

Научный редактор — д-р техн. наук О. А. Савинов

Годес Э. Г. Строительные подводно-технические работы. Справочник. Л., Стройиздат (Ленингр. отд-ние), 1974, 160 с.

В справочнике приведены сведения по строительным подводно-техническим работам (использование водолазного оборудования, земляные работы, устройство каменных и щебеночных постелей, прокладка подводных трубопроводов, строительство водозаборных сооружений, подводные работы при возведении гидротехнических сооружений). Приложения содержат таблицы и перечень оборудования, инструмента и приспособлений.

Справочник предназначен для работников строительных организаций, занятых проектированием, организацией и выполнением строительных подводно-технических работ.

Табл. 55; рис. 35; список лит.: 19 назв.

Г 30207—079 112—74
047(01)—74

© Стройиздат. Ленинградское отделение, 1974.

Посмотрите на карту СССР. Нет такого уголка в нашей стране, где бы не велись работы, предусмотренные грандиозной программой созидания, утвержденной историческим XXIV съездом Коммунистической партии Советского Союза. Нет такой отрасли народного хозяйства, где бы партия не наметила новые рубежи, достижение которых будет означать, что сделан еще один решающий шаг в создании материально-технической базы коммунизма. Огромные усилия направлены на дальнейшее повышение материально-культурного уровня жизни народа.

В текущем пятилетии, например, намечено построить не менее 30 тыс. км магистральных газопроводов, создать мощную систему трубопроводов для перекачки нефти из Западной Сибири в Европейскую часть и в восточные районы страны, построить 27 тыс. км магистральных нефтепродуктопроводов, увеличить объем перекачиваемой нефти и нефтепродуктов более чем в два раза.

В Российской Федерации в девятой пятилетке будет осуществлено строительство газопроводов для подачи газа на Урал и в Европейскую часть СССР, нефтепроводов к перерабатывающим заводам Сибири, Казахстана, Европейской части СССР. В Казахской ССР будет проложен нефтепровод Омск—Павлодар—Чимкент, в Туркменской ССР — магистральные газопроводы для подачи газа из западных и восточных районов республики в Европейскую часть СССР.

Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану поставлена задача увеличить пропускную способность морских и речных портов путем строительства новых и реконструкции действующих сооружений, обеспечить население, проживающее в городах и поселках, централизованным водоснабжением. Предполагается осуществить в значительном объеме строительство и реконструкцию очистных сооружений для промышленных и бытовых сточных вод.

Многие тысячи километров газо- и нефтепроводов, а также трубопроводов для обеспечения населения и промышленных объектов водой, сброса бытовых и сточных вод будут проложены под водой. Этими работами займется многочисленная армия подводных строителей, которым предстоит выполнить большой и сложный комплекс земляных, бетонных, монтажных, ремонтных работ.

Подводно-технические работы имеют свои особенности и осуществляются квалифицированными водолазами с помощью богатей-

шего арсенала технических средств, который все время пополняется по мере развития современной науки и техники. Накоплен богатый практический опыт, что позволит подводным строителям хорошо справиться с задачами, поставленными перед ними в новой пятилетке.

Успех подводно-технических работ обеспечивается тщательной подготовкой к ним, всесторонним учетом местных условий, хорошей оснащенностью техническими средствами, правильным их использованием, перенесением в практику передовых методов труда, строгим соблюдением правил охраны труда и техники безопасности.

В настоящем справочнике приведены сведения, которые могут помочь правильно организовать подводно-технические работы, добиться высокой их эффективности.

Автор приносит глубокую благодарность инж. Е. В. Семеновой за большую помощь, оказанную при подготовке справочника.

Глава I,

СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПОД ВОДОЙ

§ 1. КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОДОЛАЗУ

К подводно-техническим работам допускаются водолазы, имеющие свидетельство об окончании специальной школы (курсов), личную книжку водолаза и заключение врачебной комиссии о профессиональной пригодности его с указанием предельной глубины, на которую он может производить погружение в текущем году.

По уровню подготовки водолазы разделяются на три класса — I, II, III. Независимо от классификации, к водолазам предъявляются требования: безупречно знать правила охраны труда и техники безопасности, правила технической эксплуатации водолазного снаряжения, оборудования, приспособлений и инструментов; технологию производства работ; требования, предъявляемые к организации рабочего места.

Класс, а также звание «водолазный специалист» присваиваются квалификационными комиссиями после тщательной проверки теоретических знаний и выполнения практических погружений.

Водолаз III класса должен уметь обследовать акваторию и предметы и сооружения, уложить бетон, осмотреть и заделать пробоины, а также выполнять простые слесарные, плотничные, такелажные, земляные работы.

Водолаз II класса выполняет работы повышенной сложности и большего объема: он должен уметь самостоятельно производить декомпрессию водолазов, руководить работой водолазной станции, производить предупредительный ремонт снаряжения, устанавливать бетонные массивы, обследовать подводные части гидротехнических сооружений, укладывать трубы и кабели, устанавливать водозаборные оголовки на подготовленное основание, изготавливать и устанавливать арматуру и др. Ему вменяется в обязанность знать правила эксплуатации компрессоров.

II класс присваивается водолазу, который провел под водой в общей сложности не менее 1000 ч, выполняя работы, относящиеся к I и II группам специализации.

Водолаз I класса должен уметь пользоваться всеми видами водолазной техники соответственно группе, к которой он относится (по сложности водолазные работы разделяются на три группы — I, II, III), производить проверку и испытание снаряжения и оборудования, организовать помощь пострадавшим водолазам. Если водолаз I класса выполняет работы, по специализации относящиеся к I и II группам, то он должен овладеть еще одной дополнительной специальностью (сварщика, резчика, взрывника), уметь снять

эскиз подводных частей сооружения, составить планшеты глубины с определением категорий грунта, произвести подводную разметку сооружения и др.

Продолжительность рабочего дня водолазов составляет 6 ч, а рабочих, обслуживающих плавушие и технические средства, применяемые при водолазных работах, — 7 ч.

Водолаз, занятый выполнением различных операций, входящих в комплекс подводно-технических работ, подвергается давлению окружающей его воды. При погружении вглубь на каждые 10 м давление возрастает на 1 атм.

Подводно-технические работы производятся при различной видимости. От прозрачности воды, освещенности объектов (предметов), надежной защиты глаз водолаза непосредственно зависят темпы и качество выполнения этих работ. На большой глубине в прозрачной воде водолаз хорошо различает предметы, находящиеся от него на расстоянии 5—6 м. На глубине около 100 м эти же предметы он видит лишь в том случае, если находится от них на расстоянии 1—2 м. Аквалангист в маске обычно свободнее различает объекты (предметы), чем водолаз в шлеме. Опыт и длительные тренировки позволяют водолазам легко ориентироваться под водой и определять расстояния до предметов.

Цветовые тона, особенно синий и зеленый, под водой не различить. Лучше виден белый цвет, поэтому инструменты для водолазных работ делают именно белыми.

Видимость под водой в реках может меняться в широких пределах, особенно в зависимости от времени года.

В табл. 1 приведены данные об относительной дальности видимости белого диска под водой в некоторых реках нашей страны.

Таблица 1

Реки и пункты замера	Глубина видимости диска в м	Время года
Амударья у г. Чарджоу	0,03—0,05	Круглогодично
Амур у г. Хабаровска	1,2	Осенью
Волга у г. Калининна	0,6	Весной
Волга у г. Калининна	1,2	Летом
То же	3,0—4,0	Зимой
Волга у г. Сызрани	1,0—1,2	Летом
То же	3,0	Зимой
Волхов выше ГЭС	1,2—1,8	Летом, осенью
Волхов ниже ГЭС	0,6—0,8	То же
Даугава у г. Риги	0,8	Летом
Дой у г. Смоленска	0,8	»
То же	1,2	Зимой
Иман у ст. Иман	0,8—1,0	Летом
Иртыш у г. Семипалатинска	0,4—0,6	»
Кубань у ст. Звениномской	0,05	»
Москва у г. Звенигорода	1,5—2,0	»
Москва в г. Москве	0,6—0,8	»
Нева в г. Ленинграде	0,8—1,3	Летом
То же	2,0—2,5	Зимой
Обь у г. Барнаула	2,5	»
Обь у г. Новосибирска	0,8—1,2	Летом
Печора у г. Печора	1,8—2,5	Зимой
Хунгари у ст. Хунгари	3,0—4,0	Осенью

Для определения дальности видимости под водой пользуются стандартным белым диском диаметром 300 мм (так называемым диском Секки), опускаемым на размеченном лине в воду. Глубина, при которой диск становится невидимым, характеризует относительную дальность видимости или глубину видимости в данном месте. Дальность видимости в горизонтальном направлении меньше глубины видимости в среднем в два раза.

Дальность видимости под водой в морях и водохранилищах значительно больше, чем в реках. Так, например, белый диск в Черном море виден под водой на расстоянии 28 м (для сравнения с табличными данными).

§ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОЛАЗНОГО СНАРЯЖЕНИЯ

К водолазному снаряжению (рис. 1) любого типа предъявляются четыре требования: первое — бесперебойно питать водолаза воздухом (газовой смесью), обеспечивая тем самым нормальное дыхание под давлением (давление воздуха должно быть равно давлению окружающей среды); второе — обеспечить водолазу, погруженному в воду, нормативный вес, гарантирующий его устойчивость; третье — облегчить передвижение водолаза под водой; четвертое — создать условия для надежной связи его с поверхностью.

Вес водолаза, облаченного в полное вентилируемое снаряжение, составляет 150 кг. В воде он будет весить ровно в 15 раз меньше, т. е. 10 кг. Вес аквалангиста без гидрокombинезона, но с кислородной маской будет вдвое меньше, т. е. 5 кг.

Водолазное снаряжение включает комплекс устройств, создающих необходимые условия для пребывания водолаза под водой в течение длительного времени и выполнения им различных подводно-технических работ. Снаряжение подразделяется на несколько видов: вентилируемое; инжекторно-регенеративное; регенеративное; воздушно-баллонное с выдыхом в воду.

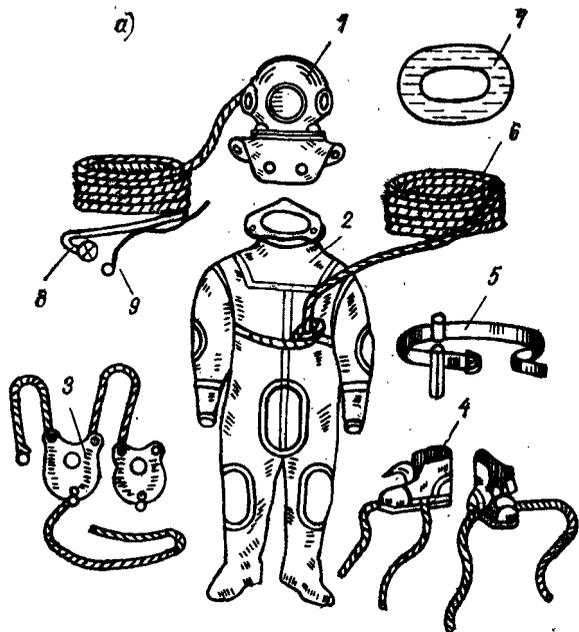
На строительных работах применяется почти исключительно вентилируемое снаряжение двух типов — трехболтовое и двенадцатиболтовое. Для проведения контрольных операций может использоваться также воздушно-баллонное снаряжение.

Особенность инжекторно-регенеративного снаряжения в том, что газовая смесь восстанавливается в регенеративной системе самого снаряжения. Дыхательный газ подается с поверхности в инжектор и наполняет скафандр во время погружения водолаза. Возможность обеспечить бесперебойную подачу газовых смесей для дыхания позволяет осуществлять работы на глубинах до 100 м.

Регенеративное снаряжение имеет автономную систему газоснабжения. Дыхание водолаза в газовой системе дыхательного аппарата происходит по замкнутому циклу. Такое снаряжение обычно используется водолазами, страхующими других водолазов при спуске.

В состав водолазного снаряжения входят: шлем, рубаха, грузы и галоши.

Трёхболтовый водолазный шлем УВС-50 состоит из котелка и манишки. Воздухотелефонный ввод, размещенный на корпусе котелка шлема, имеет два патрубка, к нижнему присоединяется водо-



б)

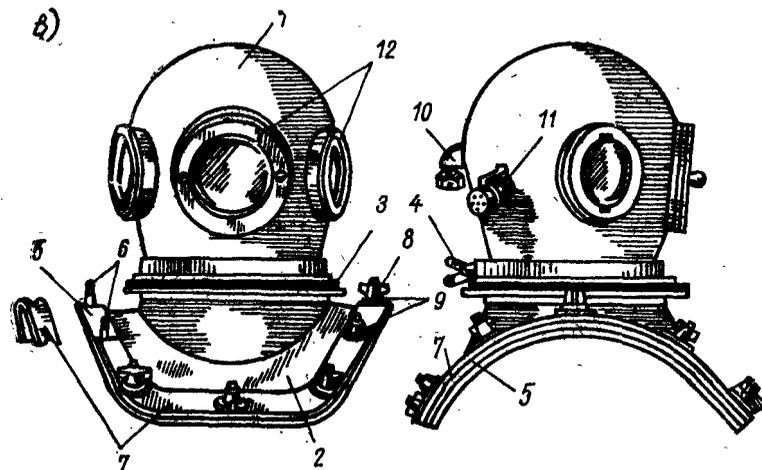
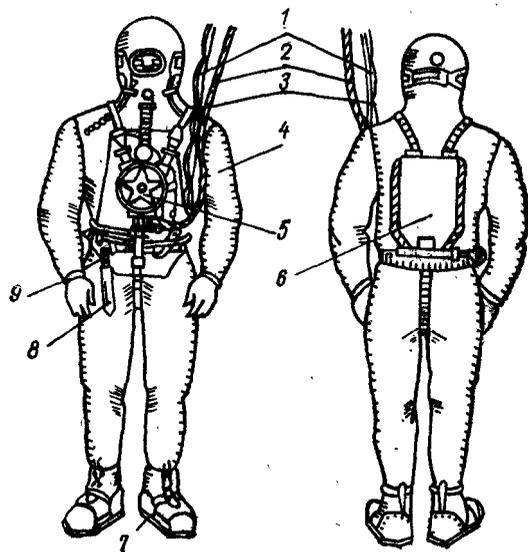


Рис. 1. Водолазное снаряжение

а—вентилируемого типа: 1—шлем с манишкой; 2—водолазная рубашка; 3—грузы; 4—галуши; 5—пояс с ножом; 6—сигнальный конец; 7—наплечная подушка; 8—водолазный шланг; 9—телефонный кабель; б—воздушно-баллонное с выдохом в воду; 1—телефонный кабель; 2—сигнальный конец; 3—водолазный автомат; 4—гидрокомбинезон; 5—дыхательный автомат; 6—аварийное устройство; 7—водолазные галоши; 8—водолажный нож; 9—поясной ремень; а—двенадцатиболтовый шлем: 1—шлем; 2—манишка; 3—кожаная прокладка; 4—стопорный барашек; 5—усилительная планка; 6—болты-шпильки; 7—накладные планки; 8—барашковые гайки; 9—латунные шайбы

лазный шланг, через верхний пропускуют телефонный кабель. На правой стороне шлема находится головной травящий клапан, служащий для удаления из скафандра избытка воздуха и периодической его вентиляции. Клапан открывается, если давление воздуха в шлеме превысит $0,1 \text{ кгс/см}^2$. Толщина стекла смотровых иллюминаторов (двух боковых и одного переднего), устроенных в шлеме, составляет 12 мм.

Двенадцатиболтовый шлем (см. рис. 1, в) состоит из собственно шлема и манишки. Шлем соединяется с манишкой при помощи резьбы. Плотность соединения обеспечивается кольцевой кожаной прокладкой. Стопорный барашек в задней части шлемового фланца препятствует смещению шлема. По внешней кромке манишки проходит усилительная планка с двенадцатью болтами-шпильками, на которые надевается фланец водолазной рубашки, прижимаемый к машинке четырьмя накладными планками при помощи двенадцати барашковых гаек. На стыках планок под барашковые гайки подкладываются латунные шайбы. Шлем с манишкой весит 20 кг.

К вентилируемому снаряжению относятся водолазные рубашки, подразделяемые на трехболтовые ВР-3 и ВРЭ-3 и двенадцатиболтовые ВР-12. Летние рубашки имеют манжеты, зимние — вшитые рукавицы. Рубашки ВР-3 и ВР-12 изготавливаются из прорезиненной водогазонепроницаемой хлопчатобумажной материи с подкладкой. Материалом для водолазной эластичной рубашки ВРЭ-3 служит МКТ на капроновой основе с подкладкой из трикотажного полотна.

Рубахи подвержены вредному действию кислот и нефтепродуктов. Морозостойкость и теплостойкость их колеблется от -30 до $+30^{\circ}\text{C}$.

Автоматическое стравливание избытка воздуха из скафандров осуществляется с помощью травящих клапанов, находящихся спереди и сзади на водолазных рубахах. Если водолазу предстоит работать на глубине более 20 м, то устанавливаются передний и задний клапаны, при меньших глубинах — только один задний. Встречаются клапаны: со стопорной головкой, с гидростатической головкой, травяще-предохранительный (универсальный) с высокой степенью герметичности.

Водолазные грузы — составной элемент вентилируемого снаряжения — предназначены для обеспечения водолазу отрицательной плавучести при погружении и фиксации положения. Передний и задний грузы представляют собой свинцовые или чугунные отливки весом по 16—18 кг.

Водолазные галоши со свинцовой подошвой нормального веса (21 кг) или утяжеленные (23 кг) выполняют и защитные функции, предохраняя ноги от ушибов, а подошву рубахи от износа, а также служат для погашения излишней плавучести водолаза и придания ему остойчивости под водой.

Воздух в скафандр от водолазного компрессора подается по толстостенным гибким резиноканевым трубкам, именуемым шлангами. По способу изготовления шланги подразделяются на дорновые и бесдорновые.

Дорновые шланги имеют длину звена 20 м, внутренний диаметр 14 мм, 8,5 мм, наружный диаметр 36 мм, 30 мм, предел прочности на растяжение 500 кгс, испытательное давление 40 кгс/см². Масса одного метра 1,4 кг, 1,0 кг. Соответственно бесдорновые шланги имеют длину звена 100—150 м; внутренний диаметр 12 мм, 8,5 мм; наружный диаметр 30 мм, 25 мм; предел прочности на растяжение 500—400 кгс; испытательное давление 75 кгс/см²; массу одного метра 0,7 кг, 0,6 кг.

Для соединения звеньев шлангов между собой служат шланговые соединения, которые изготавливаются из латуни.

Шланг изготавливается из колен (звеньев) длиной до 20 м. Встречаются длиномерные шланги с длиной колена от 40 до 160 м и рабочим давлением, вдвое превышающим давление в других шлангах. Шланговые соединения изготавливаются из латуни и могут быть разъемными и неразъемными.

Просмоленный четырехрядный пеньковый трос длиной 100 м, окружностью 50—65 мм служит сигнальным концом, удерживающим водолаза при погружении и подъеме. В случаях, когда нет возможности установить телефонную связь, трос используется для передачи условных сигналов. Сигнальный трос с огонами (петлями) на концах одним (ходовым) концом надевается на водолаза, а другим (коренным) крепится за рым или кнехт плавучего средства (судна).

К специальной одежде водолаза относятся: шерстяное водолазное белье (свитер, рейтузы, феска, чулки, носки и варежки), водолазный нож с ножнами, которые крепятся к поясному ремню карабином.

Воздушно-баллонное снаряжение имеет открытую схему дыхания, т. е. подача воздуха водолазу осуществляется пульсирующим потоком и только на вдох. Выдыхаемый воздух отводится непосредственно в воду. Такое снаряжение используется водолазами, осуществляющими контроль строительно-ремонтных работ, выполняемых в воде.

Воздушно-баллонное снаряжение комплектуется из аппаратов («аквалангов») АВМ-1, «Украинца-2», ШАП-40 и др. При применении аппарата АВМ-1М водолаз должен иметь в своем распоряжении гидрокombинезон, грузовой пояс и водолазный нож. Шерстяное белье он надевает, если предстоит спуск в холодную воду.

Техническая характеристика аппарата АВМ-1М

Количество баллонов	2
Емкость баллонов в л	7
Рабочее давление в кгс/см ²	150
Запас воздуха в л	2100
Вес снаряжения в кг:	
с пустыми баллонами	20,8
с заряженными	23,5
Установочное давление воздуха в камере редуктора в кгс/см ²	5—7
Срабатывание предохранительного клапана при давлении в кгс/см ²	10—15
Давление резервного запаса воздуха в кгс/см ²	20—30
Глубина погружения в м	40

Основные детали аппарата — баллоны с воздухом — выполняются из легированной стали. Веса они от 7 до 8 кг. Посредством воздушных трубок высокого давления баллоны присоединяют к дыхательному аппарату. Двухступенчатый дыхательный автомат понижает давление воздуха в зависимости от глубины погружения водолаза и подает воздух в количестве, необходимом для жизнедеятельности водолаза под водой. Автомат оснащен редуктором, способным понижать давление сжатого воздуха, поступающего из баллона, примерно в 30 раз (со 150 до 5—7 кгс/м²), камерой вдоха с клапаном редуктора, автоматически уравнивающим давление воздуха с давлением окружающей среды. Указатель минимального давления с манометром предназначен для контроля за давлением воздуха в баллонах, чтобы своевременно подать водолазу сигнал об израсходовании рабочего запаса воздуха.

Акваланг «Украинца-2» в отличие от аппарата АВМ-1М имеет разделенные ступени редуцирования. Им удобнее пользоваться при кратковременных и несложных работах под водой.

