 51. Элементы грузоподъемных механизмов	88
Раздел III. ВОДОСНАБЖЕНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК	93
Глава 15. Общие сведения	93
§ 52. Принципиальная схема водоснабжения	93
§ 53. Классификация систем водоснабжения	94
§ 54. Нормы и режимы водопотребления	95
§ 55. Схемы водоснабжения обогатительных фабрик	97
Глава 16. Водозаборные, очистные и регулирующие сооружения	100
§ 56. Источники водоснабжения	100
§ 57. Физические, химические и бактериологические свойства воды	101
§ 58. Водозаборные сооружения	103
§ 59. Очистка водопроводной воды и очистные сооружения	105
§ 60. Запасные и регулирующие емкости	108
Глава 17. Водопроводная сеть	109
§ 61. Схемы водопроводных сетей	109
§ 62. Расчет водопроводных сетей	111
§ 63. Устройство водопроводных сетей	113
§ 64. Прокладка водопроводных сетей и их эксплуатация	115

Раздел IV. КАНАЛИЗАЦИЯ И ХВОСТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК	117
Глава 18. Канализация	117
§ 65. Общие сведения	117
§ 66. Канализационные сети	119
§ 67. Расчет канализационных сетей	121
§ 68. Очистка сточных вод	123
§ 69. Проблемы охраны водоемов от загрязнений	127
§ 70.оборотное водоснабжение обогатительных фабрик	129
Глава 19. Гидравлический транспорт	131
§ 71. Общие сведения	131
§ 72. Желоба и пульпопроводы	135
§ 73. Грунтовые и песковые насосы	137
§ 74. Пульпонасосные станции	139
§ 75. Основы расчета гидравлического транспорта	140
Глава 20. Хвостовое хозяйство	147
§ 76. Общие сведения	147
§ 77. Укладка мокрых хвостов	149
§ 78. Основные сооружения хвостового хозяйства	154
§ 79. Основы намыва дамб	158
§ 80. Транспортирование и укладка хвостов в отвал	161
§ 81. Укладка сухих и обезвоженных хвостов	162
Раздел V. НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ	166
Глава 21. Лопастные насосы	166
§ 82. Общие сведения	166
§ 83. Принципы действия, классификация и область применения центробежных насосов	169
§ 84. Основы теории центробежных насосов	171
§ 85. Теоретическая и действительная напорные характеристики центробежных насосов	174
§ 86. Характеристика трубопровода	178
§ 87. Законы пропорциональности и быстроходность центробежных насосов	180
§ 88. Высота всасывания и кавитация	182
§ 89. Осевая сила и способы ее уравнивания	184
§ 90. Регулирование центробежных насосов	186
§ 91. Совместная работа центробежных насосов	188
§ 92. Конструкции центробежных насосов	191
§ 93. Привод насосов	196
Глава 22. Объемные насосы	197
§ 94. Общие сведения	197
§ 95. Поршневые насосы	198
§ 96. Ротационные насосы	202
§ 97. Беспроводные насосы	204
Глава 23. Насосные станции	208
§ 98. Общие сведения	208
§ 99. Водопроводные насосные станции	210
§ 100. Канализационные насосные станции	211