Техническая характеристика аппарата «Украинца-2»

Емкость баллонов в л	7
Рабочее давление в кгс/см ²	150
Запас воздуха в л	2100
Вес аппарата (на поверхности) в кг	19,8
Установочное давление воздуха в редукторе (при давлении в баллонах 130—150 кгс/см ²) в кгс/см ²	5—7
Давление резервного запаса воздуха в кгс/см ²	15—20
Глубина погружения в м	40

Основные детали акваланга «Украинца-2»: два 7-литровых баллона, трубка высокого давления, запорный вентиль с включателем резервного запаса воздуха, поршневой редуктор, дыхательный автомат с загубником и гибким шлангом.

Воздушно-баллонный шланговый аппарат ШАП-40 отличается тем, что воздух подается водолазу по шлангу из транспортного баллона или от ручной нагнетательной помпы, находящихся на поверхности. Сжатый воздух из баллонов используется в том случае, если прекращается подача его по шлангу, т. е. при аварийных

обстоятельствах. Крепление шланга к аппарату осуществляется с помощью быстродействующего разъемы.

Воздушно-баллонный аппарат ШАП-40 применяется в комплекте с гидрокомбинезоном, маской. В комплект входят также водолазный шланг с разъемом, редуктор, поспойной груз, водолазный нож.

Техническая характеристика аппарата ШАП-40

Емкость баллонов в л	2
Рабочее давление в кгс/см^2	200
Общий запас воздуха в баллонах	800
Установочное давление в камере редуктора в кгс/см^2	6-7
Вес аппарата (на поверхности) в кг:	
с пустыми баллонами	11,5
с наполненными баллонами	12,5
Общая длина шланга в м	40
Продолжительность пребывания под водой (с учетом запаса воздуха в баллонах) в мин:	
на глубине 10 м	до 13
> > 20 >	> 8
> > 30 >	> 6

Аппарат ШАП-40 применяется для простейших подводно-технических работ в несложных условиях и при неглубоком погружении.

Кроме описанных воздушно-баллонных аппаратов, в настоящее время применяется водолазное универсальное снаряжение (СВУ), которое также работает по открытой схеме дыхания (см. техническую характеристику СВУ). Им пользуются для обследований подводных объектов, производства мелких работ и т. п. на глубине до 30 м. Обычно сжатый воздух подается по шлангу с поверхности (от ручной водолазной помпы типа ОВП, воздушных транспортных баллонов или стационарных судовых воздушных магистралей). Подача воздуха может также осуществляться автономно из баллонов дыхательных аппаратов посредством дыхательного автомата.

Техническая характеристика СВУ

Дыхательные аппараты АВМ-3 | ШАП-62

Максимальная глубина при автономном погружении в м	40	-
Глубина погружения при подаче воздуха с поверхности в м:		
от облегченной водолазной помпы ОВП от судовой воздушной магистрали через фильтр ФВС-55	Не больше	10
от транспортного баллона через редуктор	>	> 30
Рабочее давление в баллонах в кгс/см^2	150	200
Количество баллонов	2	3
Запас воздуха в баллонах в л	1500	720
Вес аппарата с наполненными баллонами в кг	21	13

В комплект оборудования СВУ входят гидрокомбинезоны ГК СВУ-А, ГК СВУБ и ГК-6, грузы, боты, галоши безразмерные, ласты. Снаряжение может быть скомплектовано в двух вариантах: СВУ-1 и СВУ-2.

Дыхание в снаряжении осуществляется через полумаску шлема гидрокомбинезона или через загубник шлема-маски. Подача воздуха с поверхности осуществляется различными средствами: от корабельной воздушной магистрали, из транспортных баллонов, а также от ручных водолазных помп.

§ 3. ПРАВИЛА УХОДА ЗА ВОДОЛАЗНЫМ СНАРЯЖЕНИЕМ

Общими правилами ухода за водолажным снаряжением (по окончании работы) предусматривается выполнение следующих операций.

Водолазные шлемы вентилируемого снаряжения смачиваются (обмываются) снаружи водой, а изнутри протираются сухой незагрязненной ветошью; при производстве некоторых видов работ, связанных с разрывом грунта, головной клапан шлема разбирается, промывается и детали протираются насухо, пружина смазывается техническим вазелином. Износившиеся шлемовые прокладки заменяются.

Водолазные рубахи, гидрокомбинезоны (гидрокостюмы) очищаются от грязи, промываются в чистой воде. Рубахи и гидрокомбинезоны просушивают с обеих сторон.

Дыхательные аппараты, наиболее чувствительные к загрязнениям, требуют к себе особого внимания, так как влага и соль могут вызвать коррозию металлических частей, привести в негодность детали, выполненные из резины и кожи. После окончания работ аппарат очищают от грязи, ила, песка, тщательно промывают в пресной воде, подсушивают в сухом, хорошо проветриваемом помещении.

Помимо рабочей проверки снаряжения, которая производится перед началом работ, устраиваются периодические проверки — малая и полная: первая делается раз в месяц, вторая — раз в год. Полная проверка устраивается также после капитального ремонта снаряжения или при получении нового комплекта.

При малой проверке вентилируемого снаряжения исследуют водолазный шлем, состояние и крепление деталей, разбирают и приводят в порядок головной и предохранительный клапаны, затем проверяют герметичность шлема (опускают его в воду и по воздушным пузырькам определяют места протечки воздуха). Водолазные рубахи осматривают на целостность ткани и водонепроницаемость при соединении со шлемом, на герметичность соединений с манжетами. После того как травящий клапан сигнального конца на растяжение протерты, приступают к испытаниям испытательного конца на растяжение путем подвешивания груза весом 180 кг. На растяжение испытывают и водолазные шланги.

Воздушно-кислородное снаряжение проверяют так же, как и вентилируемое. Исключение составляют инжекторное устройство, регенеративная коробка и кран переключения. Проверяя исправность инжекторного устройства, осторожно вывертывают полую заглушку, затем снимают соединительный кольцевой штуцер шланга, вывертывают из корпуса сопло и извлекают диффузор и втулку-расширитель. Эти детали очищают от грязи, окислов, тщательно промывают спиртом.

Малая проверка водолазного снаряжения с воздушно-баллонными и шланговыми аппаратами предусматривает ежемесячный осмотр аппаратов: Раз в два месяца производят частичную разборку дыхательных аппаратов (снимают крышку и извлекают мембрану автомата, исследуют камеру вдоха, проверяют состояние рычагов, клапана автомата, мембраны, определяют исправность дыхательных шлангов и лепесткового клапана выдоха, очищают внутреннюю полость и крышку дыхательного автомата от грязи, наслоение соли,

производитель тщательную промывку и протирку). Проверяют также указатель минимального давления и предохранительный клапан.

Полная проверка водолазного снаряжения производится в специальных мастерских.

Дезинфекция водолазного снаряжения производится для предохранения водолаза от инфекционных заболеваний. Поэтому водолазные шланги, внутренние поверхности шлема и фланцев водолазных рубах периодически дезинфицируются пищевым этиловым спиртом-ректификатом крепостью 96°. Некоторые предметы легкого водолазного снаряжения вначале промывают в теплой воде, а затем обрабатывают спиртом.

Установлены нормы расхода пищевого 96-градусного этилового спирта-ректификата на дезинфекцию водолазного снаряжения и оборудования: на водолазный шлем и фланец рубахи — 20 г перед каждым повторным спуском; на 1 м водолазного шланга с внутренним диаметром 12—14 мм — 10 г один раз в год; на 1 м водолазного шланга с внутренним диаметром 6—8,5 мм — 5 г в год; на шлем с загубником или полумаской — 10 г перед каждым спуском; на трубку вдоха и выдоха аппаратов нагрудного типа — 10 г через каждые 15 спусков; на инжекторное устройство шлемов — 100 г через каждые 20 спусков; на регенеративную коробку и патроны инжекторно-регенеративного снаряжения — 100 г; для дезинфекции аппаратов в случае инфекционных заболеваний водолазов — 100 г; на регенеративную коробку автономных аппаратов — 20 г.

Правилами предусмотрено хранение водолазного снаряжения в сухом закрытом помещении с температурой от 5 до 20°С. Необходимо следить за тем, чтобы крупные и тяжелые предметы были уложены на стеллажи или деревянные настилы, металлические предметы во избежание коррозии смазаны техническим вазелином или таловом, изделия из резины не лежали по соседству с промасленными предметами, водолазные рубахи и гидрокombineзоны были развешаны, а водолазные шланги, телефонный кабель и сигнальные концы смотаны в бухты диаметром не менее 1 м.

§ 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ИМУЩЕСТВО ДЛЯ ВОДОЛАЗНЫХ РАБОТ

В комплект механизмов и имущества для водолазных работ входят водолазные компрессоры, баллоны, средства для освещения, телефонная аппаратура, специальный инструмент и приспособления.

Водолазные компрессоры служат для обеспечения водолазов воздухом, другими газами или газовыми смесями. Различаются они по назначению, способу установки, роду сжимаемых газов, конечному давлению газа, производительности, типу привода, числу ступеней сжатия. К воздушным компрессорам относятся:

Трехцилиндровая водолазная помпа служит для обеспечения безопасного спуска водолаза в вентилируемом снаряжении на глубину до 15 м. Производительность помпы за один оборот — 3 л, рабочее давление — 4 кгс/см², общий вес — 250 кг.

Облегченная водолазная помпа ОВП предназначается для подачи воздуха водолазу, который производит работы также на глубине до 15 м. Производительность помпы за один период качания — 1,8 л, рабочее давление — 5 кгс/см², общий вес — 55 кг.

Компрессоры стационарные среднего давления могут быть двухступенчатые типа ВК-25, спаренные с двигателем внутреннего сгорания — типы ВК-25-Д1 и ВК-25-Б1, спаренные с электродвигателем — типы ВК-25-Э1 и ВК-25-ЭМ.

Компрессоры высокого давления предназначены для нагнетания в баллоны сжатого воздуха до давления 150—200 кгс/см² и выше.

Дизель-компрессор ДК-2 обычно устанавливается на судах, обслуживающих водолазные работы. Этот четырехступенчатый компрессор имеет свободное движущиеся поршни и обеспечивает сжатие воздуха до давления 230 кгс/см².

Электрокомпрессоры ЭК-15, ЭК-10, ЭК-7,5 спарены с электродвигателем напряжением 220/380 в. Технические характеристики:

	ЭК-15	ЭК-10	ЭК-7,5
Производительность в л/мин	15	10	7,5
Давление сжатого воздуха в баллонах в кгс/см ²	200	400	400

Переносные компрессоры имеют небольшой вес и поэтому обладают высокой маневренностью, легко обеспечивают зарядку баллонов. К этим типам компрессоров относится широко распространенный «Старт-1» и бензокомпрессор «Старт-2». Производительность их при конечном давлении 200 кгс/см — 0,17 л/мин. Вес компрессора «Старт-1» — 48 кг, а «Старт-2» — 39 кг.

Стальные баллоны в водолазной практике используются для хранения запасов воздуха, кислорода, гелия, азота. Баллоны применяются также для приготовления газовых смесей. Емкость транспортных баллонов — 40 л, малолитражных — 7 ÷ 10 л.

Переносный светильник ППС-1000, подводный фонарь, водолазные шлемовые светильники относятся к средствам подводного освещения. Они служат для освещения объектов, находящихся под водой, чаще всего при гидротехнических работах. Фонарь РПФ-55 обеспечивает местное освещение под водой на глубине до 30 м. Относится к автономным светильникам. В корпусе находятся отражатель, лампочка накаливания МН-3 на 2,5 в, 0,14 а и два элемента типа «Сатурн». На глубине более 30 м используются фонари типа СПА. Водолазный шлемовый светильник ВС-1 обычно применяется при работах в стесненных местах. Светильник крепится на шлеме водолаза. Ко всем светильникам предъявляются требования — обладать высокой герметичностью и механической прочностью.

Водолазная телефонная аппаратура должна обеспечить надежную двустороннюю связь с водолазами, находящимися под водой. В комплект водолазной станции ВК-1 входят: коммутатор, гарнитура телефониста, шлемовые телефон и микрофон. Вес станции (полным комплектом) составляет 75 кг. Работает ВК-1 без источников питания на глубине до 30 м, а при питании от аккумуляторной батареи напряжением 12 в — на глубине до 60 м. Легководолазная телефонная станция ЛВТС-63 обеспечивает связь на глубину до 60 м. Станция может поддерживать двустороннюю связь с двумя водолазами.

Немагнитная водолазная телефонная станция (НВТС-М) является универсальной: к ней подключаются два водолаза, работающие под водой. Станция принимает все их передачи и, в свою очередь, транслирует им команды. Водолазы могут переговариваться и между собой. Станция, находящаяся на поверхности, контролирует

их связь. Расстояние, на котором можно держать связь с водолазами, — до 100 м. Станция обслуживает водолазов, работающих в вентилируемом и инжекторно-регенеративном снаряжении.

Существует обширный набор инструментов и технических средств для производства водолазных работ. К ручному инструменту относятся: водолазный кренометр-угломер для измерения углов наклона подводных объектов, линейка длиной 1,5 м для замера различных предметов, разборный водолазный футшток, измеряющий глубину или высоту элементов подводных сооружений, ножницы для перерезания стального троса диаметром до 12 мм, а также мягкой стальной проволоки диаметром до 10 мм.

Пневматический водолазный инструмент помещается в водонепроницаемый корпус. Для подводных работ применяются сверлильные машины СМ-22Э, СМ-32Э, РС-22 и СМРД-32Э. Их технические характеристики:

	СМ-22Э	СМ-32Э	СМРД-32Э	РС-22	РС-32
Наибольший диаметр сверления в мм	22	32	75	22	22
Глубина сверления в м	100	100	100	75	80
Мощность мотора в л. с.	0,8	1,5	1,35	1,6	2
Вес машины в кг	12,5	17	17	9,3	12

К пневматическому водолазному инструменту относятся и бурильные молотки БМ-17Э и БМ-13 с глубиной бурения 2,5 м, а также БМ-25 с глубиной бурения 4 м, рубильно-чеканные молотки РБ-54, РБ-583, РБ-63, ЭРК-9, молотки типа РК, пневматические гайковерты, ножницы-кусачки, пилы.

В последнее время широкое распространение получил электрический подводный инструмент, питаемый электроэнергией, подаваемой по кабелю с поверхности.

Подводный дыропробивной пистолет относится к инструменту взрывного действия, он заряжается патроном с зарядом и стальной шпилькой или пробойником. Используется для пробивания отверстий и забивания шпилек в металлические листы толщиной от 9 до 25 мм.

Грунторазмывочные и грунтоотсасывающие средства широко применяются в практике подводно-технических работ. К ним прежде всего относятся гидромониторы, водоструйные эжекторы, грунтососы.

Гидромонитор — водонапорный насос, подает воду под давлением 10—16 атм. Для этой же цели используются различные высоконапорные моторы-насосы. Наиболее распространены насосы типа ВНА-30 и ВНА-50 производительностью соответственно 32,5 и 55 м³/ч, с общим напором 120 и 180 м вод. ст.

Водоструйные эжекторы применяются для удаления разрыхленного грунта, отсоса ила, песка, гравия и разделяются на горизонтальные и вертикальные.

Пневматический грунтосос предназначен для отсасывания грунта и сбрасывания его в сторону. Диаметр грунтососов обычно колеблется в пределах 150—200 мм. Их применяют, когда работы ведутся на глубине более 10 м. При диаметре всасывающих труб 100 мм допустимая глубина, на которой можно вести работы, составляет 5—6 м.

К водоотливным средствам относятся водоотливные насосы, помпы и гидротурбины. Все они разделяются по принципу действия и типу двигателя.

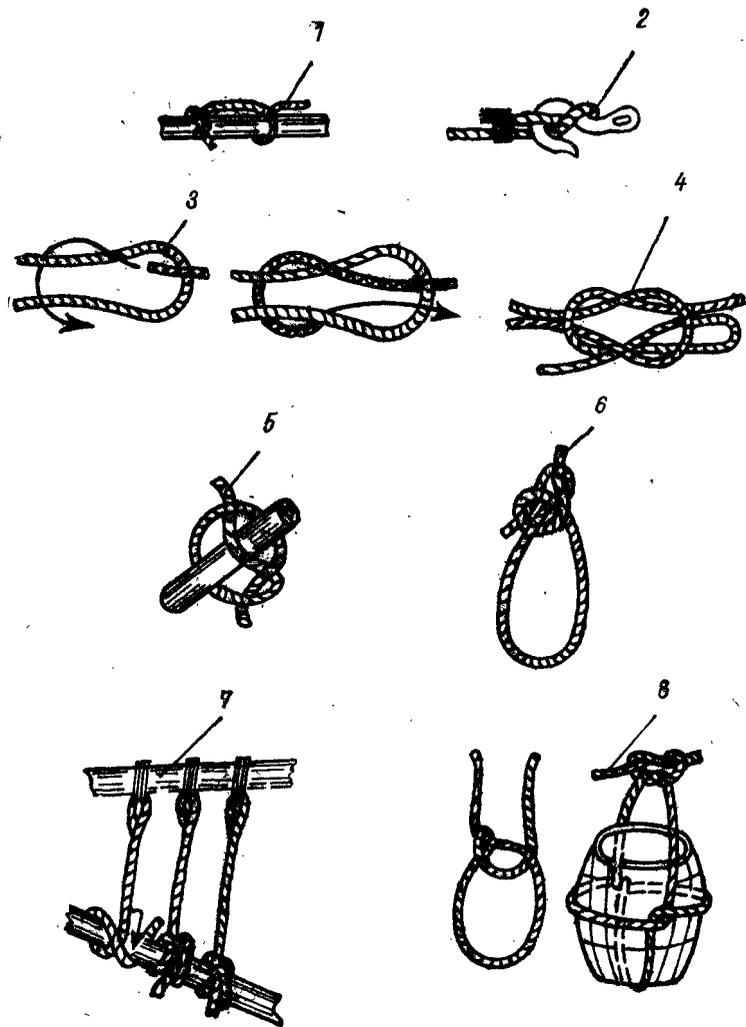


Рис 2. Морские узлы
1—удавка; 2—гачный; 3—прямой; 4—рифовый; 5—сваечный; 6—беседочный; 7—выбленочный; 8—бочечный

Арсенал технических средств, необходимых для выполнения подводно-технических работ, включает судоподъемные (жесткие и мягкие) понтоны. Подъемная сила первых колеблется от 40 до 400 тс, вторых — от 5 до 10 тс.

Подводному строителю приходится выполнять и такелажные работы (рис. 2). При этом он использует стальные и растительные тросы, различный такелажный инструмент (свайка, мушкель, полумушкель, такелажная лопатка, машина для сгибания тросов). К такелажным приспособлениям относятся коуш (металлическое кольцо), обух и рым (неподвижное кольцо), скобы, гаки, кованые крюки, талрепы, блоки, гордень, тали и гини-блоки больших размеров.

§ 5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОЛАЗНЫХ РАБОТ

Невыполнение правил безопасности при спуске на воду, во время нахождения на грунте, при подъеме на поверхность или подготовке снаряжения может привести к травмам и быть причиной специфических заболеваний.

Заболевания подразделяются на три группы:

1) возникающие при значительных перепадах давления (баротравма ушей и легких, придаточных полостей носа, кессонная болезнь);

2) возникающие при значительных изменениях парциального давления газов во вдыхаемой смеси (кислородное голодание, кислородное отравление, а также отравление углекислым газом, азотный наркоз);

3) возникающие по другим причинам (переохлаждение, перегревание, отравление выхлопными газами, травма, полученная под воздействием взрывной волны, нарушение дыхательных функций).

Водолазный спуск (комплекс мероприятий и действий, связанных со спуском в воду, работой под водой и подъемом на поверхность) согласно «Единым правилам охраны труда на водолазных работах» может пройти безболезненно, если правильно выбрать место спуска, четко, с учетом местных условий распределить обязанности между водолазами, со всей тщательностью подготовить и проверить исправность снаряжения, оборудования и инструмента.

Предельная глубина погружения и допуск к погружению водолаза определяются квалификационной и медицинской комиссиями в зависимости от состояния здоровья водолаза, его подготовки. Имеются три градации спусков: мелководные — до 12 м, средние — до 45 м и глубоководные — свыше 45 м. При погружении на глубину до 45 м спуск производится двумя водолазами — обеспечивающими и страхующими, находящимися наверху. При большой глубине добавляется еще один водолаз. Иногда в особых случаях, связанных со спасением людей, и при других чрезвычайных обстоятельствах может быть допущен спуск с участием только двух водолазов. Спуск на глубину, превышающую определенную квалификационной и медицинской комиссиями для данного лица, не разрешается.

Продолжительность пребывания водолаза под водой, включая и декомпрессию, установлена 2,5 ч.

В комплекс операций по подготовке к спуску входят:

определение места для размещения снаряжения и оборудования, одевания и раздевания водолаза;

предварительное измерение глубины водоема, температуры воды, скорости течения, определение характера грунта;

личная проверка водолазом снаряжения и оборудования (исправность его фиксируется в водолажном журнале, в котором водолаз расписывается о проведенной проверке).

При производстве подводно-технических работ в вентилируемом снаряжении у места, где производится спуск, в случае отсутствия компрессора используется водолазная помпа (при подаче воздуха ручной помпой трое рабочих, занятые качанием, работают посменно). Если работы производятся на глубине от 12 до 20 м, то устанавливаются две спаренные помпы, при этом число рабочих, выполняющих операцию по качанию, увеличивается до восьми (подача воздуха на большую глубину осуществляется с помощью компрессора).

Водолаз, спустившийся под воду, постоянно держит в зоне наблюдения сигнальный конец, четко реагирует и отвечает на поступающие сигналы. Обслуживающий персонал оказывает помощь водолазу, которому предстоит спуститься под воду, помогает одеться, отвечает за бесперебойную подачу воздуха от помпы. Из числа обслуживающего персонала выделяется рабочий, в обязанность которого входит травление и выборка воздушного шланга, наблюдения за его упругостью и направлением.

Для обеспечения безопасного водолазного спуска предусмотрены следующие меры:

для спуска водолаза под воду поднимают, а при выходе его из воды спускают предупреждающие сигналы: днем на море — два четырехцветных флага или буква «з» по международному своду сигналов (цифра «0» по военному своду сигналов); на внутренних водах — два зеленых флага размером 1000 × 700 мм; ночью — два зеленых огня (один над другим) — и на море, и на внутренних водах. Расстояние между флагами и огнями должно быть от 1 до 2 м. На судах эти сигналы поднимаются на ноке реи того борта, с которого производится спуск водолаза. На берегу или на плавсредствах, не имеющих штатных мачт для подъема сигналов, должны устанавливаться временная, хорошо видимая мачта;

в целях предупреждения головной боли устанавливают тщательное наблюдение за качеством воздуха, подаваемого компрессором (не реже одного раза в месяц производится химический анализ); водолаз, работающий в кислородном снаряжении, должен получать только медицинский кислород, в котором содержание азота не превышает 2%;

для предупреждения кессонной болезни спуск водолаза на глубину свыше 20 м обеспечивают декомпрессионными камерами;

при водолазных спусках в различном снаряжении необходимо соблюдать и другие правила безопасности, которые мы не рассматриваем. С ними можно ознакомиться в специальной литературе по водолажным работам.

При спуске водолаза в усложненных условиях следует иметь в виду:

при волнении свыше 3 баллов спуск под воду запрещается; в отдельных случаях, связанных со спасением людей, спуск может быть разрешен и при волнении до 5 баллов;

при скорости течения, превышающей 1 м/сек, работы под водой поручаются наиболее опытным водолазам; обязательными являются предварительные измерения глубины, определение направления течения. Для обеспечения устойчивости водолаза под водой грузы утяжеляют; погружение и подъем производят по спусковому концу с увеличением груза до 60 кг; специальными металлическими щитами водолаза прикрывают от напора воды; связь с ним может быть

телефонная или звуковая (удар о рельсу, баллон и другие предметы, погруженные в воду);

при ночных спусках связь с водолазом осуществляют только по телефону, место работы освещают прожектором, водолаз берет с собой средство подводного освещения;

при работе в узких местах (трубы, граншей и др.) требуется соблюдение особых мер предосторожности (освещенные места работ, спуск по трапу или пусковому концу, тщательная проверка участка во избежание повреждения снаряжения об острые предметы и др.);

при работе зимой и подо льдом спуск водолаза разрешается, если ртутный столбик на термометре не менее -15°C , а сила ветра не превышает 5 баллов;

на месте, где производятся работы, нужно иметь достаточный запас горячей воды, чтобы отогреть замерзающие при температуре ниже нуля дыхательные автоматы и клапаны в автономном водолазном снаряжении, шланговые соединения, а также предохранительный, головной и травящий клапаны водолазного скафандра;

одевать и раздевать водолаза следует только в отопляемых помещениях, расположенных вблизи места погружения;

рабочее место (прорубь для спуска водолаза под лед) следует устраивать размером 2×2 м с окнами (майнами);

спуск под воду при передвижении льда запрещается.

При наличии на водолазном посту одной водолазной станции должен быть подготовлен второй комплект водолазного снаряжения. Это необходимо для спуска страхующего водолаза, для оказания помощи в случае необходимости водолазу, работающему под водой. В качестве второго комплекта можно использовать снаряжение любого типа, в том числе легководолазное, если оно позволяет производить спуск на глубину, где находится пострадавший.

Глава II

ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

§ 1. ВОДОЛАЗНОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ДНА И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Подводно-технические работы, связанные со строительством и ремонтом подводных частей различных гидротехнических сооружений, разделяются на основные (равнение постелей из каменной наброски при возведении гидротехнических сооружений; установка под водой различных элементов этих сооружений — бетонных блоков, массивов, ряжей; прокладка подводных трубопроводов и кабелей; устройство подводных частей водозаборных сооружений, земляные работы) и вспомогательные.

Любая из подводно-технических работ требует тщательной подготовки, основой которой является водолазное обследование гидротехнических сооружений акватории и дна. Это необходимо для получения исходных данных для проектирования новых, восстановления разрушенных или частично поврежденных сооружений. На основании этих данных составляется проект производства работ, а также ведется постоянный контроль за состоянием подводных объектов во время их строительства и эксплуатации.

Водолазное обследование обычно проводится в вентилируемом снаряжении и поручается опытным специалистам, которым приходится не только перемещаться под водой на значительные расстояния, но и выполнять сложный комплекс работ, требующих опыта, знаний тренировки. Однако такая работа в вентилируемом снаряжении отнимает больше времени, чем в легководолазном.

При подготовке к обследованию дна акватории и гидротехнических сооружений необходимо:

водолазу изучить программу обследования, т. е. выяснить, какие объекты подлежат осмотру, какие сведения он должен собрать, очередность выполнения работ;

определить глубину и скорость течения, так как спуск при скорости, превышающей 2 м/сек, запрещается. Если обнаружилась приливно-отливные течения, то необходимо составить их график;

применить специальные приспособления и устройства, гарантирующие безопасность спуска, если скорость течения превышает 1 м/сек;

водолазный бот следует ставить на два якоря; глубина их погружения после вытравливания должна обеспечить ведение работ на $5-7$ м ниже кормы бота; ходовой конец, спущенный с кормы, длиной от 40 до 70 м с грузом подбирается в зависимости от течения;

во время спуска водолаза под воду подводно-технические работы, например забивка свай и шпунта, подъем грузов, перемещение

плавуких средств, не разрешаются. Запрещается также использование технических средств для уборки грунта;

обследование действующих гидроузлов и водозаборных сооружений можно производить при условии, если в радиусе не менее 40 м от водолаза скорость воды не превышает 1 м/сек. При большей скорости необходимо применить защитные средства, принять меры, обеспечивающие безопасность пребывания водолаза под водой, создать условия для успешного выполнения задания (отключить агрегаты, установить защитные решетки, использовать беседки).

При хорошей видимости водолаз производит зарисовку обследуемого объекта, используя алюминиевую или плексигласовую пластинку и обычный карандаш. Если позволяет освещенность, то он может воспользоваться также кинокамерой или фотоаппаратом (для получения четкого изображения при съемке на расстоянии 4 м объектив следует поставить по шкале фокусировки на 3 м); практика показала, что наилучшая дистанция для подводных съемок 6 м.

Для водолазного обследования в настоящее время применяются и телевизионные установки. Наибольшее распространение получила телевизионная установка АПТ-2п с кабельной линией связи и передающей трубкой ЛИ-17. Предельная глубина погружения установки — 70 м. Дальность видимости под водой — от 0,5 до 0,7 м. Время непрерывной работы — 12 ч. Установка питается от сети переменного тока напряжением 220 в, общий ее вес (с кабелем) — 300 кг.

Обследование дна акватории необходимо, чтобы определить рельеф дна и характер грунта, установить наличие остатков сооружений и естественных завалов, затрудняющих эксплуатацию подводных объектов и производство подводно-технических работ. Если площадь дна акватории велика и обследование не связано с получением точных данных, то для обследования применяют придонный трал, закрепленный к двум водолажным ботам. Небольшие площади акваторий обследуют с водолазного бота. Для этого с помощью вея или буйков акваторию разбивают на мелкие участки шириной 3, 5, 10 м. При небольших глубинах эту операцию выполняют круговым способом (водолаз держится за спущенный с бота ходовой проводник и свободно передвигается по кругу).

При обследовании подводных трубопроводов водолаз определяет соответствие отметки верха засыпки трубопровода требованиям проекта, устанавливает, какие участки и в какой степени оголены, величину провисания трубопровода, в каком состоянии находятся участки берегоукрепления, имеются ли посторонние предметы в створе трубопровода.

При обследовании кабеля, уложенного через реки и водоемы, обращают внимание на затопленные предметы в створе прокладки и на отметки их заложения, а также на отметки верха засыпки, оголенные участки, состояние берегоукрепления.

При обследовании водозаборных сооружений осматривают обычно подводные части сооружения — оголовок и трубопровод (эти работы обычно выполняют после прохождения паводковых вод). Определяют отметки дна реки и водоема, отметки верха оголовка и его техническое состояние, положение каменной постели под ним и вокруг него, глубину занления, отметки верха засыпки самотечных трубопроводов, состояние берегоукрепления и т. д.

Для определения состояния подводной части портовых сооружений обследуют объекты, выполненные из массивов, устанавливают состояние откоса каменной постели и нижнего ряда кладки, выявляют трещины, места с обнаженной арматурой и т. д.

При обследовании ржавых и свайных конструкций обращают внимание на углы и стыки поперечных стен и прочих креплений, проверяют, отклонилась ли свая от вертикальной оси и насколько, есть ли вмятины, расщепилась ли древесина, разрушился ли бетон, не покрылись ли ржавчиной металлические конструкции.

§ 2. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

В строительной практике принята упрощенная классификация грунтов в зависимости от содержания в них глинистых фракций (табл. 2).

Таблица 2

Наименование грунта	Содержание глинистых частиц (фракцией менее 0,005 мм) в % по весу	Диаметр шнура из грунта после раскатывания в мм
Глина	Более 30	Менее 1
Суглинок	30—10	1—3
Супесь	10—3	Более 3
Песок	Менее 3	Не раскатывается

Помимо взвешивания составных частей образца, применяется и другой способ определения содержания глинистых фракций, позволяющий с приемлемой точностью найти требуемую величину, — раскатывание образца грунта на ладони или на листе бумаги в шнур. По диаметру шнура фиксируют примерное содержание глинистых частиц.

Глинистые, песчаные и крупнообломочные грунты относятся к не скальным грунтам. Есть и скальные грунты. Особенность их заключается в наличии жестких цементационных связей между частицами. Залегают эти грунты в виде сплошного массива или трещиноватого слоя. Встречаются полускальные грунты, как разновидности скальных. При намокании они резко теряют прочность, растворяются в воде (мергель и мел). У скального грунта нарушенные связи между частицами не восстанавливаются. Обратное явление наблюдается у глинистых грунтов: посредством уплотнения связи между частицами могут быть вновь восстановлены.

Влажность грунта определяется степенью заполнения пор водой. Если, например, водой заполнено менее половины всего объема пор песчаных и макропористых глинистых грунтов, то они считаются маловлажными. При заполнении водой от 50 до 80% объема пор грунты характеризуются очень влажными.

Глинистые грунты могут находиться в твердом, пластичном или текучем состояниях. Границы пластичности (раскатывания и текучести) определяются для глинистых грунтов. Границей раскатывания W_p называют весовую влажность теста из грунта и воды, раскатываемого в жгутик диаметром около 3 мм и начинающего разламываться. Границей текучести W_t называют весовую влажность

теста, в которое балансный конус весом 76 г своим острием погружается на глубину 10 мм за 5 сек.

Числом пластичности W_p называют разность между границей текучести и границей раскатывания:

$$W_p = W_L - W_P.$$

Связные грунты подразделяются на супесь (число пластичности от 1 до 7) и на суглинки (число пластичности от 7 до 17). Глины имеют число пластичности более 17.

При определении свойств грунтов, без чего нельзя правильно рассчитать оптимальные варианты земляных работ, во внимание принимается также показатель консистенции B , которая у глинистых грунтов при естественной их влажности бывает твердой и текучей. Значение B для глинистых грунтов — от 0 до 1; для грунта, находящегося в текучем состоянии, — более 1; для твердого грунта B имеет отрицательное значение.

Плотность грунта $\gamma_{ск}$, г/см³ соответствует объемному весу скелета грунта. Это свойство определяется в лабораторных условиях путем взвешивания высушенной пробы грунта определенного объема или на основании расчета по объемному весу γ_0 и влажности W грунта:

$$\gamma_{ск} = \frac{\gamma_0}{1 + W \cdot 0,01}.$$

Нарушение первоначальной структуры грунта в естественном состоянии сопровождается его разрыхляемостью. При этом возрастает пористость и снижается объемный вес. Первоначальное и остаточное рыхление для связных и особенно для скальных грунтов обычно больше, чем для песчаных и крупнообломочных. Например, если возводить и уплотнять насыпь, то, применяя различные способы выполнения этих работ, можно добиться того, что процент остаточного рыхления грунта окажется положительным или отрицательным.

При сооружении насыпей с заданной плотностью требуется определить ориентировочный объемный вес грунта в естественном состоянии. Для этого необходимо знать коэффициент уплотнения насыпи, определяемый выражением

$$k = \frac{\gamma_{нас}}{\gamma},$$

где $\gamma_{нас}$ — плотность грунта в насыпи;

γ — плотность грунта в естественном состоянии.

Для песков k равен 1, для супесей, легких суглинков и пылеватых суглинков — от 1 до 1,08, для макропористых лёссовидных грунтов — от 1,05 до 1,15, для глины и тяжелых суглинков — от 0,9 до 1.

Принятыми нормативами грунты при проектировании, организации и производстве работ делятся на три группы, при этом определяющим фактором являются условия разработки, перемещения и укладки, объем затрат машинного времени или ручного труда.

I группа — легко поддающиеся разработке грунты; II — грунты средней трудности разработки; III и выше — трудно разрабатываемые

Таблица 3

Группа грунтов	Наименование грунтов	Градулометрическая характеристика грунтов (размеры частиц в мм и количество их по весу в %)					
		глинистых менее 0,005	пылеватых 0,005—0,05	песчаных мелких 0,05—0,25 средних 0,25—0,5 крупных 0,5—2		гравийных 2—40	галечных 40—60
I	Грунты предварительно разрыхленные, несележавшие	До 40	Не регламентируется	До 50		—	—
	Пески мелкозернистые	До 3	До 15	Более 50	До 50		—
	Пески пылеватые	3—6	Не регламентируется	До 50		До 1	—
	Супеси легкие Лёсс рыхлый Торф разложившийся	До 8	До 70	Не регламентируется		—	—
II	Пески среднеристые	До 3	Не регламентируется	Более 50		До 5	До 1
	Пески разнородные	6—10	Не регламентируется	Более 50	До 50		До 1
	Супеси средние	До 15	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Суглинки легкие Лёсс плотный	До 3	До 70	Не регламентируется		До 5	До 1
III	Пески крупнозернистые	До 3	Не регламентируется	Более 50		До 5	До 1
	Супеси тяжелые	6—10	Не регламентируется	Более 50	До 50		До 1
	Суглинки средние и тяжелые	15—30	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Глины тощие (песчаные)	До 40	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
IV	Песчано-глинистые грунты	До 5	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Глины полужирные	40—50	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Песчано-гравийные грунты	До 5	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Глины жирные	До 5	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
V	Пески крупнозернистые	До 3	Не регламентируется	Более 50		До 5	До 1
	Супеси тяжелые	6—10	Не регламентируется	Более 50	До 50		До 1
	Суглинки средние и тяжелые	15—30	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Глины тощие (песчаные)	До 40	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
VI	Песчано-гравийные грунты	До 5	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Глины полужирные	40—50	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Песчано-гравийные грунты	До 5	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1
	Глины жирные	До 5	Не регламентируется	До 50		До 5	До 1

Группа грунтов	Гранулометрическая характеристика грунтов (размеры частиц в мм и количество их по весу в %)				песчаных		равноугольных фракций в зависимости от производительности землесосных снарядов (по пульту) в м ² /ч		до 2000				более 2000			
	глинистых меньше 0,005	пылеватых 0,05-0,25	мелких 0,25-0,5		средних 0,5-2	крупных 2-10	до 1000		до 2000		до 2000		более 2000			
			До 50	Более 50			2-20	2-60	2-20	2-60	2-20	2-60				
I	Пески мелкозернистые	До 15	Более 50	До 50	До 15	3	2	1	4	2	1	5	3	1		
	Пески среднезернистые		До 50												Более 50	До 15
	Пески разнотернистые	До 20	Не регламентируются		Не регламентируются	3	2	1	4	2	1	5	3	1		
	Пески пылеватые		До 15	До 50											Более 50	
	Илы текучие	Не регламентируются		Более 15												
Пески разнотернистые, крупнозернистые и гравелистые	20-50		Не регламентируются													
II	Пески пылеватые	3-6	До 50	Не регламентируются		6	5	3	8	6	3	10	7	5		
	Супески легкие	3-6		Не регламентируются												
III	Пески разнотернистые	До 3	Не регламентируются		12		10	8	12	11	10	15	12	10		
	Супески тяжелые	6-10	До 50	Не регламентируются		8	6	5	10	8	6	12	10	8		
IV	Песчано-гравийные грунты	До 3	Не регламентируются		25		22	20	30	25	20	30	27	25		
	Суглинки легкие	10-15	Не регламентируются		12	8	6	14	10	8	15	12	10			
V	Песчано-гравийные грунты	До 5	Не регламентируются		35	30	25	35	30	25	40	35	30			
	Суглинки средние	15-20	Не регламентируются		15	12	10	15	12	10	20	15	12			
VI	Песчано-гравийные грунты	До 5	Не регламентируются		45	40	35	45	40	35	50	45	40			
	Суглинки тяжелые	20-30	Не регламентируются		15	12	20	15	12	10	20	15	10			
	Глины тощие	До 40	Не регламентируются													

грунты. Характерно деление грунтов с учетом применяемых при разработке механизмов: грунты, разрабатываемые одноковшовыми экскаваторами, подразделены на шесть групп; многоковшовыми и тракторными скреперами — на две группы; грейдерами-элеваторами, бульдозерами и грейдерами — на три группы. Если применяется ручной труд, то разрабатываемые грунты делятся на одиннадцать групп, при гидромеханизированных работах — на шесть групп, при использовании гидротранспорта — на четыре группы. Если разработка грунтов ведется буровзрывным способом, то в этом случае грунты делятся по сложности разработки на одиннадцать групп.

Все это необходимо учитывать, так как при проектировании один и те же грунты по сложности разработки различными механизмами и способами будут существенно отличаться (при разработке песка одноковшовым экскаватором грунт может быть отнесен к I группе, тракторными скреперами — ко II, грейдерами-элеваторами — к III). В табл. 3 приводятся сведения о распределении грунтов по группам при разработке их гидромониторами, в табл. 4 — при разработке плавучими землесосными снарядами.

§ 3. РАЗРАБОТКА ГРУНТА ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫМИ СНАРЯДАМИ

Разработка грунта под водой проводится разными способами с использованием различной техники. Чаще всего для этих целей применяют скреперы-волокуши, гидромониторы, отсасывающие агрегаты. Практикуется еще и взрывной способ.

Гидромеханизация земляных работ основывается на свойстве воды при большой скорости ее движения разрушать грунт и перемещать его во взвешенном состоянии. Когда скорость снижается, взвешенные частицы грунта, естественно, осаждаются на дно. Поэтому при гидромеханизации земляных работ, в частности при разработке грунта, можно наблюдать три последовательно осуществляемых этапа: разработку грунта путем его разрушения (размыв и удар мощной водяной струи, посылаемой гидромонитором, или всасывание трубой землесоса); транспортирование грунта по канавам, лоткам или по трубам к месту укладки в насыпь или в отвал; укладка грунта.

Гидромеханический способ разработки грунта под водой дает весьма ощутимый эффект и требует сравнительно небольших затрат. При этом снижается трудоемкость работ, повышается производительность.

Гидромониторы выпускаются различной конструкции. Их эффективность возрастает, если приходится иметь дело с илистыми, песчаными и слабосвязными грунтами или производить размыв грунта в отвалах под водой.

При использовании гидромониторов для разработки грунта необходимо определить требуемый расход воды на 1 м³ грунта Q (в м³/сек). При этом следует руководствоваться нормативами, указанными в ЕНиР для гидромеханизированных работ. С учетом диаметра насадки, из которой истекает струя, и фактического напора расход воды гидромонитором (водопроизводительность)

$$Q = \omega V_0 = \frac{\pi d^2}{4} V_0$$

где ω — площадь выходного отверстия насадки в m^2 ;
 d — внутренний диаметр насадки гидромонитора в m ;
 V_0 — скорость вылета струн из насадки в $m/сек$;

$$V_0 = \varphi \sqrt{2gH_0} + V_{п} = 4,1 \sqrt{H_0} + V_{п}$$

где φ — коэффициент расхода, зависящий от угла конусности насадки и ее отделки; принимается равным 0,93;

g — ускорение силы тяжести в $m/сек^2$;

H_0 — действующий напор на вылете струи в m ;

$V_{п}$ — скорость подтока воды к насадке в $m/сек$.

При разработке грунта под водой обычно используются следующие гидромониторы:

Плавающий гидромониторно-эжекторный снаряд УПГЭУ бывает двух типов, обозначаемых цифрами (1 и 3). Установка УПГЭУ-1 смонтирована на самоходной барже СБ-1 водоизмещением 150 т. Длина установки 25,6 м, ширина 6 м, высота 1,8 м, осадка 0,8 м. Трубы, опоясывающие борта баржи, имеют диаметр 220 и 325 мм. Вся рамная конструкция погружается на 20 м. Установка УПГЭУ-3, будучи сборно-разборной, смонтирована на семи понтонах, шесть из которых являются продольными (по три в ряду) и один поперечным. Длина установки на 5,6 м меньше, чем у агрегата УПМГ-360, ширина такая же.

Этими установками грунт разрабатывается при помощи сильной струи с последующим отсасыванием его через кольцевой эжектор диаметром 152 мм. Для разрыхления грунта используется насос марки АЯП-150, производительность которого составляет 150 $m^3/ч$. Насосы приводятся в действие двумя дизельными двигателями. Работы ведутся на глубине до 10 м. Пульпа рефулруется обычно на расстоянии до 80 м. Допускаемая нормами скорость течения 1,5 $m/сек$.

Последовательность работы гидромониторно-эжекторного снаряда УПГЭУ: после установки в створе перехода производятся пробные запуски, остановка двигателя и электростанции, затем система заполняется водой. Разработка грунта отсасыванием начинается одновременно с гидравлическим разрыхлением последнего и перемещением пульпы за пределы траншеи. Путем перекадки якорей установка перемещается, при этом происходит наращивание плавучего грунтопровода. Плавающим гидромониторно-эжекторным снарядом обычно управляет звено в составе пяти человек.