Раздел VI. ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК	213
Глава 24. Общие сведения о воздухообеспечении	213
§ 101. Потребители сжатого воздуха	213
§ 102. Классификация машин для сжатия и подачи воздуха	214
§ 103. Параметры атмосферного воздуха	215
Глава 25. Поршневые компрессоры	217
§ 104. Устройство, принцип действия и классификация поршневых компрессоров	217
§ 105. Теоретический рабочий процесс поршневого компрессора	218
§ 106. Действительный рабочий процесс поршневого компрессора	221
§ 107. Многоступенчатое сжатие	224
§ 108. Подача компрессора	227
§ 109. Регулирование подачи компрессора	228
§ 110. Мощность и кпд компрессора	229
§ 111. Конструкции поршневых компрессоров	231
Глава 26. Турбокомпрессоры и турбовоздуходувки	233
§ 112. Основы рабочего процесса и принцип действия	233
§ 113. Характеристики турбокомпрессоров	235
§ 114. Регулирование турбокомпрессоров	236
§ 115. Конструкции турбокомпрессоров и турбовоздуходувок	238
Глава 27. Ротационные компрессоры	240
§ 116. Ротационные пластинчатые компрессоры	240
§ 117. Водокольцевые воздуходувки	243
§ 118. Винтовые компрессоры	244
Глава 28. Воздухопроводная сеть	246
§ 119. Устройство воздухопроводной сети	246
§ 120. Расчет воздухопроводной сети	248
Глава 29. Компрессорные установки	250
§ 121. Оборудование компрессорных установок	250
§ 122. Проектирование компрессорных установок	252
§ 123. Эксплуатация компрессорных установок	253
Глава 30. Вентиляторы	254
§ 124. Устройство, принцип действия и классификация вентиляторов	254
§ 125. Основные закономерности	256
§ 126. Характеристики вентиляторов и способы регулирования	258
§ 127. Конструкции вентиляторов	261
Глава 31. Вентиляторные установки	263
§ 128. Системы вентиляции обогатительных фабрик	263
§ 129. Оборудование вентиляторных установок	265
§ 130. Вентиляционный воздуховод, его устройство и расчет	265
§ 131. Проектирование вентиляторных установок	267
§ 132. Эксплуатация вентиляторных установок	269
Глава 32. Пневматический транспорт	270
§ 133. Схемы и оборудование пневматических транспортных установок	270
§ 134. Основы расчета пневматического транспорта	273
Раздел VII. РЕМОНТНОЕ ХОЗЯЙСТВО ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК	276
Глава 33. Общие сведения	276

§ 135. Роль и значение ремонтного хозяйства	276
§ 136. Основные термины и определения	277
§ 137. Надежность оборудования	279
Глава 34. Износ машин и деталей	281
§ 138. Общие сведения о трении	281
§ 139. Виды и классификация износа	282
§ 140. Основные положения теории трения и износа	284
§ 141. Зазоры в сопряжении вал — подшипник скольжения	286
§ 142. Износ подшипников качения	288
§ 143. Износ зубчатых колес	289
§ 144. Износ цилиндропоршневой группы	289
§ 145. Методы определения износа	290
§ 146. Способы уменьшения износа	291
Глава 35. Подготовка машин к ремонту	292
§ 147. Структура технологического процесса ремонта	292
§ 148. Разборка оборудования	294
§ 149. Очистка, мойка деталей	295
§ 150. Дефектация деталей	295
Глава 36. Сборка машин	297
§ 151. Общие сведения	297
§ 152. Разработка технологического процесса сборки машин	298
§ 153. Виды сборки деталей и узлов	299
Глава 37. Технология ремонта деталей обогатительного оборудования	301
§ 154. Методы и способы восстановления изношенных деталей	301
§ 155. Восстановление деталей сваркой и наплавкой	302
§ 156. Восстановление деталей гальваническим покрытием	305
§ 157. Восстановление деталей металлизацией	307
§ 158. Восстановление деталей клеями и полимерными материалами	309
§ 159. Восстановление деталей механической обработкой	310
§ 160. Термическая и химико-термическая обработка восстанавливаемых деталей	313
Глава 38. Балансировка вращающихся деталей и узлов	315
§ 161. Общие сведения	315
§ 162. Статическая балансировка	317
§ 163. Динамическая балансировка	318
Глава 39. Смазка машин и оборудования	319
§ 164. Общие сведения о смазочных материалах	319
§ 165. Физико-химические свойства смазочных материалов	320
§ 166. Выбор смазочных материалов и смазочных систем	322
§ 167. Замена, очистка и регенерация смазочных материалов	326
§ 168. Организация смазочного хозяйства	327
Список литературы	329
Предметный указатель	330