Универсальный плавающий гидромониторный агрегат УПМГ-360 также применяется при разработке грунта. Принцип его устройства такой же, как и у подводного гидромониторно-эжекторного снаряда. Производительность насоса 360 $m^3/ч$, напор 160 м вод. ст. Две подвижные трубы с комплектом насадок обеспечивают размыв и отсос грунта в траншею на глубине до 8 м. Управление агрегатом — дистанционное, передвижение по мере выполнения работ обеспечивается с помощью электролебедок, рефулрование пульпы не производится (пульпа сбрасывается вниз по течению). Агрегат оснащен двигателем-дизелем ЗД-12 мощностью 300 л. с. Предельная толщина срезаемого слоя за один проход составляет около 1,8 м, скорость перемещения — 30 ÷ 60 $m/ч$.

В практике работ, связанных с одновременным механическим разрыхлением грунта и транспортированием пульпы по плавучему

грунтопроводу, применяется земснаряд ТЗР-12. Он установлен на трех металлических понтонах и транспортирует пульпу на расстоянии 80 м. Комплектуемое оборудование земснаряда: насос 8НЗ водопроизводительностью 800 $m^3/ч$, двигатель ЗД-6С мощностью 150 л. с., система трубопроводов. Фреза, приводимая в действие двигателем ДВС-150, производит механическое рыхление грунта. Земснаряд перемещается по мере выполнения работ, при этом перекадываются якоря.

Гидромеханический снаряд, установленный на мощном грузовом автомобиле МА-200, называют еще и скрепером-пульпометом. Режущая часть его рабочего органа при протаскивании по дну водной преграды срезает ленту грунта толщиной от 10 до 30 см. Под сильным напором водяной струи лента разрыхляется и грунт в виде пульпы выбрасывается на бровку траншеи. Скрепер-пульпомет опускают на глубину до 20 м. Одноступенчатый центробежный насос 8К-12 производительностью 340 $m^3/ч$ питает рабочий орган водой через всасывающую трубу, защищенную сеткой от попадания мусора. Скреперная лебедка перемещает рабочий орган снаряда по траншее со средней скоростью 4 $m/мин$. Снаряд обслуживает звено из четырех человек.

Дизельный грунтообрабатывающий снаряд ДГС (АЯП-150) с опускной стрелой применяется при устройстве траншей на глубине до 10 м путем отсоса грунта с одновременным гидравлическим рыхлением; снаряд смонтирован на двух металлических понтонах и оснащен насосом АЯП-150 производительностью 150 $m^3/ч$.

Землечерпательные машины широко применяются особенно при больших объемах земляных работ, так как обладают высокой производительностью. Себестоимость работ, выполняемых этими машинами, намного ниже, чем при использовании других технических средств. Они бывают многочерпаковыми и одночерпаковыми.

У многочерпаковых машин емкость черпаков достигает 0,5—1,5 m^3 . Предельная их производительность (в зависимости от категории грунта, емкости черпаков и мощности двигателя) составляет 600 $m^3/ч$, а глубина черпания — от 6 до 15 м. Практикой доказано, что наибольший эффект эти машины дают при широком фронте работ и особенно при дноуглублении акваторий, проходке каналов и траншей. Наилучшие результаты получают при разработке легких глин, гравия, песчанисто-гравелистых и песчанисто-глинистых грунтов.

Таблица 5

Тип снаряда	Грунт, на котором можно получать наибольший эффект
Землесос с механическим разрыхлителем (ЗР-Р)	Ил, песок, супесок, суглинок, глина
Землесосы без механического разрыхлителя (ЗР)	Ил, песок, супесь
Многочерпаковый рефулерно-шалаудовый (МРШ)	Ил, песок, супесок, суглинок, глина
Многочерпаковый шаландовый (МШ)	Супесок, суглинок, глина, гравий, галька, мергель, отдельные камни
Одночерпаковый штанговый (ОНШ)	Глина, щебень, гравий, галька, мергель, отдельные камни
Грейферный (ГНШ)	Связные грунты, щебень, гравий, галька, липкие грунты

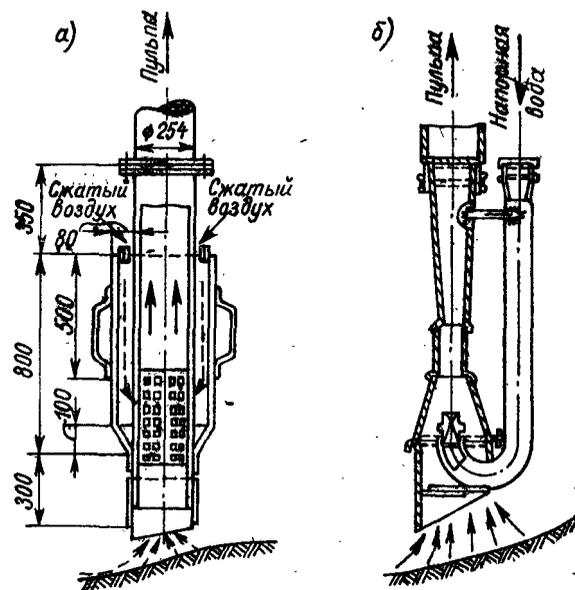


Рис. 3. Механизмы для разработки грунта отсасыванием
 а — грунтосос; б — гидроэлеватор производительностью
 30–40 м³/ч

Одночерпаковые машины — это экскаваторы-лопаты и грейферные краны, применяемые обычно в особых условиях, при наличии стесненных участков акватории, погружении в грунт колодцев водозаборов, фундаментов мостовых опор, подъеме и отсыпке камня и др. Этот тип машин может быть использован при разработке тяжелых грунтов (на скальных грунтах с рыхлением).

Назовем типы снарядов и категорий грунтов, при разработке которых перечисляемые ниже технические средства дадут наибольший эффект (табл. 5).

Грунтососы (рис. 3, а) — технические средства, небольшие по габаритам и производительности, используемые для выполнения земляных работ малого объема. Помимо других операций, о которых будет идти речь ниже, они дают хороший эффект на размыве грунта. Грунтососы обычно применяют на больших глубинах. Малые грунтососы имеют водопроизводительность до 200 м³/ч.

Гидроэлеваторы (рис. 3, б) выпускаются различных типов. Они приспособлены для отсоса жидкого ила, мелкого гравия, рыхлой глины, песка и даже небольших камней. Эти машины более долговечны, так как в отличие от земснарядов, у которых рабочие колеса, корпус и другие узлы при перекачке грунтов взаимодействуют с ними и в результате подвергаются износу, насосы гидроэлеваторов подают чистую воду, а разработанный грунт выводится через специальную отводящую трубу.

Принцип действия гидроэлеватора заключается в следующем: вода из нагнетательной камеры под высоким давлением движется в кольцевую насадку, затем направляется в коническую камеру смешивания равномерно по всему периметру насадки. Сначала струя выглядит полой, затем, достигнув конца камеры, становится обычной (плотной) струей. Движением потока воды во всасывающей камере создается вакуум, в результате в нее подсасывается пульпа, увлекаемая водяной струей.

Помимо гидроэлеваторов с кольцевой насадкой, образуемой частью грани конической камеры смешивания с коническим срезом всасывающей камеры, встречаются аналогичные машины с осевой насадкой, которые дают гораздо меньший эффект, чем первые. Расход воды на отсасывание 1 м³ песка у гидроэлеватора с кольцевой осадкой равняется 6–7 м³ вместо 12–15 м³ у обычных гидроэлеваторов.

Обычно гидроэлеваторы потребляют большое количество воды, имеют относительно низкий к. п. д., поднимают пульпу на небольшую высоту. Несмотря на эти, казалось бы, отрицательные факторы, они весьма эффективны, так как при использовании гибких водоводящих, всасывающих и напорных шлангов небольшой длины водолаз может легко ими маневрировать. Характеристика наиболее часто применяемого гидроэлеватора:

Диаметр напорного шланга в мм	200
Расход рабочей воды в м ³ /ч	103 с давлением 8–10 кг
Количество пульпы в м	180–200
Содержание грунта в пульпе в %	10–15
Высота вертикального гидроэлеватора в см	100
Вес вертикального гидроэлеватора в кг	25–30

Эрлифты также используются при разработке подводного грунта в случаях, когда работы ведутся на больших глубинах. Слабый или предварительно разрыхленный грунт отсасывается трубой. Наибольшая производительность эрлифтов достигается при работе на глубине свыше 8 м и зависит от давления воздуха и глубины

Таблица 6

Грунты	Вес 1 м ³ грунта в кг	Отношение объема грунта в плотном теле к объему воды	Примечание
Пески мелкие и средние рыхлые	1500	1:6	Могут разрабатываться без рыхлителя
Пески крупные	1650	1:7	То же
Супески и слежавшиеся пески	1600	1:8	Рыхление обязательно
Лёсс рыхлый	1600	1:8	То же
Суглилки легкие и средние	1650	1:12	» »
Суглилки тяжелые	1750	1:15	Рыхление обязательно
Гравий мелкий, не слежавшийся	1700	1:20	Разрабатывается полностью
Супеси и суглилки легкие с содержанием гравия (4–8%) или щебня	1700	1:10	Рыхление обязательно
		1:12	То же
		1:16	

погружения. Диаметр отверстий в трубе не должен быть меньше 3 мм. Количество отверстий зависит от диаметра трубы и производительности компрессора. Важнейшие узлы эрлифта: смесительная камера, отводящая труба, поплавки, лебедка для подъема эрлифта.

В практике подводно-технических работ применяются эрлифты 4" производительностью по пульпе 100 м³/ч, эрлифты 6" производительностью по пульпе 120 м³/ч, эрлифты 8" производительностью по пульпе 200 м³/ч. Требуемое количество воздуха при давлении 6 кгс/см составляет 2—6 м³/мин.

Характеристика грунтов, разрабатываемых плавучими землесосными установками, приведена в табл. 6.

Скальные грунты (табл. 7) разрабатываются водолазами с помощью отбойного молотка. Применяются пневматические молотки типа МО-8У, МО-9У, МО-10У или МО-10П. Эти механизмы получают воздух от компрессоров с давлением воздуха 5—6 атм. Когда грунт разрыхлен, чтобы отмыть его, требуется мощная гидромониторная струя с давлением 12—16 атм.

Гидромонитор и компрессор обычно устанавливают на плавучих средствах. Нормами определены предельные размеры разрабатываемых прорезей: глубина — до 1 м и ширина — до 3 м.

Таблица 7

Наименование и характер грунтов	Группа грунтов
Гипс Конгломерат слабоцементированный Мел мягкий Мергель мягкий Опоки Солоночак и солонец отвердевшие Трепел слабый	IV
Аргилит Известняк мягкий, пористый Конгломерат из осадочных пород на глинистом цементе Мел плотный Мергель средней крепости Пемза Ракушечник Сланцы глинистые средней крепости Трепел плотный. Туф	V
Ангидрид Бокситы плитные Глинистый сланец и мергель с прослойками песчаника Доломит мягкий, пористый Змеевик (серпантин) средней крепости Известняк мергелистый слабый Конгломерат из осадочных пород на кремнистом цементе Мергель крепкий Песчаник слабый на известняковом растворе Сланцы крепкие	VI
Змеевик (серпантин) крепкий Известняк мергелистый плотный Песчаник глинистый Сланцы кварцеванные	VII

Работы, связанные с разработкой скальных пород, начинаются с осмотра участка, где придется их вести, подготовки места, затем водолазу подают пневматический отбойный молоток и забалластированный шланг от гидромонитора с насадкой. Разработка грунта ведется с отмывом мелких фракций.

§ 4. УСТРОЙСТВО ПОДВОДНЫХ ТРАНШЕЙ КАНАТНО-СКРЕПЕРНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Широкое распространение в практике устройства подводных траншей получили канатно-скреперные установки. Это обусловлено многими факторами: простотой конструкции установки, дешевой организацией оборудования, высокой производительностью; возможностью вести работы круглый год на сравнительно больших глубинах (до 40 м и глубже); возможностью разрабатывать почти все грунты, вплоть до скальных, предварительно разрыхленных взрывным способом.

Часовая производительность скреперной установки определяется по формуле

$$H = \frac{3600 W V_{0.7} k_n k_b}{2 L k_p}$$

где W — геометрическая емкость ковша в м³;
 L — средневзвешенная дальность скреперования в м;
 $V_{0.7}$ — средняя скорость перемещения ковша (принимается равной 0,7 м/сек);
 k_n — коэффициент наполнения ковша (принимается равным 0,5 для скальных пород и 1,1 для супесей и суглинков);
 k_p — коэффициент разрыхления грунта, обусловленный величиной фракции (равный 1,1—1,5);
 k_b — коэффициент использования скреперной установки во времени (за величину принимается 0,6).

Скорость движения скреперного ковша не должна превышать принятые (допустимые) неразмывающие скорости, определенные для различных категорий грунтов. Примерное заложение подводных откосов (при высоте откоса не более 5 м) в различных грунтах можно принимать по табл. 8.

Таблица 8

Грунты	Заложение подводных откосов $m = \text{ctg } \alpha$
Пески пылеватые	3,0—3,5
Пески мелкие, средние и крупные	2,0—2,5
Супеси	1,5—2,0
Суглинки, лёсы и глины	1,25—1,5
Гравийные и галечниковые грунты	1,25—1,5
Полускальные водостойкие грунты	0,5—1,0
Выветрившаяся скала	0,25—0,5
Невыветрившаяся скала	0,1—0,25

Практика выработала примерный расчет мощности двигателей, используемых для разработки траншей с помощью скреперных установок с обязательным учетом особенностей грунта. При разработке илов и песков считают необходимой мощность в 1 л. с. на 7 кг веса ковша, а при разработке плотных и скальных грунтов — на 4 кг.

Для расчета тяговых тросов применяется следующая формула:

$$T_p = T_n,$$

где T_p — разрывное усилие в кгс;

T — максимальное тяговое усилие в кгс;

n — коэффициент запаса (для канатно-скреперных установок принимается в пределах 6—8).

Дополнительной проверке подлежит скреперный трос, наматываемый на барабан лебедки. Он подвергается значительным напряжениям σ_{\max} (в кгс/см²), величины которых проверяют по формуле

$$\sigma_{\max} = 1,27 \frac{T}{S} + 800\,000 \frac{d}{2D},$$

где d — диаметр троса в см;

D — диаметр барабана или блока в см;

S — площадь поперечного сечения всех проволок троса в см²;

T — тяговое усилие, действующее на трос, в кгс.

Скреперная установка, применяемая для разработки траншей, состоит из двухбарабанной лебедки, приводной силовой установки, скреперного ковша, тросов и блоков, скреперной эстакады и двух опор — головной и хвостовой. В последнее время начали применять сконструированную советскими специалистами канатно-скреперную установку двустороннего действия для разработки подводных траншей с гидравлической экскавацией грунта из ковша. Основные узлы установки: два ковша с гидравлическим устройством, соединенных шарнирным проводом с насосной станцией, смонтированной на понтоне, который периодически движется вдоль разрабатываемой траншеи. Поворотная рукоятка на камере позволяет переключать подачу воды к насадкам, обращенным в сторону течения; насадки, в свою очередь, служат для экскавации грунта из ковша. Электролебедка двустороннего действия перемещает скрепер по дну. Производительность ее 10—20 м³/ч в зависимости от характера разрабатываемого грунта.

Назначение скреперной установки — разработка и перемещение грунта из подводных выемок. Транспортировка его на поверхность осуществляется по наклонной эстакаде с помощью двухбарабанной лебедки. Грунт из скрепера выгружается в бункер, а затем вывозится автотранспортом. Бывает, что его разрабатывают и в отвал, но в этом случае, несмотря на сокращение срока работ, может возникнуть необходимость в последующем его перемещении гидромеханическим способом.

Готовясь к работам или в процессе их выполнения, необходимо учесть скорость течения реки, и постараться ее использовать; это облегчит выполнение операции. В данном случае можно применить следующий способ: быстро поднять загруженный ковш до уровня воды или немного выше с одновременным натягиванием рабочего

и холостого тросов. При этом значительный объем грунта вытечет в реку вместе с водой и будет унесен течением. Если же скорость течения небольшая, то грунт обычно выгружают из ковша вниз по течению, при этом к ковшу крепят отводной трос под углом 30—45° к оси траншеи.

Разработку траншей следует начинать с наиболее удаленных от берега участков. В случаях, когда скорость течения велика, во избежание больших наносов (что может затруднить разработку траншей), в первую очередь следует начать работы в прибрежных зонах, а затем вести их в русле реки равномерно по всей траншее. В целях предотвращения интенсивной заносимости траншей в мягких грунтах принимают крутизну откосов в пределах 1:3, а запас на заносимость определяют в объеме до 35% от запроецированной глубины траншей. Скорость выбирания рабочего троса должна быть не ниже 0,6 и не выше 1,5 м/сек; для холостого троса эти величины соответственно удваиваются.

Скреперными установками разрабатывают участки длиной до 300 м, шириной (по дну) от 0,7 до 1,8 м, глубиной до 2,5 м. При скорости течения выше 1,2—1,5 м/сек в илистых и слабых песчаных грунтах скреперные установки применяют нецелесообразно, так как в этом случае разрабатываемые траншеи быстро заносятся илом.

Хороший эффект достигается при использовании гидромеханического скрепера, особенно при разработке несвязных и полусвязных грунтов. Он намного производительнее, чем обычные скреперные установки. Гидромеханический скрепер работает на обоих направлениях без холостого хода. Специальные ножи подрезают ленту грунта толщиной 100—300 мм. Под действием сильной струи воды грунт размывается и течением сбрасывается на бровку траншеи. Производительность снаряда высокая: при разработке тяжелой глины с включением гравия — 40, а в илистых грунтах — 120 м³/ч. Рассмотрим комплектующее оборудование скреперных установок.

Лебедки применяются главным образом грузоподъемностью от 1,25 до 2,5 т. Наибольший эффект дают лебедки, обладающие хорошей маневренностью и такими размерами, которые позволяют транспортировать их на автомашинах. Длина наматывающихся на барабаны тросов должна создавать нормальные условия для разработки грунта на всех участках траншей. Скреперные лебедки имеют силовые установки — электродвигатели и двигатели внутреннего сгорания (950 об/мин). Техническая характеристика двухбарабанных лебедок приводится ниже.

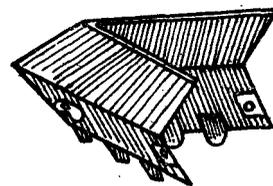
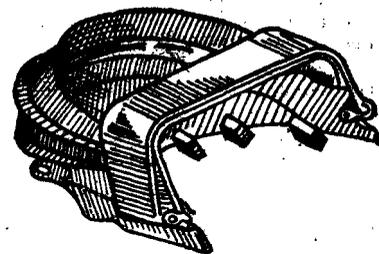


Рис. 4. Скреперные ковши

Технические характеристики лебедок

Грузоподъемность барабана в т:				
первого	1,25	2,5	2,0	2,3—3,3
второго	1,25	2,5	1,0	1,45—2,75
Вес лебедки без тросов и мотора в кг	1350	2680	3220	1700
Габариты лебедки в мм:				
длина	1340	2423	3145	930
ширина	1340	1750	2350	1730
высота	1300	1500	1553	1900
Габариты барабанов в мм:				
диаметр первого	300	400	350	255
» второго	300	400	650	255
длина барабана	460	610	350	475
Габариты приводных шкивов в мм:				
диаметр	1040	2200	Электродвигатель	Двигатель внутреннего сгорания
ширина	150	180	—	—
Диаметр троса в мм:				
рабочего	19	21	18	21,5
холостого	16	19	12	12,5
Максимальная длина троса, наматываемого на барабан, в м	100	400	150	250—360
Скорость вращения барабана троса в м/сек:				
первый	0,65	0,8	1,31	0,46—0,97
второй	0,65	0,8	2,02	1,34—2,54

Скреперные ковши (рис. 4) — простейшее устройство, не имеющее днища; верхняя и передняя части ковша открыты. Чтобы ковши не опрокидывались при передвижении вдоль траншеи, их ширина должна быть в 2 раза больше высоты, а длина в 1,5 раза больше ширины. Угол наклона режущей стенки ковша принимается равным 15—20°, если разрабатываются мягкие сыпучие грунты, и 25—30°, если приходится иметь дело с взорванными скальными породами.

На качество и скорость разработки траншей влияет и вес ковша: при плотных грунтах он может составлять 500—600 кг на 1 м³ емкости ковша, а при песчаных — 400 ÷ 500 кг. Если используется ковш, по своей форме напоминающий подкову, то длина его составляет 1275 мм, ширина — 1280 мм, высота — 570 мм. Ковш весит 280 кг.

Траншеи чаще разрабатывают скреперными ковшами упрощенной конструкции, сделанными из металлических труб диаметром 1000—1200 мм. Их изготавливают непосредственно на месте, где производятся работы. Примерная емкость такого ковша 0,5 ÷ 0,7 м³. Диаметр троса подбирают в зависимости от тяговых усилий ковша, груженого и свободного от грунта. В грунтах средней плотности целесообразно применять рабочие тросы следующих диаметров: при емкости ковша 0,25 м³ — 13 мм; при 0,5 м³ — 16 мм и при 0,75 м³ — 19 мм, а холостые тросы — соответственно 10, 13 и 16 мм. Для скреперных установок применяются одношквивные блоки диаметром от 300 до 600 мм.

Скреперные эстакады обычно служат для приема грунта, поднимаемого со дна ковшем. Грунт сквозь решетку направляется (сваливается) в бункер. Из бункера грунт загружается в автомашину и отвозится в отведенное место. Уклон эстакады назначается с учетом тяговых усилий лебедки и не должен превышать 1:2.

Головная опора — составной элемент эстакады. В верхней ее части крепят блоки, предназначенные для поддержания рабочего и

холостого тросов. Блоки должны находиться на такой высоте, при которой направленные тяговые тросы будут совпадать с линией наклона эстакады. Головная опора имеет простейшую конструкцию — два столба с перекладиной, на которой закреплены направляющие блоки. Хвостовая (плавающая) опора устанавливается, как правило, за морским концом траншеи на таком расстоянии, чтобы ковш не отрывался от земли. В редких случаях вместо плавающих опор используют донную хвостовую опору с блоком, размещенным на грунте. Хвостовой блок и держащий якорь рассчитывают на двойное рабочее усилие.

Эффективность разработки траншей скреперными установками во многом зависит от правильного подбора ковшей. При этом важно учесть особенности грунта, дальность, на которой производится скреперование, силу течения и др. Практика выработала надежный способ предварительного выбора геометрической емкости ковша: при дальности перемещения 100 м емкость ковша должна составлять 0,5 м³, при 120 м — 0,75 м³, при 200 м — 1 ÷ 1,25 м³.

Средние скорости движения ковша при рабочем и холостом ходе вычисляются по формуле

$$V_{\text{ср}} = \frac{2V_p V_x}{V_p + V_x},$$

где V_p — скорость рабочего хода ковша в м/сек;

V_x — то же, холостого хода.

Принято, что скорость рабочего хода ковша должна составлять 0,6—1,5 м/сек, а холостого хода 1—3 м/сек.

Мощность двигателя для скреперной лебедки определяется по формуле

$$N = k = \frac{FV_p}{75\eta},$$

где N — мощность двигателя в л. с.;

k — коэффициент неучтенных сопротивлений; принимается равным 1,2—1,4;

η — коэффициент полезного действия; принимается равным 0,50—0,65;

F — тяговое усилие в кгс.

§ 5. РАЗРАБОТКА ПОДВОДНОГО ГРУНТА ЭКСКАВАТОРАМИ

Одноковшовые экскаваторы, с учетом их назначения, оснащаются прямой или обратной лопатой, копром, грейферами, трамбовкой. Отечественное машиностроение создало различные типы экскаваторов, отличающихся емкостью ковша, мощностью двигателя, глубиной резания и другими показателями.

Словное оборудование экскаваторов — двигатели внутреннего сгорания, электрическое, дизельное-комбинированное. Бывают экскаваторы одномоторные и многомоторные, полноповоротные с платформой (угол поворота до 360°) и неполноповоротные (угол поворота до 180—270°), на гусеничном и пневматическом ходу.

Экскаваторы применяются в соответствии с технологической схемой, разработанной с учетом местных условий, категорий грунта, скорости течения, характера поставленной задачи. При разработке

Показатели	Единица измерения	Э-257	Э-258 Э-301	Э-302	Э-504 Э-505	ОМ-201 ОМ-202	Э-651 Э-652 Э-656	Э-753 Э-754	Э-801	Э-1003 Э-1004	Э-1251 Э-1252
Емкость ковша	м³	0,25	0,25	0,35	0,5	0,5	0,65	0,75	0,75	1	1
		0,35	0,35	0,35	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	1,0	1,5
Длина стрелы	м	7,5	10,5	10,5	10	10	10	11	11	13	12,5
		9,0	10,5	10,5	10	10	10	11	11	13	12,5
Угол наклона стрелы	град.	45	45	30	45	30	45	45	45	45	45
		45	45	45	45	—	30	45	45	—	30
Радиус выгрузки грунта	м	6,1	8,2	8,3	8,3	14,3	8,3	9,1	9,2	10,8	10,4
		8,0	9,5	8,3	6	—	8	9,1	5,2	12,5	12,3
Глубина резания } копания }	м	4,1	5,2	7,0	5,6	10	5,6	6,7	6,7	7,4	7,5
		4,6	4,6	—	3	3	3	9,3	—	7,2	7,2
Радиус резания } захвата }	м	6,4	10	101,1	10,2	10	10,2	10	10	13,2	12,9
		8	9,5	8,3	6	—	8	9,1	5,2	12,5	12,3
Наибольшая высота выгрузки	м	4,1	6,3	6,3	5,5	5,5	5,5	6,5	5,5	6,9	6,5
		5,8	7,2	7,8	5,7	8	5,8	6	8	10,5	3,8
Марка двигателей	—	Д-35	Д-35	Д-38	Э-504 МА-205 Э-505 КДМ-46	КДМ-46	Э-651 КДМ-46 Э-652, Э-656 КДМ-100	Э-753 АМ-6-115 Э-754 КДМ-46	КДМ-100	Э-1003 МА-140 Э-1004-2Д6	Э-1252 МА-140 Э-1252-2Д6
Мощность	квт	—	—	—	48	—	—	60	—	85	85
	л. с.	37	37	38	80	80	80	80	100	150	150
Вес экскаватора	т	9,5	11,5	11,3	21,6	22,6	21,2	30,5	26,6	42	39,75
		9,5	11,5	11,5	19,7	—	21,4	29,7	26,8	41,5	39,3

Примечание. В числителе указаны характеристики экскаваторов, оборудованных драглайном, в знаменателе — грейферов.

Таблица 10

Наименование работы, вид оборудования	Емкость ковша в м	Группа грунта					
		I	II I _M	III II _M	IV	V III _M	VI
Разработка грунта в выемках, насыпях:							
драглайнами с зубьями	0,35	0,9	0,8	0,7	—	—	—
	0,5—1,5	0,9	0,8	0,7	0,65	0,5	0,5
прямыми лопатами с ковшами с зубьями	2,0	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
	0,15—0,3	0,9	0,8	0,7	—	—	—
драглайнами с ковшами со сплошной режущей кромкой	0,5—1,5	0,9	0,8	0,7	0,65	0,55	0,55
	2,0	0,85	0,8	0,7	0,65	0,55	0,55
прямыми лопатами со сплошной режущей кромкой	3—4	0,85	0,8	0,7	0,6	0,45	0,5
	0,4—1,1	0,9	0,8	0,7	—	—	—
	0,4—1,5	0,9	0,8	0,7	—	—	—
Разработка грунта в котлованах:							
драглайнами с ковшами с зубьями	0,25—0,35	0,9	0,8	0,65	—	—	—
	0,5—1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,5	0,5
обратными лопатами с ковшами с зубьями	0,15	0,85	0,8	—	—	—	—
	0,25—0,3	0,85	0,8	0,65	—	—	—
драглайнами с ковшами со сплошной режущей кромкой	0,5—0,65	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
	0,4—1,1	0,9	0,8	0,7	—	—	—
обратными лопатами с ковшами со сплошной режущей кромкой	0,4	0,85	0,8	0,65	—	—	—
	0,65—0,8	0,85	0,8	0,7	—	—	—
Разработка грунта в траншеях:							
обратными лопатами с ковшами с зубьями	0,15	0,85	0,8	—	—	—	—
	0,25—0,3	0,85	0,8	0,85	—	—	—
обратными лопатами с ковшами со сплошной режущей кромкой	0,5—0,65	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
	0,4	0,85	0,8	0,65	—	—	—
	0,65—0,8	0,85	0,8	0,7	—	—	—

Примечание. I_M, II_M, III_M относятся к мороженым грунтам.

подводного грунта наиболее широко используются универсальные экскаваторы, технические характеристики которых приведены в табл. 9.

В комплекте с экскаватором применяется различное оборудование: безрельсовый транспорт (самосвалы, тракторы с прицепами, бульдозеры для планировки грунта), рельсовый транспорт (вагоны грузоподъемностью 5 т, думпкары, мотовозы, моторные домкраты, отвальные плуги, путеподъемноотвальные и рихтовочные машины, бульдозеры на тракторе).

При организации работ важно правильно учесть коэффициент использования емкости ковша (табл. 10).

Норму производительности экскаватора определяют по формуле

$$H = TECK_eK_BK,$$

где H — норма производительности экскаватора за смену в m^3 ;

T — продолжительность смены в $мин$;

E — геометрическая емкость ковша в m^3 ;

Π — число циклов в $мин$;

K_e — коэффициент использования емкости ковша (отношение объема грунта в плотном состоянии, разрабатываемого за одну экскавацию к геометрической емкости ковша);

K_B — коэффициент использования экскаватора по времени в смену;

K — коэффициент, зависящий от глубины (при глубине 0,2—0,5 м коэффициент составит 1,1; до 2 м — 1,25, до 4 м — 1,4, свыше 4 м — 1,7).

Повышение производительности экскаватора, используемого на разработке траншей и котлованов, можно обеспечить двумя путями: увеличить число циклов в минуту Π , сократив при этом средний угол поворота и совместив некоторые операции (в общем баланс времени, требуемом для одного цикла, поворот занимает от 50 до 85%); повысить коэффициент наполнения ковша K путем подбора правильного соотношения емкости ковша и высоты забоя, увеличения толщины срезаемого слоя в связных грунтах, правильного выбора скорости подъема и напора.

§ 6. РАЗРАБОТКА ПОДВОДНЫХ ТРАНШЕЙ И КОТЛОВАНОВ СРЕДСТВАМИ МАЛОЙ МЕХАНИЗАЦИИ

Практика подводно-технических работ подтвердила высокую экономическую эффективность использования гидромониторов и землесосных установок для разработки подводных траншей. Главные достоинства их — небольшой вес установок, которые можно легко транспортировать, возможность глубоко погружать рабочий орган, несложность конструкции, небольшой объем перерабатываемого грунта по сравнению с землечерпательными снарядами.

Гидромониторы целесообразно применять при разработке траншей в слабых грунтах, когда объем работ достигает нескольких сотен кубических метров, а глубина выемки составляет 0,75—1 м. Наибольший эффект достигается тогда, когда течение относит грунт, размывый напорной струей от гидромонитора, который целесообразно использовать также при подчистке траншей.

Привлечение водолаза к управлению работой гидромонитора в подводных условиях допустимо, когда расход воды не превышает

100 $m^3/ч$, а напор 10 $ати$. В этом случае водолаз может собственными усилиями направлять ствол гидромонитора в то место, где должна быть траншея. Если же эти величины гораздо больше, то необходимо смонтировать шланг на прочной металлической раме: один конец ее можно прикрепить к плавучей базе (понтону или барже), а другой — к тросу. Те, кто находятся на базе, по указанию водолаза должны перемещать раму со шлангом.

К напорному шлангу недалеко от насадки прикрепляется груз. Под воздействием этого груза гасятся реактивные усилия воды, с огромной силой выбрасываемой из насадки. Водолаз имеет возможность удерживать насадку в требуемом положении.

При составлении проекта, определении ориентировочных сроков выполнения работ и подсчете достигнутой выработки необходимо определить длину воронки размыва грунта под воздействием горизонтально направленной струи гидромонитора. Это делается по формуле

$$S = 29d_0 \left(\frac{V_0}{V_p} - 1 \right),$$

где S — длина размыва грунта в $м$;

d_0 — диаметр насадки в $м$;

V_0 — скорость потока воды у насадки в $м/сек$;

V_p — скорость потока воды, при которой происходит размыв грунта, в $м/сек$.

Для того чтобы определить ориентировочную глубину размыва грунта при непрерывном воздействии в течение 6—10 $мин$ струи, истекающей из насадки гидромонитора диаметром 17 $мм$, надо знать скорость струи у насадки. Она рассчитывается по формуле

$$V_0 = \varphi \sqrt{2gH},$$

где φ — коэффициент скорости, принимаемый для конической насадки равным 0,945;

g — ускорение силы тяжести; равно 0,81 $м/сек^2$;

H — напор у насадки в $м$.

Для разработки траншей гидромониторами требуется выбрать оптимальный диаметр гидромониторного ствола и оптимальную скорость истечения струи из насадки. Для этого необходимо знать зависимость этих величин от производительности насоса и напора воды у насадки (табл. 11).

При проектировании работ по рытью подводных траншей нужно иметь в виду и эффективный комбинированный способ (на первом этапе земснаряды разрабатывают подводную траншею до отметки, на которой может находиться рама земснаряда, а уже на большей глубине в разработку включается гидромониторная установка).

Приведем основные параметры гидромониторных и землесосных установок (табл. 12), используемых на разработке подводных траншей.

При проектировании объемов работ и сроков их выполнения требуется правильно учесть производительность установок на рытье траншей при разных грунтах. Эти данные можно найти в табл. 13.

Гидроэлеваторы, пневматические грунтососы и землесосные установки применяются при устройстве траншей в илистых, песчаных, мелкокаменистых и слабых илистых грунтах для отсасывания

Таблица 11

Напор у насадки в м	Скорость струи у насадки в м/сек	Расход струи в м ³ /ч при диаметре насадок в мм			
		12,5	16	25	38
40	26,3	11,6	19,0	46	105
45	27,9	12,3	20,0	49	112
50	29,4	13,0	21,5	52	117
55	30,9	13,6	22,5	54	124
60	32,2	14,2	23,5	56	130
65	33,4	14,7	24,0	59	136
70	34,8	15,4	25,0	61	139
75	35,9	15,8	26,0	63	142
80	37,2	16,4	27,0	65	146
85	38,2	16,9	27,5	67	153
90	39,4	17,4	28,5	70	159
95	40,4	17,8	29,0	72	163
100	41,6	18,3	30,0	74	169
110	43,6	19,3	31,5	77	177
120	45,5	20,1	33,0	80	183
130	47,4	20,9	34,5	84	189
140	49,2	21,7	35,5	87	194
150	51,3	22,7	37,0	90	204
175	55,0	24,2	39,3	97	223
200	58,8	25,8	42,5	103	238

Таблица 12

Наименование установок	Предельная глубина погружения в м	Ширина подводной траншеи в м	Мощность двигателей, питающих насосы, в квт	Производительность насоса в м ³ /ч
Гидромонитор УПГМ-360	1,5-10	5-10	265	360
Установка УПГЭУ	1,5-20	5-10	380	780
Скрепер-пульпомет	0,5-20	2,2	40	340
Землесосная установка ЗПЗУ	0,6-5	Не менее 5 мин	110	800

Таблица 13

Наименование установок	Производительность установок в м ³ /ч при категориях грунта					
	I	II	III	IV	V	VI
Гидромонитор УПГМ-360: при рытье траншеи отсасыванием	43,5	34,3	28,6	22,7	—	—
при размыве траншеи глубиной до 2 м	26,3	22,3	18,2	14,3	11,1	9,0
Установка УПГЭУ	59,0	50,0	45,0	31,2	25,6	17,6
Скрепер-пульпомет	24,0	20,4	17,7	14,0	10,9	9,2
Землесосная установка ЗПЗУ	38,9	30,9	26,2	20,3	16,0	13,8

Таблица 14

Наименование механизмов	Диаметр отливного шланга в мм	Потребный расход рабочей воды в м ³ /ч	Давление рабочей воды (воздуха) в мм	Количество пульпы в м ³ /ч	Содержание грунта в пульпе в %	Вес эжектора (без шлангов) в кг
Водоструйный эжектор: вертикальный	105	60	5-7	До 150	До 15	30
горизонтальный	125	70	5-7	До 200	До 15	40
Гидропневматический эжектор (гидропалата)	105	60 (2,0)	5-7	До 150 (до 120)	До 15 (до 20)	18

Примечание. В графе «Потребный расход рабочей воды» в скобках указан расход воздуха в м³/мин.

грунта. При разработке траншей применяются вертикальные и горизонтальные водоструйные эжекторы и гидропалаты. Производительность этих механизмов указана в табл. 14.

Производительность эжекторов зависит от категории грунта, величины расхода и напора воды и сжатого воздуха, глубины, на которой производится рытье траншеи, и колеблется от 4 до 20 м³/ч. Диапазон глубин, на которых могут найти практическое применение водоструйные эжекторы, весьма широк — от малых глубин до глубины 25 м в прибрежной полосе. Эффективное использование гидропалаты обеспечивается, начиная с глубины 5 м.

При разработке траншей применяются также и пневматические грунтососы, например, со следующими техническими характеристиками:

	Четырехдюймовые	Шестидюймовые	Восьмидюймовые
Диаметр приемной трубы в мм	100	150	200
Производительность по пульпе в м ³ /ч	80	120	206
Требуемое количество воздуха в м ³ /мин	2	4	6
Содержание грунта в пульпе в %	До 15	До 15	До 15
Диаметр воздушных шлангов в мм	19	19	25

Наилучшие результаты при использовании грунтососов достигаются при рыхлении и взмучивании грунта напорной струей от гидромонитора. Пульпа поднимается над поверхностью воды обычно на 1,5 м. При глубине меньше 5 м производительность этих механизмов резко падает.

Применяются и десятидюймовые грунтососы облегченного типа с легкими металлическими трубами для отвода пульпы. Длина такого грунтососа достигает примерно 1,5 м, что делает его более устойчивым в плавучем положении. Основные узлы установки: грунтосос, отливная труба диаметром 10 см, поплавки, которые крепятся к трубе, лебедка. Грунтосос подвешивают к стреле крана, погружают в воду и поднимают на поверхность, руководствуясь показаниями буйков или вешек.

Таблица 15

Тип котлована	Характеристика грунтов	Способ разработки грунта	Способ транспортировки грунта
С откосами без ограждений	Грунты средней плотности сухие и нормальной влажности	Бульдозером или скрепером без отлива	Бульдозером или скрепером в отвал
	Плотные глинистые гравелистые грунты нормальной влажности	Прямой лопатой в уровне забоя без водоотлива и с устройством съезда	Автосамосвалами, погрузка в уровне забоя
	Грунты средней плотности сухие и мокрые, за исключением ила и сильно размягченной глины	Драглайном без водоотлива	Автосамосвалами или в отвал на бровку котлована с перемещением бульдозером
	Грунты плотные и средней плотности сухие и сильно увлажненные	Обратной лопатой без водоотлива и значительным водоотливом	Автосамосвалом или в отвал на бровку котлована с перемещением бульдозером
В шпунтовом ограждении	Грунты средней плотности слабосвязные	Грейфером, установленным на плавучие средства при затопленном котловане	На плавучие средства или непосредственно в реку
	Грунты слабосвязные, поддающиеся размыву	Землесосом или гидроэлеватором	Непосредственно в реку
В шпунтовом ограждении	Грунты несвязные	Эрлифтом при затопленном котловане	Непосредственно в реку
Под защитой бездонного ящика или стального шпунта	Грунты особо плотные и скальные	Ручным пневматическим инструментом с интенсивным водоотливом	Краном с бадьей с погрузкой на плавучие средства или разгрузкой в реку

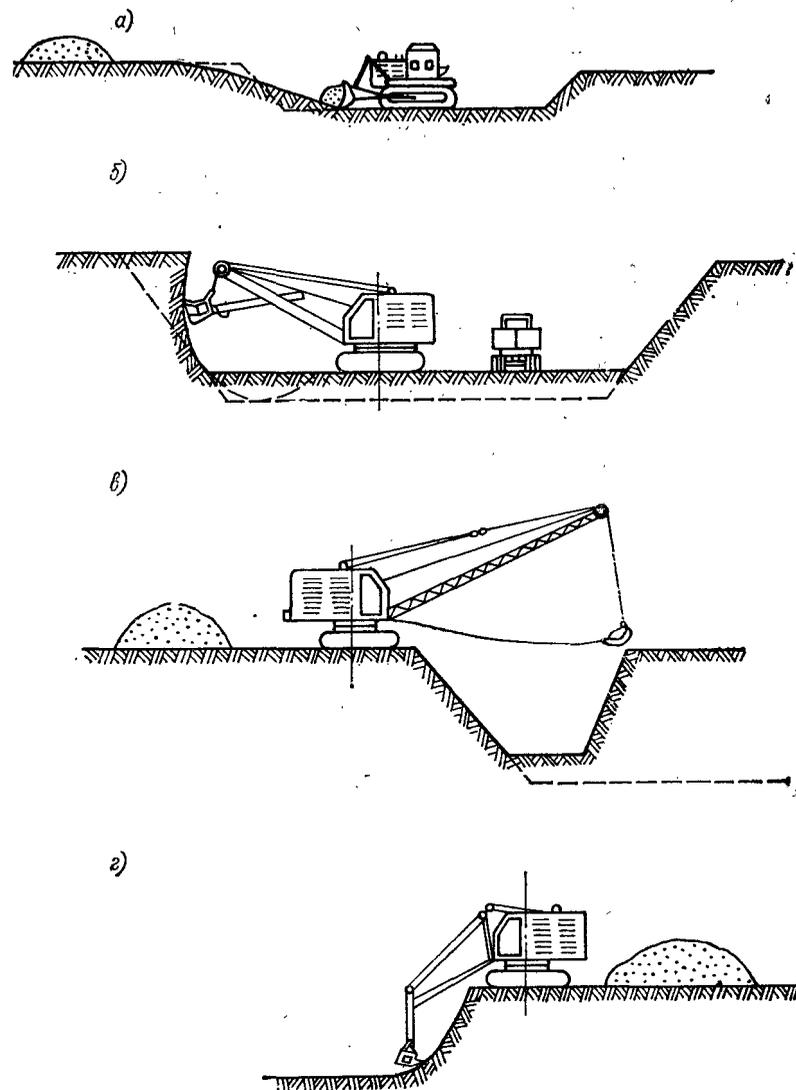
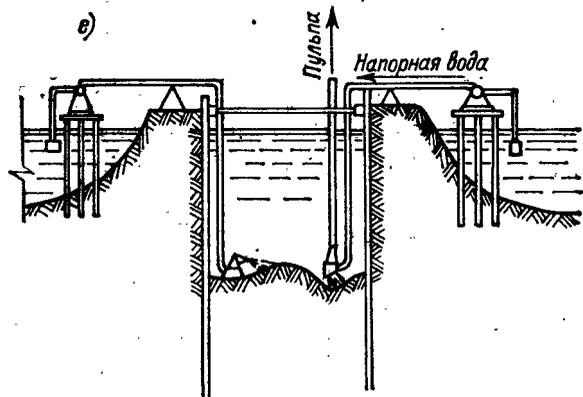
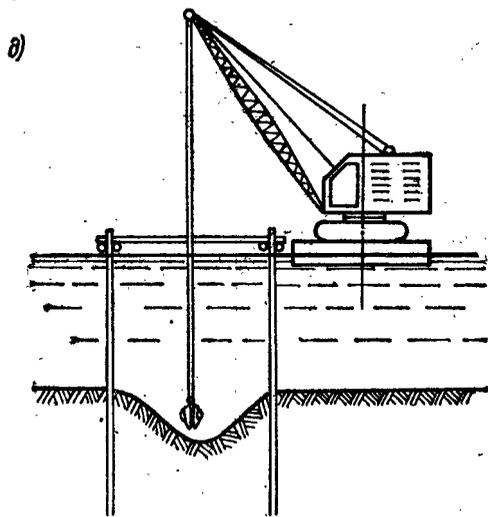


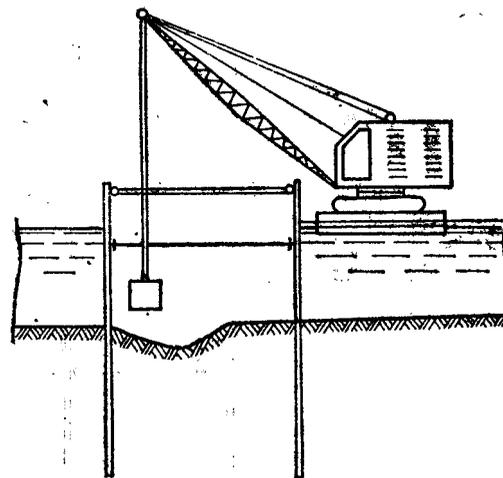
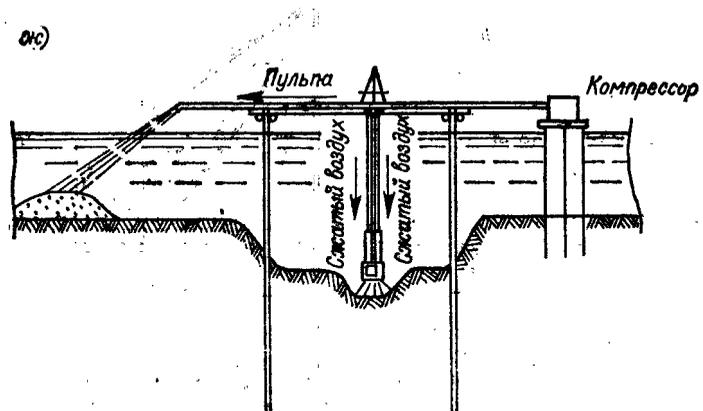
Рис. 5. Схема разработки котлована
 а — бульдозером; б — экскаватором с прямой лопатой; в — в отвал на бровку экскаватором с драглайном; г — в отвал экскаватором с обратной лопатой



б — в отвал экскаватором с грейферным ковшом из-под воды; е — гидро

Землесосные установки широко применяются в практике работ, связанных с устройством траншей. Обычно их собирают на стационарной (несамоходной) плавучей базе. Основные узлы установки: центробежный насос, двигатель внутреннего сгорания или электродвигатель, всасывающие трубы, или напорные трубы, служащие для рефулирования пульпы, устройства, способствующие перемещению установки по трассе при помощи свайного или тросового павильонажа.

Особенно распространены землесосные установки, оснащенные насосом 8НЗ и электродвигателем мощностью 103 квт. Известны



ботки котлована
 елеватором; ж — эрлифтом; з — бадьей под защитой перемычек

случаи, когда с помощью такой установки в песчаном грунте глубиной 1,2 м и длиной до 24 м траншея была разработана за одну смену. Производительность рассматриваемой установки по пульпе составляет 800 м³/ч, а по песчаному грунту — в десять раз меньше, полный напор 25 м, диаметр патрубка всасывающего 250 мм и напорного 200 мм, габариты: длина 2275 мм, ширина 1200 мм и высота 1165 мм. Весит установка 2200 кг.

Практикой выработаны примерные схемы механизации работ по разработке котлованов (табл. 15, рис. 5).

Внимание подводных строителей привлекла машина-гидротраншекопатель, представляющая собой новый тип траншекопателя, созданная Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидромеханизации, санитарно-технических и специальных строительных работ (ВНИИГС) в Ленинграде. Эта машина разрабатывает траншеи глубиной до 20 м, шириной 0,6—1,0 м в грунтах, содержащих включения до 50 мм. Поверхность стенок траншей при этом получается достаточно ровной, траншеи приобретают очертания, предусмотренные проектом. Эта универсальная машина используется также и для удаления грунта из траншей в виде пульпы.

Производительность по грунту у траншекопателя ВНИИГСа составляет 7—8 м³/ч, а скорость проходки траншеи максимальной глубины — 0,6 м/ч, установленная мощность электродвигателя привода ротора — 40 квт, привода шагающей опоры — 1 квт. Габариты установки в рабочем состоянии: высота — 16 720 мм, длина 9000 и ширина — 6000 мм.

Траншекопатель работает следующим образом. С включением двигателя начинается бурение скважины. Достигнув необходимой глубины, рабочий орган начинает перемещаться в вертикальном и горизонтальном направлениях, образуя траншею. Грунт из траншеи может удаляться одним из трех способов: при помощи гидроэлеватора, эрлифта и путем прямой промывки. Траншекопатель способен передвигаться по прямой или по кругу. Минимальный радиус круговой траншеи — 2,5 м.

За последнее время в практику разработки траншей успешно внедрен виброгрейфер продольно-вращательного действия, также разработанный во ВНИИГСе. Средняя производительность виброгрейфера — до 15 м³/ч.

§ 7. УСТРОЙСТВО ПОДВОДНЫХ ТРАНШЕЙ И КОТЛОВАНОВ ВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ

Разработка подводного грунта взрывным способом дает наибольший эффект в отношении снижения сроков выполнения и стоимости работ. Однако выполнять эти работы следует со строгим соблюдением следующих правил:

руководитель работ должен иметь соответствующую подготовку и сдать экзамен по специальной программе;

непосредственное выполнение взрывных работ поручается водолазам-взрывникам, получившим «Единую книжку взрывника» и проработавшим не менее одного месяца под руководством специалиста, знающего взрывное дело;

персонал, привлеченный к работам, должен пройти инструктаж по технике безопасности, знать правила обращения со взрывчатыми веществами и механизмами для взрывания;

взрывные работы следует производить, как правило, в светлое время суток, при отсутствии грозы, волнения водной поверхности свыше 2 баллов и силе ветра более 4 баллов;

перед началом работ надо определить границы опасных зон и оповестить местное население о работах, закрыть движение транспорта в районе производства работ;

перед укладкой зарядов на водолазном боте необходимо поднять красный флаг (в исключительных случаях работы могут про-

изводиться и ночью, тогда вывешивается фонарь с красным огнем); сигналы убирают только после окончания работ;

подготовительные работы, предусматривающие расфасовку взрывчатых веществ, изготовление зарядов и монтаж электровзрывной сети, следует проводить на берегу. Если же работы назначены на большом удалении от берега, то к ним готовятся в специально отведенных местах на судне, а заряды к водолазному боту доставляют на надежных плавучих средствах с соблюдением всех мер предосторожности;

взрывы под водой должны производиться с помощью двухпроводной взрывной сети водонепроницаемыми электродетонаторами; в шлюпки или другие плавсредства, которыми к месту работ доставляют заряды, разрешается загружать не свыше 40 кг, причем заряд должен передаваться непосредственно в руки водолазу;

спуск водолаза с зарядом под воду разрешается только по ходовому концу, закрепляемому у места предполагаемого взрыва или недалеко от него, причем водолаз одной рукой должен держать заряд, а другой скользить по ходовому концу;

когда водолаза поднимают на поверхность, его осматривают, чтобы убедиться, что на его снаряжении нет заряда;

непосредственно перед началом взрывных работ весь персонал должен удалиться в безопасное место, определенное заранее руководителем работ;

закладка водолазом нового заряда и подъем неразорвавшегося должен производиться не раньше, чем через 15 мин после отключения источников тока (концы замыкают накоротко, вытаскивают из воды и сматывают);

неразорвавшиеся заряды следует оставлять на месте; их взрывают вместе с вновь заложенными (поднимать на поверхность неразорвавшийся заряд можно лишь в случае, если в результате взрыва его вместе с новым зарядом можно повредить сооружение);

плотное прилегание заряда обеспечивает эффективность взрыва, поэтому место, где он должен быть уложен, следует заранее очистить, а заряд во избежание перемещения под воздействием натяжения проводов надежно закрепить.

Правильный расчет уложенного заряда ВВ — важное условие, обеспечивающее эффективность устройства подводной траншеи взрывным способом. Вес заряда, необходимого для проходки 1 м траншеи, определяют по формуле

$$C = akth^2,$$

где a — коэффициент, зависящий от вида ВВ (табл. 16);
 k — коэффициент, зависящий от категории грунта (табл. 17);
 h — глубина разрабатываемой траншеи в м;
 t — коэффициент, зависящий от h и глубины воды над зарядом H (табл. 18).

Определив вес заряда C , рассчитанного для 1 м (исходя из объемного веса пороха 0,86), можно рассчитать диаметр заряда:

$$d = 3,85 \sqrt{C}.$$

Таким образом, общий вес заряда для разработки траншеи (или ее участка) протяженностью L будет

$$Q = CL.$$

Таблица 20

Наименование грунта	Значения k_1 (в $кг/м^3$) для	
	накладных зарядов	зарядов в шпурах и скважинах
Рыхлый песок и плавун	2,6	0,40
Гравелистые породы	3,5	0,70
Плотный супесок с мелкой галькой	5,5	0,90
Крепкий, очень плотный песок	7,0	1,10
Плотный суглинок	8,7	1,35
Крепкая синяя глина	9,8	1,40
Некрепкая нарушенная скальная порода	13,5	1,53
Средней крепости скальные породы	27,0	1,86
Гранит и другие крепкие скальные породы	40,0	2,20

работы с последующим использованием экскаватора, грейферного крана или скрепера.

Для бурения шпуров в скальных породах применяют пневматические перфораторы и электросверла, буровые станки ударного действия, устанавливаемые на плавучих средствах. Диаметр шпуров — обычно до 125 мм, а скважин — 300 мм. Расстояние между буровыми скважинами (зарядами) для плотных грунтов по длине траншеи должно составлять $(0,75 \div 1)n$, а между рядами скважин — $0,8n$; при трещиноватых грунтах — по длине траншеи $(1,0 \div 1,25)n$, а между рядами — $1,0n$. Расстояние между скважинами в условиях подводных работ должно быть $1,5 \div 2,5$ м.

Практикой подводно-технических работ определен примерный расход ВВ на разработку $1 м^3$ грунта: при слое воды от 3 до 1 м — $4,5 \div 6,5 кг/м^3$; от 3 до 5 м — $4,5 \div 6,2 кг/м^3$. Разработка траншеи на глубину свыше 2—2,5 м производилась повторными взрывами. При первом взрыве образовалась траншея глубиной 1,5—2,5 м и шириной (поверху) 4—8 м, при втором взрыве — глубиной до 3—5 м и шириной 12 м.

Подводные взрывы имеют преимущество перед взрывными работами на воздухе. Оно заключается в том, что наряду с выбросом грунта обеспечивается и его одновременное уплотнение, что придает откосам разработки значительную устойчивость от размыва и заплывания.

Глава III.

КРЕПЛЕНИЕ ОТКОСОВ И УКЛАДКА КАМЕННЫХ ПОСТЕЛЕЙ

§ 1. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ЗЕМЛЯНЫХ ОТКОСОВ

Каменные и щебеночные постели уменьшают давление на основание гидротехнических сооружений, способствуют выравниванию скального основания, предохраняют подошву сооружения от размыва.

Расчет устойчивости искусственных покрытий земляных откосов обычно предшествует работам, связанным с их укреплением. Известно, что размыв берегов и откосов зависит не только от скорости течения, но и от глубины водотока. Для предотвращения размыва необходимо, чтобы средние скорости течения не превышали значений, приведенных в табл. 21—24.

Величины допускаемых (неразмывающих) скоростей течения водотока для искусственных креплений откосов и дна принимаются по табл. 21—24.

Для обеспечения устойчивости береговой откос планируют под углом, который должен быть меньше угла внутреннего трения грунта, формирующего откос. С учетом различных местных условий, в первую очередь гидрологических и грунтовых, применяют береговую одежду, выполняющую защитные функции (залужение, одерновка, мощение, каменная отсыпка-наброска, фашины, бетонные и железобетонные плиты, свайные и шпунтовые ряжевые стенки и др.)

Береговые откосы рек, каналы, водохранилища и другие земляные сооружения, сложенные из естественного грунта, целесообразно одевать в одежду сразу же после того, как они приобрели очертания, предусмотренные проектом, и укрепление откосов и площадок земляных сооружений из естественных насыпей производить после достаточной осадки насыпи.

В случае обнаружения незначительного выхода грунтовых вод в процессе устройства одежды на откосах и площадках отрывают неглубокие траншеи размером 50×30 см с уклоном в направлении откоса, чтобы отвести эти воды. Траншеи заполняют песком, вначале мелким, а затем постепенно более крупным. Если возникла необходимость отвести ключи, бьющие со значительной силой, следует применить специальные дренажные устройства с системой каменных призм и обратных фильтров.

Фильтрация может вызвать оплыв откоса. Для восстановления его разжиженный грунт удаляют, заменяя фильтрующей песчано-гравийной пригрузкой толщиной 40—60 см, состоящей из нескольких

Таблица 21

Наименование и характеристика грунта	Размеры частич грунта в мм	Допускаемые (неразмыывающие) скорости течения для несвязных грунтов в м/сек при средних глубинах водотока в м					
		0,4	1	2	3	5	10 и более
Пыль или ил с мелким песком	0,005—0,05	0,15—0,20	0,20—0,30	0,25—0,40	0,30—0,45	0,40—0,55	0,45—0,65
Песок мелкий или мелкий с примесью среднего	0,05—0,25	0,20—0,35	0,30—0,45	0,40—0,55	0,45—0,60	0,55—0,70	0,65—0,80
Песок средний или мелкий с глиной	0,25—1	0,35—0,50	0,45—0,60	0,55—0,70	0,60—0,75	0,70—0,85	0,80—0,95
Песок крупный с гравием или средней крупности с глиной	1—2,50	0,50—0,65	0,60—0,75	0,70—0,80	0,75—0,90	0,85—1	0,95—1,20
Гравий мелкий с примесью среднего	2,50—5	0,65—0,80	0,75—0,85	0,80—1	0,90—1,10	1—1,20	1,20—1,50
Гравий средний или крупный с песком или мелким гравием	5—10	0,80—0,90	0,85—1,05	1—1,15	1,10—1,80	1,20—1,45	1,50—1,75
Гравий крупный или галька мелкая с пе- ском и гравием	10—15	0,90—1,10	1,05—1,20	1,15—1,35	1,30—1,50	1,45—1,65	1,75—2
Галька мелкая или средняя с песком и гравием	15—25	1,10—1,25	1,20—1,45	1,35—1,65	1,50—1,85	1,65—2	2—2,30
Галька средняя или крупная с примесью песка	25—40	1,25—1,50	1,45—1,85	1,65—2,10	1,85—2,30	2—2,45	2,30—2,70
Галька крупная или булыжник с мелкой галькой и гравием	40—75	1,50—2	1,85—2,40	2,10—2,75	2,30—3,10	2,45—3,30	2,70—3,60
Булыжник мелкий или булыжник средний с галькой	75—100	2—2,45	2,40—2,80	2,75—3,20	3,10—3,50	3,30—3,80	3,60—4,20
Булыжник средний или крупный с мел- кими примесями	100—150	2,45—3	2,80—3,35	3,30—3,75	3,50—4,10	3,80—4,40	4,20—4,50
Булыжник крупный или булыжник круп- ный с мелкими валунами и галькой	150—200	3—3,50	3,35—3,80	3,75—4,30	4,10—4,65	4,40—5	4,50—5,40
Валун мелкий или средний с примесью гальки	200—300	3,50—3,85	3,80—4,35	4,30—4,70	4,65—4,90	5—5,50	5,40—5,90
Валун средний или валун с примесью булыжника	300—400	—	4,35—4,75	4,70—4,95	4,90—5,30	5,50—5,60	5,90—6
Валун особо крупный	400—500 и более	—	—	4,95—5,35	5,30—5,50	5,60—6	6—6,20

Таблица 22

Название грунтов	Содержание частиц в % фракцией		Средние допускаемые (неразмыывающие) скорости течения водотока для связных грунтов в м/ч															
	менее 0,005 мм	0,005— 0,05 мм	малой плотности (коэффициент пористости 1,2+0,9), объемный вес грунтового скелета до 1,20 т/м ³				средней плотности (коэффициент пористости 0,9+0,6), объемный вес грунтового скелета 1,2+1,6 т/м ³				плотные (коэффициент пористости 0,6+0,3), объемный вес грунтового скелета 1,66—2,04 т/м ³				очень плотные (коэффициент пористости 0,3—0,2), объемный вес грунтового скелета 2,04—2,14 т/м ³			
			0,4	1	2	3	0,4	1	2	3	0,4	1	2	3 и более	0,4	1	2	3 и более.
Глины	30—50	70—50	0,35	0,40	0,45	0,50	0,70	0,85	0,95	1,10	1,00	1,20	1,40	1,50	1,40	1,70	1,90	2,10
Тяжелые глинки	20—30	80—70																
Тощие	10—20	90—80	0,35	0,40	0,45	0,50	0,65	0,80	0,90	1	0,95	1,20	1,40	1,50	1,40	1,70	1,90	2,10
Лёссовые грунты в условиях за- кончившихся просадок	—	—	—	—	—	—	0,60	0,70	0,80	0,85	0,80	1	1,20	1,30	1,10	1,30	1,50	1,70

Таблица 23

Типы крепления	Средние допустимые (неразмыывающие) скорости течения водотока для скальных грунтов в м/сек при средней глубине водотока в м			
	0,4	1	2	3
Конгломерат, мергель, сланцы	2	2,5	3	3,5
	3	3,5	4	4,5
Пористый известняк, плотный конгломерат, слоистый известняк, известковый песчаник, доломитовый известняк	4	5	6	6,5
Доломитовый песчаник, плотный неслоистый известняк, кремнистый известняк, мрамор	15	18	20	22
Граниты, диабазы, базальты, андезиты, кварциты, порфиры				

слоев. Правильный подбор слоев может предупредить вынос лежащих внизу частиц через верхние слои.

Толщина каменных и бетонных покрытий и вес камня обусловлены главным образом скоростью течения и воздействием волн. Толщину бетонной плиты (в м) в зависимости от скорости течения можно определить по приближенной формуле Абрамова:

$$d_n = 0,05V^{2/3},$$

здесь V — средняя скорость течения в м/сек.

В соответствии с этой упрощенной формулой составлена таблица значений d_n при скоростях течения от 0,5 до 15 м/сек (табл. 25).

Для определения толщины покрытий рекомендуются следующие формулы:

для наброски

$$d_n = \eta \frac{p'}{\gamma_k - \gamma} \cdot \frac{\sqrt{1+m^2}}{m};$$

для мостовой

$$d_m = \eta \frac{p}{\gamma_k - \gamma} \cdot \frac{\sqrt{1+m^2}}{m},$$

где p' — взвешивающее давление для наброски, принимаемое равным $0,21 \text{ т/м}^2$;

p — взвешивающее давление для мостовой, принимаемое равным $0,178 \text{ т/м}^2$;

d_n — толщина наброски в м;

d_m — толщина мостовой в м;

γ_k — удельный вес камня в т/м^3 ;

γ — удельный вес воды в т/м^3 ;

m — коэффициент откоса, равный $\text{ctg } \alpha$;

η — коэффициент запаса, равный 1,2—1,5.

Толщина каменных и бетонных покрытий определяется по следующим формулам:

Таблица 24

Типы крепления	Средние допустимые (неразмыывающие) скорости течения водотока для искусственных креплений в м/сек при средней глубине водотока в м			
	0,4	1	2	3 и более
Одиночное мощение на щебне (слой щебня не тоньше 10 см) из равного камня размером:	15 см	3	3,5	4
	20 »	3,5	4	4,5
	25 »	3,5	4	5
Одиночное мощение с подбором лица и грубым приколом на щебне (слой щебня не тоньше 10 см) из камней размером:	20 см	3,5	4,5	5,5
	25 »	4	4,5	5,5
	30 »	4	5	6
	30 »	3,5	4,5	5,5
Двойное мощение из равного камня на щебне; нижний слой из камней 15 см, верхний — из камней 20 см (слой щебня не тоньше 10 см)				
Хвостяная выстилка и хвостяные покрывала на плотном основании (для временных креплений) при толщине выстилки 20—25 см		2	2,5	—
Фашинные тюфяки при толщине 50 см	2,5	3	3,5	—
Габноны размером не менее $0,5 \times 0,5 \times 1 \text{ м}$	До 4	До 5	До 5,5	До 6
Бутовая кладка на камнях известковых пород с пределом прочности не менее 100 кг/см^2	3	3,5	4	4,5
Бутовая кладка из камня крепких пород с пределом прочности не менее 300 кг/см^2	6,5	8	10	12
Бетонная одежда из бетона марки:	170	6,5	8	9
	140	6	7	8
	110	5	6	7,5
Бетонные лотки с гладкой поверхностью из бетона марки:	170	13	16	19
	140	12	14	16
	140	10	12	13
	110	8	10	12
Деревянные лотки гладкие при надежности основания и течения вдоль волокон				
Одерновка плащмя (на плотном основании)	0,9	1,2	1,3	1,4
Одерновка в стенку	1,5	1,8	2	2,2
Каменная наброска из булыжного или равного камня в зависимости от его крупности	Принимается по табл. 22 с коэффициентом 0,9			
Каменная наброска в два слоя в плетнях в зависимости от крупности камня	Принимается по табл. 25 с коэффициентом 0,9			
Одночное мощение на мху (слой мха не менее 5 см) из булыжника размером:	15 см	2	2,5	3,0
	20 »	2,5	3,0	3,5

Таблица 25

V	d _п	V	d _п	V	d _п	V	d _п	V	d _п
0,5	0,03	2,0	0,08	3,5	0,12	6	0,165	9	0,21
1,0	0,05	2,5	0,095	4,0	0,125	7	0,18	10	0,23
1,5	0,07	3,0	0,10	5,0	0,145	8	0,20	15	0,30

для наброски

$$d_n = \frac{0,42 (h_{\text{макс}})}{\gamma_k - \gamma} \cdot \frac{\sqrt{1 + m^2}}{m};$$

для мостовой

$$d_m = \frac{0,31 (h_{\text{макс}})}{\gamma_k - \gamma} \cdot \frac{\sqrt{1 + m^2}}{m};$$

для бетонных плит

$$d_{\text{п}} = \frac{0,28 (h_{\text{макс}})}{\gamma_{\text{п}} - \gamma} \cdot \frac{\sqrt{1 + m^2}}{m}.$$

В этих формулах $h_{\text{макс}}$ — максимальная высота волны в м. Остальные обозначения те же, что и в предыдущих формулах.

Толщина плиты, исходя из условий устойчивости на всплытие и опрокидывание, находится по формуле Шанкина

$$d_{\text{п}} = k \cdot h \sqrt{\frac{1}{\gamma_{\text{п}} - 1} \cdot \frac{\lambda}{mb}},$$

где $d_{\text{п}}$ — толщина плиты в м;

$\gamma_{\text{п}}$ — объемный вес плиты в т/м³;

b — длина плиты в м;

k — коэффициент, равный 0,075—0,128; принимается в зависимости от конструкции плиты и швов, от заданного коэффициента устойчивости (при коэффициенте 1,2 значение $k = 0,118$);

λ — длина волны в км.

Толщина каменной наброски во всех случаях должна составлять не менее двух расчетных размеров камня. В соответствии с этим толщину наброски следует проверить, руководствуясь формулой

$$d_n \geq 2,5 \sqrt[3]{\frac{Q}{\gamma_k}},$$

где Q — расчетный вес камня в т, найденный по формулам, приведенным ниже.

Для коротких волн при $\frac{\lambda}{h} < 15$

$$Q = \frac{7,2 \gamma_k \Psi_n (h)^3}{(\gamma_k - 1)^3},$$

где

$$\Psi_n = \Psi_m = \left[\frac{\sqrt{1 + m}}{m(m + 2)} \right]^3.$$

Значения Ψ_n в зависимости от крутизны откоса приводятся ниже:

m	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
Ψ_n	0,039	0,022	0,014	0,0093	0,0069	0,0049	0,0034

Для определения веса камней и бетонных массивов при длинных волнах можно воспользоваться формулой

$$Q = \frac{n(h)^3}{(\cos \alpha - \sin \alpha)^3} \cdot \frac{\gamma_1}{(\gamma_1 - \gamma)^3},$$

где γ_1 — удельный вес материала покрытия в т/м³;

n — отвлеченное число, равное 15 для каменной наброски, 19 — для наброски из бетонных блоков.

Высота и длина волны определяются по данным долговременных наблюдений. При отсутствии этих данных для расчета можно воспользоваться следующими эмпирическими формулами:

при разгонах волны $D < 30$ км:

$$h = 0,0208 \omega \frac{5}{4} D^{1/3}; \quad \lambda = 0,304 \omega D^{1/2},$$

где h — высота волны в м;

λ — длина волны в м;

D — длина разгона волны в км;

ω — скорость ветра в м/сек;

при разгонах волны $60 > D > 30$ км

$$h = 0,34 \sqrt{D} + 0,76 - 0,26 \sqrt[4]{D^{1/3}};$$

при разгонах волны $1500 > D > 60$ км

$$h = \frac{0,33 \omega}{\left(1 + \frac{6,7}{D}\right) \left(1 + \frac{1,86}{t}\right)}; \quad \lambda = \frac{12,34 \omega}{\left(1 + \frac{47,9}{D}\right) \left(1 + \frac{13,31}{t}\right)},$$

где t — продолжительность действия ветра в ч;

при разгонах волны $D > 1500$ км

$$h = [\lg D] - \frac{1}{\lg D}.$$

Отношение длины волны к ее высоте $\frac{\lambda}{h}$ для предельной высоты волны колеблется от 8 до 12 для озер, водохранилищ, внутренних морей и от 12 до 25 — для открытых морей и океанов.

§ 2. СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОТКОСОВ И ПОЛОГИХ БЕРЕГОВ

Травосеяние (залужение) и древесные посадки применяются взамен искусственной обдерновки откосов, выемок и насыпей. Для образования прочной дернины используется травосмесь, состоящая из нескольких (не менее трех видов) многолетних рыхлоустойчивых

Таблица 26

Название трав	Процентная норма трав для засева									
	Май, июнь, июль					Август, сентябрь				
	глина, тяжелые суглинки	легкие суглинки, связанные супеси	легкие супеси	торф	глины, тяжелые суглинки	легкие суглинки, связанные супеси	легкие супеси	торф	торф	Нормы высева на 1 га в кг
Клевер:	5	5	20	12	5	5	5	10	23	
Красный бегун	15	12	20	5	15	12	20	10	14	
Шведский клевер	30	25	35	20	40	35	35	5	14	
Пырей	20	20	20	15	25	25	30	30	19	
Овсяница:									55	
луговая	15	25	5	30	5	15	5	10	47	
красная	10	10	10	5	5	5	5	5	36	
Полевая	10	3	10	5	10	8	5	10	17	
Мятлик	5	1	1	8	5	1	1	1	20	
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100		

злаковых трав (тимофеевка, овсяница луговая, пырей бескорневищевый, житняк, райграс пастбищный, ежа сборная), корневищевых злаковых трав (костер безостный, овсяница красная, мятлик луговой, полевица белая), стержневых многолетних бобовых трав (клевер красный, люцерна, эспарцет).

Травосеяние применяется на откосах не круче 1:1,5 в выемках глубиной не более 6 м и на насыпях высотой не более 12 м. Откосы крепятся рядами посевов, наклонными к течению. Требуется, чтобы грунтовые воды отстояли не более чем на 0,5 м от поверхности откоса берега. О смесях и процентной норме трав для засева можно судить по табл. 26.

Одерновка как способ укрепления откосов получила широкое распространение. Применяются три вида одерновки: плашмя, уступами, в стенку (в кладку) и в ленту (в клетку). Одерновка плашмя укрепляет откосы с крутизной 1:1,5 и укладывается горизонтальными рядами, причем швы обязательно перевязываются и через каждые 1,5 м крепятся к откосу ивовыми спицами. На песчаное основание перед укладкой дерна расстилается слой земли толщиной 6—7 см. При глинистом основании верхний слой взрыхляется на глубину 5—6 см.

Для сухих и песчаных грунтов хороша одерновка из штучного дерна, а для глинистых — ленточный дерн. Одерновка в клетку целесообразна для откосов не круче 1:1,5, высотой не больше 12 м (для насыпи) и глубиной не более 6 м. Дерновая лента должна иметь ширину от 25 до 40 см, длину от 2 до 3 м. Толщина ее принимается равной 8—10 см. Кромка дерна срезается косо, дернины прибиваются четырьмя спицами длиной не менее 30 см и толщиной 2—3 см. Работы по одерновке откосов лучше всего производить весной или осенью.

Укрепление откосов фашинами относится к простейшему способу укрепления береговых откосов. Для этого лучше всего употребить хворост нвовых пород (болотная ива, чернотал, белотал, желтолозник и верболоза). Фашины применяются двух видов — однокомельные и двухкомельные. Однокомельные формируются из пучков хвороста, связанных на месте рубки комлями в одну сторону. Длина фашин бывает разной — от 1,5 до 3 м, причем толщина отдельных хворостин — от 2,5 до 4 см. Двухкомельные (тяжелые) фашины состоят из хворостяной оболочки и каменного ядра и перевязываются отожженной проволокой диаметром 1,5—4 мм или смоляными веревками через каждые 60—70 см. Длина фашин может составлять от 5 до 10 м, диаметр от 70 до 170 см в зависимости от условий применения.

Прутяные канаты, между которыми укладываются хворост и фашины комлями наружу, формируют так называемые фашинные тюфяки. Прутяные сетки стягиваются веревками. По уложенному первому слою хвороста укладывается вторая сетка из прутяных канатов. Верхняя и нижние сетки туго стягиваются пропущенными через тюфяк веревками или проволокой. При связывании хворост уминается. На поверхности тюфяка устраиваются плетневые клетки, в которые укладывается камень перед погружением тюфяка на укрепляемое дно или откос.

Прутяные канаты вяжут длиной 2 м и более. Диаметр канатов колеблется от 10 до 15 см. Через 25—30 см канат стягивается смоляной веревкой.

Укрепление откосов камнем производится по-разному. Исходя из грунтовых условий, скорости течения, действия волн, ледового режима могут быть применены: наброска из булыжного или рваного камня (рис. 6), одиночное мощение на слое мха, на щебне, с подбором «лица» и грубым приколом камня на щебне, двойное мощение из рваного камня на слое щебня, мощение в плетневых клетках. Размеры камня во многом зависят от конструкции мощения, принятой проектом, преимущественно от 15 до 50 см (по наименьшему измерению — толщине). Камень расplitовывается, если превышает предельный размер. Больше подходят продолговатые камни с отношением высоты к ширине не более 2:1. Для подстилающего слоя используется щебень или гравий. Средний диаметр их колеблется от 35 до 50 мм, а максимальный — до 80 мм.

При мощении в клетку используются колья (толщиной от 5 до 8 см) и свайки (от 8 до 15 см). При устройстве плетней в клетку промежуточные колья могут быть короче угловых на 25—30 см, угловые же должны быть толще промежуточных. Длина колея огораживается в проекте.

Каменная наброска, предназначенная для укрепления подмываемого берега, имеет толщину от 20 см и более и выполняется по

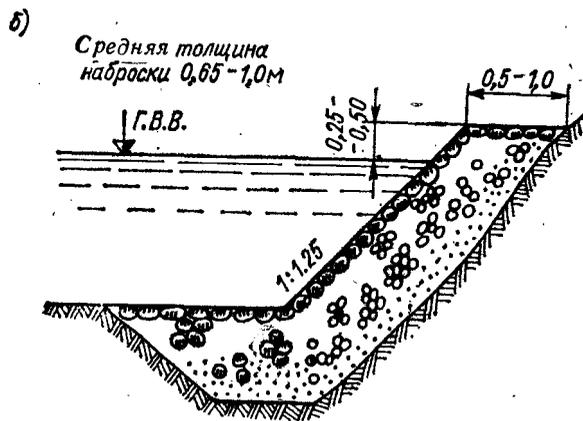
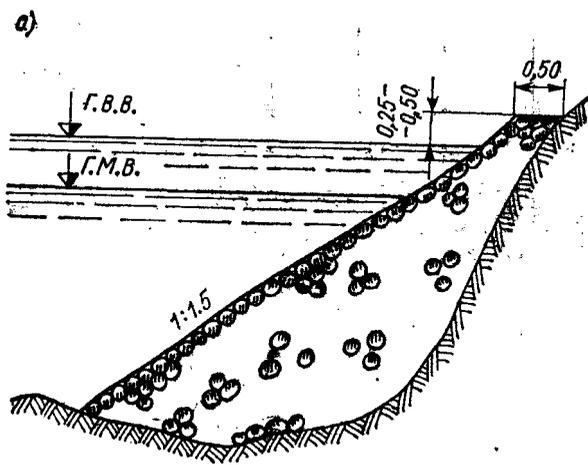


Рис 6. Каменная наброска в воде.
а — опояска; б — упорная призма

слою щебня толщиной 15 см. Делать каменную наброску выгоднее, чем производить трудоемкое каменное мощение. Когда отсутствует подходящий камень, наброску выполняют из бетонных блоков по гравийному основанию.

При наброске с подбором камня крутизна откосов допускается 1:1. Крутизна откосов основания, прикрываемого каменной наброской, не должна превышать угол внутреннего трения для данного грунта.

Крутизна береговых откосов, защищенных каменной наброской, в ходе эксплуатации под воздействием течения и волн изменяется до 1:3. Поэтому при глубине воды свыше 6 м и больших скоро-

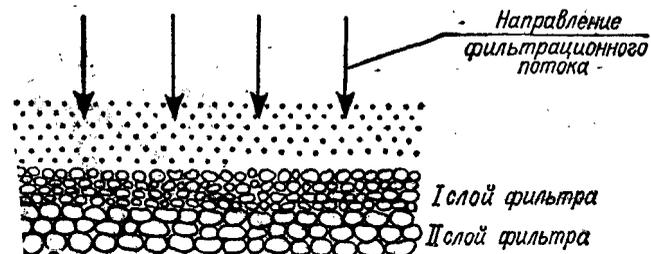


Рис. 7. Обратный фильтр

стях течения крутизна откосов принимается 1:2 (при подводной выкладке камня). Подводная наброска, выполненная без подбора камня при глубине воды 2—3 м, образует откосы крутизной от 1:1.25 до 1:1.5.

Ориентировочный подбор камней производят в зависимости от скорости течения:

Скорость течения в м/сек .	1	1,5	2	2,5	3	3,5	5
Вес камня в кг	1,3	3,0	3,5	8,0	12	16	30

Для защиты грунта от выноса, а также размыва его продольными фильтрационными или поверхностными водными потоками в гидротехнических сооружениях устраиваются обратные фильтры (рис. 7), толщина и количество слоев которых определяются расчетом. Принцип работы обратного фильтра заключается в том, что при увлечении потоком мелкие грунтовые частицы задерживаются а порах слоев обратного фильтра (см. рис. 7).

Для защиты каменных набросок от действия волн устраивают четырехслойные обратные фильтры, подбор которых производят с учетом неоднородности фракций по формуле

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{40}} \leq 8 \div 10,$$

где d_{60} — диаметр фракций, меньше которых в данном грунте содержится 60% (по весу);

d_{40} — диаметр фракций, меньше которых в данном грунте содержится 40% (по весу).

Т а б л и ц а 27

Состав обратного фильтра	Толщина обратного фильтра δ в см		
	Высота волны h в м		
	1	1,5	2
Первый слой — разнозернистый песок	10	15	15
Второй слой — щебень или гравий	10	15	15
Третий слой — мелкий камень	10	15	20
Четвертый слой — крупный камень	20	30	40

В табл. 27 приведены данные о толщине обратного фильтра δ в см при объемном весе камня $\gamma = 2,6 \text{ т/м}^3$. Данными этой таблицы можно воспользоваться, чтобы правильно выбрать четырехслойный фильтр.

При других значениях объемного веса камня γ_k толщина фильтра принимается с поправочным коэффициентом K :

$\gamma, \text{ т/м}^3$	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8
K	1,15	1,07	1,0	0,95	0,85

Расчетный вес отдельных камней в верхнем слое наброски, подверженной воздействию ветровых волн, определяется по формуле

$$Q = k \frac{\mu \gamma_k h^2 \lambda}{\left(\frac{\gamma_k}{\gamma} - 1\right)^3 (3m - 2)}$$

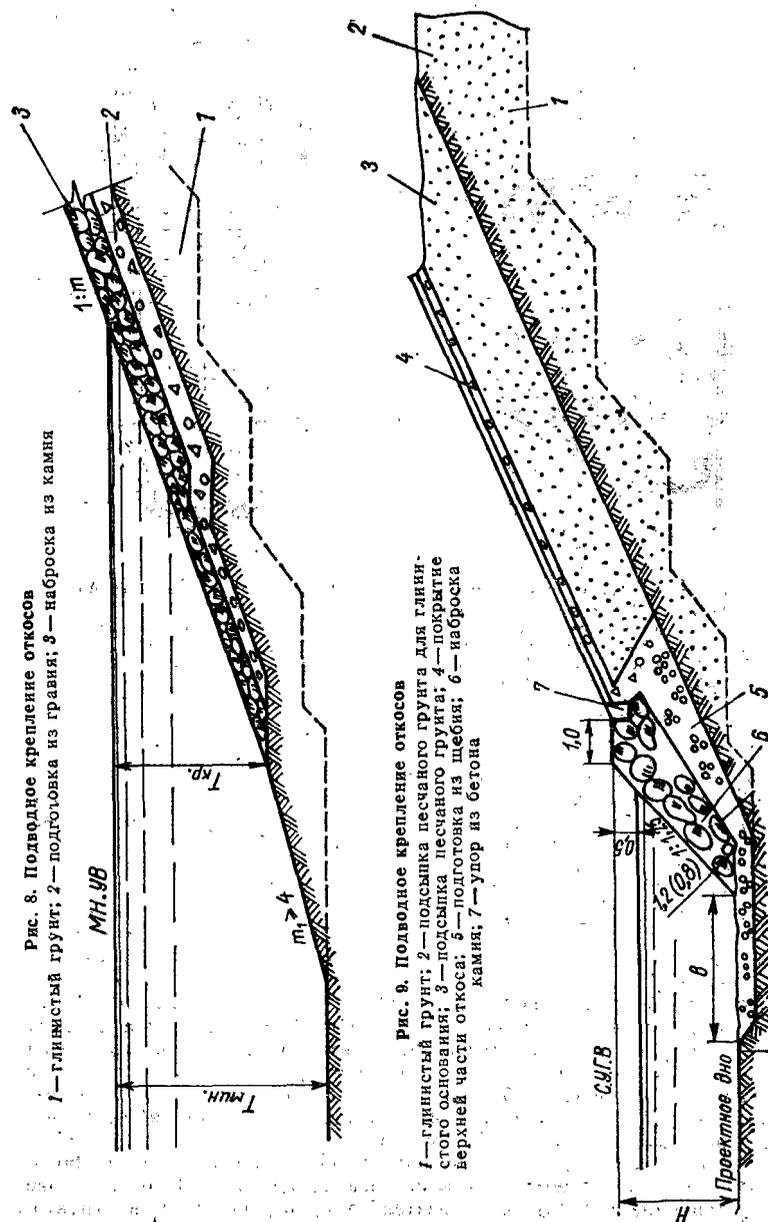
где k — коэффициент запаса; принимается равным 1,5;
 μ — коэффициент, учитывающий форму камня; принимается равным 0,025;
 γ_k — объемный вес камня в т/м^3 ;
 γ — объемный вес воды в г/см^3 ;
 h — высота волны в м;
 λ — длина волны в м;
 m — котангенс угла заложения откоса.

Объемный вес камня в водонасыщенном состоянии принимается равным $2,3 \text{ т/м}^3$. Толщина слоя наброски из сортированного камня принимается $2,5 D_k$ (расчетный размер камня); для наброски из несортированного камня толщина слоя увеличивается до $3 D_k$.

Учитывая опыт эксплуатации такого типа крепления откосов (наброской), типовой проект должен предусматривать двухслойную наброску для пылеватых песков и однослойную — для других песчаных грунтов, кроме пылеватых. Толщина однослойной подготовки должна составлять 50 см, исходя из условий отсыпки материала в воду и последующего грубого выравнивания, минимальная толщина каждого слоя двухслойной подготовки — 30 см. При глини-

Таблица 28

Расчетная высота волны в м	Значения $T_{кр}$			
	для откосного крепления		для крепления откоса вертикальной стенкой	
	песчаные грунты 0,1—0,3 м	глинистые и суглинистые грунты	песчаные грунты 0,1—0,3 м	глинистые и суглинистые грунты
0,7	2,3	1,0	2,7	1,3
1,0	3,5	1,6	4,2	2,9
1,5	6,0	3,1	6,9	4,9
2,0	8,5	4,5	9,8	7,2



камнем и устанавливаются в тело сооружения. Ребра сеток выполняются обычно из оцинкованных металлических стержней, диаметр которых принимается в зависимости от нагрузки и условий работы сооружений (преимущественно 4—6 мм).

Перед наполнением габиона камнем он связывается с соседним габионом, уложенным ранее. В процессе заполнения камнем стенки, а также дно и крышка габионов внутри стягиваются проволокой. Стяжки ставятся во всех направлениях. Предназначенные для защиты русла, берега, откоса от воздействия течения большой скорости (от 5 м/сек и более) и ледохода, а также для придания откосам большой крутизны, габионы могут быть различного размера и веса (табл. 30). Срок службы сетки из оцинкованной проволоки — около 10, а из простой — около 4 лет; о пределе прочности можно судить по данным табл. 31.

Таблица 31

Размер ячейки в мм.	Предел прочности проволочной сетки в кгс/см ² при диаметре проволоки в мм							
	2	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2
50×70	5030	6080	7850	—	—	—	—	—
60×80	4020	4860	6280	7820	9660	—	—	—
80×100	3020	3650	4720	5910	7240	8720	—	—
100×120	2520	3040	3930	4920	6040	7260	9070	—
120×140	2010	2430	3140	3940	4830	5810	7290	8860
140×180	1760	2130	2750	3450	4230	5080	6550	7760

Крутизна укрепляемого откоса не должна превышать 1:2.

Под покрытием из габионов устраивается щебеночная или гравийная подготовка толщиной 20—40 см с верхним слоем из более крупных камней. Нижние габионные сетки закрепляются в земле металлическими стержнями диаметром 16—19 мм, забиваемыми по углам.

§ 3. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ОДЕЖДЫ

Для защиты береговых откосов и откосов земляных сооружений от размыва под воздействием течений и ветровых волн применяются бетонные и железобетонные покрытия.

В зоне волнового воздействия уклон откоса следует принимать не менее 1:2. Грунт, слагающий откос, должен иметь заданную плотность. Выступы и впадины не должны превышать ±4 см. На подготовленное основание укладывается обратный фильтр. Количество его слоев определяется, исходя из расчетной крупности грунта основания d_{ϕ} и размера конструктивного шва между плитами. При этом соблюдается условие

$$d_{\phi} \geq 2t_{ш}$$

где d_{ϕ} — расчетная крупность последнего слоя фильтра;

$t_{ш}$ — размер шва между плитами.

Увлажнение песка (12—15%), укладываемого в обратный фильтр, производится при положительной температуре.

Толщина подготовки из гидрогеологических условий откоса: на сухом откосе толщина принимается в пределах 10—15 см, на откосе при наличии грунтовых вод — в пределах 20—30 см и на водонасыщенном откосе — в пределах 30—40 см. Подготавливаемое на месте монолитное бетонное покрытие выполняется в виде плит размером в плане от 5 до 10 м. Толщина его составляет 15—50 см.

Сборные бетонные и железобетонные плиты применяются различных размеров — от квадратных шашек (размером от 30 до 50 см) до плит толщиной 15—20 см размером от 2,5×2,5 до 3×3 м, изготовляемых в заводских условиях. Шашки соединяются (нанизываются) проволокой или с помощью хомутов, заложённых по краям, и укладываются косыми рядами. На 1 м² укрепляемой площади требуется 6 плит.

Если ветровые волны сильно воздействуют на береговой откос, то для его защиты используются сквозные бетонные плиты с прямоугольными или круглыми отверстиями. Плиты ставятся на подготовку из гравия, подобранного по принципу обратного фильтра. Если фильтр формируется из крупных фракций, в плитах делают сквозные щели. Данные о зависимости толщины плиты от толщины ледового покрова приведены ниже.

Толщина ледового покрова в см	50	80	100
Толщина плиты, соответствующая ледовому покрову, в см	10	15	20

Расстояние между температурно-осадочными швами в направлении, параллельном урезу воды, на прямых участках откоса не должно превышать 40 м и принимается кратным ширине плит (2,5 м). Карта в направлении уклона откоса должна иметь размеры не выше 20 м при высоте волны 1,5 м и не более 15 м при высоте волны свыше 2 м. Если глубина воды перед сооружением при минимальном навигационном уровне меньше критической, то поверхность берм и дна перед сооружением укрепляют. Крепление дна производят на полосе шириной $0,25 \times \lambda$ при $h = 2$ м и $0,4 \times \lambda$ при $h > 2$ м (здесь λ — длина волны).

Таблица 32

Допускаемая нормальная сосредоточенная нагрузка на 1 м в кгс	Минимальная толщина плит в см		
	плиты из обычного железобетона		плиты из предварительно напряженного железобетона
	марка 200	марка 300	марка 300
1,25	10	—	—
2,3	15	10	—
3,5	20	15	10—15
5,3	—	20	15—20
8,3	—	—	—

О зависимости толщины бетонных плит от допускаемой нормаль-
ной сосредоточенной нагрузки можно судить по табл. 32. Табл. 33

Таблица 33

Крутизна откоса	Размеры сборных бетонных плит			
	облегченные ледовые условия		нормальные ледовые условия	
	$h \leq 1 м$	$1 < h < 1,5 м$	$h \leq 1 м$	$1 < h < 1,5 м$
1:2	3×3×0,15 3×2,5×0,15 2,5×2,5×0,15 2,5×2×0,15	— — — —	3×3×0,2 3×2,5×0,2 — —	— — — —
1:2,5	3×3×0,15 3×2,5×0,15 2,5×2,5×0,15 2,5×2×0,15	— — — —	3×3×0,2 3×2,5×0,2 — —	— — — —
1:3	3×3×0,15 3×2,5×0,15 2,5×2,5×0,15 2,5×2×0,15	3×3×0,2 3×2,5×0,2 — —	3×3×0,2 3×2,5×0,2 — —	3×3×0,2 3×2,5×0,2 — —

дает представление о том, как на размеры сборных бетонных плит влияют высота волн, крутизна откоса, ледовые условия (значения приведены в метрах).

Бетонные и железобетонные ковры (тюфяки) применяются для защиты береговых откосов при скорости течения воды до 8 м/сек и высоте ветровой волны свыше 1,5 м. Будучи гибким, ковер укладывается даже в том случае, если поверхность откоса или берега реки не выровнена.

Элементы бетонных тюфяков соединяются скобками, шарнирами, металлическими стержнями в блоки. В табл. 34 приведены данные о блоках для устройства ковровых покрытий.

Таблица 34

Размер блоков в плане в см	Характеристики блоков для ковровых покрытий					
	Толщина блоков в см	Объем бетона в м³	Вес арматуры в кг	Вес блока в т	Допускаемая скорость течения в м/сек	Допускаемая высота волны в м
50×50	15—20	0,04—0,05	1,8	0,09—0,12	3—5	0,7—1,2
70×70	20—25	0,10—0,12	2,7	0,23—0,28		
100×100	25—30	0,25—0,30	6,2	0,58—0,69		

§ 4. РАСЧЕТ ШПУНТОВЫХ СТенок

Металлический шпунт при устройстве берегоукрепительных стенок — причалов и глубоких котлованов в последние годы применяется особенно широко.

Шпунтовые стенки рассчитывают, как правило, графоаналитическим способом по методу упругой линии. При определении активного и пассивного давлений на стенку при связном грунте учитывается сцепление с, причем силы сцепления уменьшают активное и увеличивают пассивное давление грунта.

Удельное сцепление выражается формулами:
при активном давлении

$$a_c = -2 \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right);$$

при пассивном давлении

$$p_c = +2 \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right).$$

Рекомендуется сцепление грунта в полной мере учитывать, начиная с глубины 1 м ниже поверхности дна, на которой величина сцепления достигает полного значения.

Необходимый момент сопротивления шпунтовой стенки вычисляют по формуле

$$W_{\text{расч}} = \frac{M_{\text{расч}}}{\sigma},$$

где σ — допустимое напряжение в кгс/см².

Момент сопротивления стенки определяют с учетом расположения замков по ее оси. Учитывая возможное смещение шпунтин при изгибе, расчетный момент сопротивления стенки $W_{\text{расч}}$ уменьшают по сравнению с теоретическим W_T . В этом случае принимают

$$W_{\text{расч}} = 0,9 W_T.$$

Для временных сооружений (ограждения траншей и котлованов) допускаемое напряжение материала шпунта можно повысить на 15—20%. Этот тип ограждения рассматривается как свободно стоящая стенка или стенка с анкерным креплением. Последняя состоит из самой стенки, анкерных тяг (преимущественно из стали круглого профиля диаметром от 40 до 120 мм) и анкерной опорной конструкции (вертикальные сваи, железобетонные плиты, металлический шпунт и козловые сваи). Расстояние между анкерами принимается от 1,5 до 4 м.

Пассивное сопротивление грунта для заанкеренных стенок определяется с учетом трения грунта о стенку. Для этого вводится коэффициент отпора K , зависящий от угла внутреннего трения грунта и материала шпунта. Значения коэффициентов отпора K и обратного отпора K' приведены в табл. 35. Поскольку истинная эпюра давления грунта отличается от вычисленной, вводится поправочный коэффициент 0,75, уменьшающий момент, полученный на основе графического расчета. Таким образом,

$$M_{\text{расч}} = 0,75 M.$$

Таблица 35

Угол внутреннего трения в град	Коэффициент отпора К		Коэффициент обратного отпора К'	Угол внутреннего трения в град	Коэффициент отпора К		Коэффициент обратного отпора К'
	для дерева и металла	для железобетона			для дерева и металла	для железобетона	
10	1,2	1,2	0,87	25	1,7	2,1	0,55
15	1,4	1,5	0,75	30	1,8	2,3	0,47
20	1,6	1,8	0,64	35	2,0	2,6	0,41
				40	2,3	3,0	0,35

Составляя расчетную схему шпунтовой стенки, надо иметь в виду следующее: ограждать котлованы стальным шпунтом можно без анкерного крепления до глубины 2—3 м, при одноанкерном креплении — до глубины 6—8 м от поверхности земли; длина шпунта не должна превышать 22 м. Забивать шпунт необходимо на глубину не менее 0,5 Н при анкерном креплении и до Н — при свободно стоящей стенке (Н — глубина котлована). Анкеры целесообразнее располагать на 0,3—0,4 Н от верха стенки, что позволит получить наименьшее значение изгибающего момента и вместе с тем увеличить натяжение анкера.

Расчет шпунтового ограждения ведут в следующей последовательности: вначале составляют расчетную схему стенки (рис. 11), на которую наносят проектные отметки дна траншеи или котлована, отметку нижнего конца шпунта, действующие временные нагрузки, показывают напластования грунтов, проставляют их характеристики.

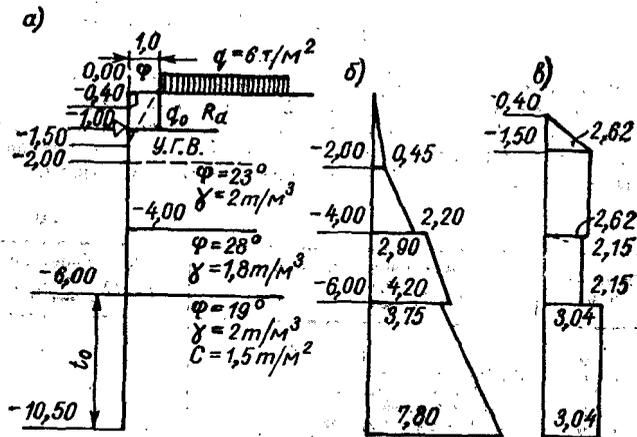


Рис. 11. Расчетные схемы шпунтового ограждения: а — расчетная схема; б — эпюра распора от собственного веса; в — эпюра распора от временной нагрузки

Затем вычисляют ординаты активного и пассивного давлений на стенку, строят эпюру давления грунта, подсчитывают ординаты от всех временных нагрузок и строят эпюру распора. Результативная эпюра отражает полное активное и пассивное давление грунта на шпунтовую стенку (рис. 12).

В качестве примера приведем расчет 1 пог. м шпунтовой стенки ограждения траншеи для укладки трубопроводов. Исходные данные таковы: глубина котлована 6 м, глубина забивки шпунта ниже дна котлована $t_0 = 4,5$ м; временная нагрузка на поверхности $q = 6$ т/м² (удельное давление гусениц экскаватора) расположена в 1 м от стенки; стенка должна иметь анкерное крепление на глубине 1 м от поверхности земли; работы в траншее производятся с водоотливом. Напластование грунтов и их свойства следующие:

участок от 0,00 до 4,00 м: супесь

$$\varphi = 23^\circ; \gamma = 2 \text{ т/м}^3; c = 1 \text{ т/м}^2; \lambda_a = 0,438;$$

$$a_c = 2 \cdot 1,0 \cdot \text{tg} \left(45^\circ - \frac{23^\circ}{2} \right) = 1,3 \text{ т/м}^2;$$

участок от -4,00 до -6,00 м: несок среднезернистый

$$\varphi = 28^\circ; \gamma = 1,8 \text{ т/м}^3; \lambda_a = 0,361;$$

участок от -6,00 до -10,5 м: суглинок

$$\varphi = 19^\circ; \gamma = 2 \text{ т/м}^3; c = 1,5 \text{ т/м}^2; \lambda_a = 0,508;$$

$$a_c = 2 \cdot 1,5 \cdot \text{tg} \left(45^\circ - \frac{19^\circ}{2} \right) = 2,14 \text{ т/м}^2; \lambda_p = 1,96; k = 1,60;$$

$$p_c = 2 \cdot 1,5 \cdot \text{tg} \left(45^\circ + \frac{19^\circ}{2} \right) = 4,2 \text{ т/м}^2.$$

Для подбора сечения шпунта, определения его длины и размеров элементов анкерных креплений производят графоаналитический расчет шпунтовой стенки в указанной выше последовательности с вычислением ординат давления грунта на стенку, определяют ординаты эпюры нагрузок в характерных точках по высоте стенки (в

Таблица 36

Отметки в м	Активное давление $a = \lambda_a \sum \gamma_n h_n - a_c$	Пассивное давление $p = k \lambda_p \sum \gamma_n h_n + p_c$
0,0	0	—
-2,0	$0,438 \cdot 2 \cdot 2 - 1,30 = 0,45$	—
-4,0	$0,438 \cdot 2 \cdot 4 - 1,30 = 2,20$	—
-6,0	$0,361 \cdot 2 \cdot 4 = 2,90$	—
-8,0	$0,361 (2 \cdot 4 + 1,8 \cdot 2) = 4,20$	—
-10,0	$0,508 (2 \cdot 4 + 1,8 \cdot 2) - 2,14 = 3,76$	—
-12,0	$0,508 (2 \cdot 4 + 1,8 \cdot 2 + 2 \cdot 2) - 2,4 = 5,78$	$1,60 \cdot 1,96 \cdot 2 \cdot 4,2 = 16,76$
-14,0	$0,508 (2 \cdot 4 + 1,8 \cdot 2 + 2 \cdot 4) - 2,14 = 7,80$	$1,60 \cdot 1,96 \cdot 2 \cdot 4 + 4,2 = 29,30$

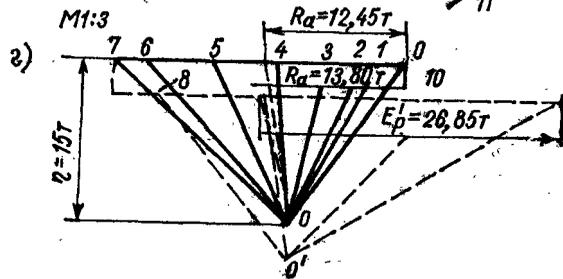
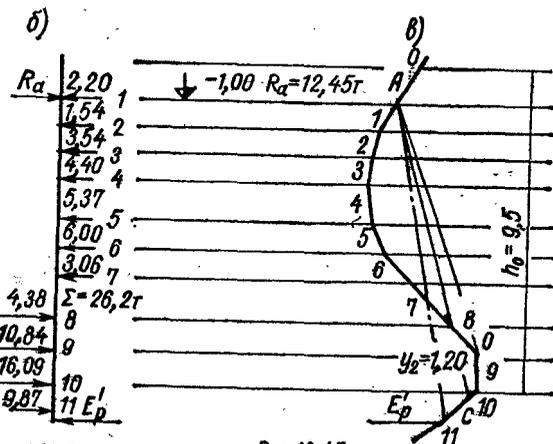
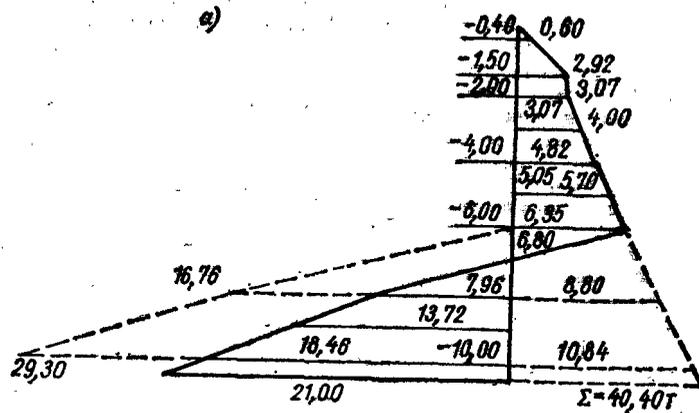


Рис. 12. Расчетные схемы шпунтового ограждения
 а—результативная эпюра нагрузок; б—расчетная схема нагрузок; в—веревочный многоугольник; г—многоугольник сил

табл. 36 — ординаты давления от собственного веса грунта с учетом сцепления в $т/м^2$, в табл. 37 — ординаты давления грунта от временной нагрузки в $т/м^2$, в табл. 38 — горизонтальные силы).

Вычислив ординаты напряжений от активного и пассивного давлений грунта, строят суммарную эпюру от собственного веса грунта и временной нагрузки, а также ординаты от пассивного и суммарные ординаты от активного давления. Затем эпюру делят на полосы высотой 1 м и вычисляют горизонтальные силы, приложенные в центре тяжести каждой полосы.

Построением многоугольника сил и веревочного многоугольника определяют искомые величины (проведением замыкающей линии) из условия примерного равенства изгибающих моментов в пролете и в заделке.

Таблица 38

№ сил	Подсчет	Усиле в тс	Точка приложения
1	2,92·1,5·0,5	2,2	-0,75
2	3,07·0,5	1,54	-1,75
3	(3,07 + 4) 0,5·1	3,54	-2,50
4	(4 + 4,82) 0,5·1	4,40	-3,50
5	(5,05 + 5,7) 0,5·1	5,37	-4,50
6	(5,7 + 6,35) 0,5·1	6,00	-5,50
7	6,8·0,9·0,5	3,06	-6,45
8	7,96·1,1·0,5	-4,38	-7,45
9	(7,96 + 13,72) 0,5·1	-10,48	-8,50
10	(13,72 + 18,46) 0,5·1	-15,73	-9,50
11	(18,46 + 21,00) 0,5·0,5	-9,87	-10,50

Изгибающий момент в пролете

$$M_{пр} = 1,35 \cdot 15 = 20,25 \text{ тс} \cdot \text{м.}$$

Изгибающий момент в заделке

$$M_3 = 1,2 \cdot 15 = 18,00 \text{ тс} \cdot \text{м.}$$

Изгибающий момент в опоре

$$M_0 = 0.$$

Реакция в анкере на отметке -1,00 м:

$$R_a = 12,45 \text{ тс.}$$

Величина равнодействующей обратного отпора

$$R'_p = 26,85 \text{ тс.}$$

Расчетный изгибающий момент с учетом коэффициента уменьшения

$$M_p = 0,75 \cdot 20,25 = 15,20 \text{ тс} \cdot \text{м.}$$

Необходимая глубина забивки шпунта

$$t = t_0 + \Delta t,$$

где

$$\Delta t = \frac{E_p'}{2q(k'\lambda_p - \lambda_a)};$$

k' — коэффициент обратного отпора;

$$q = \gamma h_{пр} = 2 \left(4,5 + \frac{1,8 \cdot 2 + 2,4 + 6}{2} \right) = 2(4,5 + 8,8) = 26,6 \text{ т/м}^2;$$

$$\Delta t = \frac{26,85}{2 \cdot 26,6(0,64 \cdot 1,96 - 0,508)} = 0,68 \text{ м.}$$

Полная глубина забивки $t = 4,5 + 0,68 = 5,2 \text{ м.}$

Подбор сечения шпунта. Необходимый момент сопротивления 1 м стенки

$$W_T = \frac{M_p}{\sigma_{изг}} = \frac{1\,520\,000}{1600} = 950 \text{ см}^3.$$

Данному сопротивлению удовлетворяет металлический шпунт «Ларсен-III» с

$$W_{расч} = 1350 \cdot 0,9 = 1200 \text{ см}^3.$$

Напряжение в стенке для такого шпунта при принятом моменте сопротивления

$$\sigma_{изг} = \frac{1\,520\,000}{1200} = 1267 < 1600 \text{ кгс/см}^2.$$

В данном случае принятый шпунт не используется в полной мере. При полном использовании сечения шпунта получим следующие значения искомых данных:

величина ординаты y для получения допустимого изгибающего момента

$$M_{доп} = \frac{\sigma_{изг} W_{расч}}{0,75} = \frac{1600 \cdot 1200}{0,75} = 2\,560\,000 \text{ кгс} \cdot \text{см};$$

$$y = \frac{M_{доп}}{\eta} = \frac{25,6}{15} = 1,7 \text{ м.}$$

Проведя на веревочном многоугольнике замыкающую с ординатой $y = 1,7$ и перенеся ее на многоугольник сил, находим $R_{ан} = 13,8 \text{ т}$; глубина забивки шпунта уменьшается на $0,5 \text{ м}$, т. е. $t = 5,2 - 0,5 = 4,7 \text{ м}$.

В этом случае получим увеличение реакции в анкере и уменьшение глубины забивки шпунта. Рассматриваемый метод расчета позволяет подобрать оптимальную глубину забивки и изгибающий момент шпунта.

Расчет шпунтовых стенок может быть выполнен на основе графиков (см. прилож. 1). Сортамент стальных профилей шпунтовых свай см. в прилож. 2.

§ 5. РАСЧЕТ АНКЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Анкерные опоры применяются в виде непрерывных или одиночных плит, которые рассчитываются на устойчивость и прочность.

Остановимся на двух условиях устойчивости плит (рис. 13). Первое условие: необходимо определить расстояние от стенки до анкерной опоры. Расстояние $(L_a)_{max}$ выражается формулой

$$(L_a)_{max} = h_c \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) + t \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right).$$

В этом случае условия устойчивости будут: для непрерывной плиты

$$nR_a \leq E_p - E_a;$$

для одиночной плиты

$$nR_a l_1 \leq (E_p - E_a) e k;$$

где h_c — расстояние от верха стенки до точки, соответствующей

уровню нижнего перегиба эпюры моментов в стенке, в м;

n — коэффициент запаса ($n = 2$);

R_a — анкерное усилие на 1 м стенки в т;

$R_a l_1$ — усилие на анкерную плиту в т;

l_1 — расстояние между центрами смежных плит в м;

t — расстояние нижнего края плиты от поверхности земли в м;

e — ширина плиты в м;

k — коэффициент увеличения сопротивления грунта выпиранию

$$k = 1 + \frac{1}{24} \left[\frac{8t^3 - (2t + e - l_1)^3}{t^2 e} \right].$$

При наименьшем допустимом расстоянии от стенки до анкерной плиты расстояние $(L_a)_{min}$ выражается формулой

$$(L_a)_{min} = t \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right).$$

В этом случае условия устойчивости будут: для непрерывной плиты

$$nR_a \leq E_p - E'_i;$$

для одиночной плиты

$$nR_a l_1 \leq (E_p - E_a - E'_i) e k;$$

где E'_i — величина уменьшения отпора:

$$E'_i = \frac{1}{2} \gamma t_1^2 (\lambda_p - \lambda_a).$$

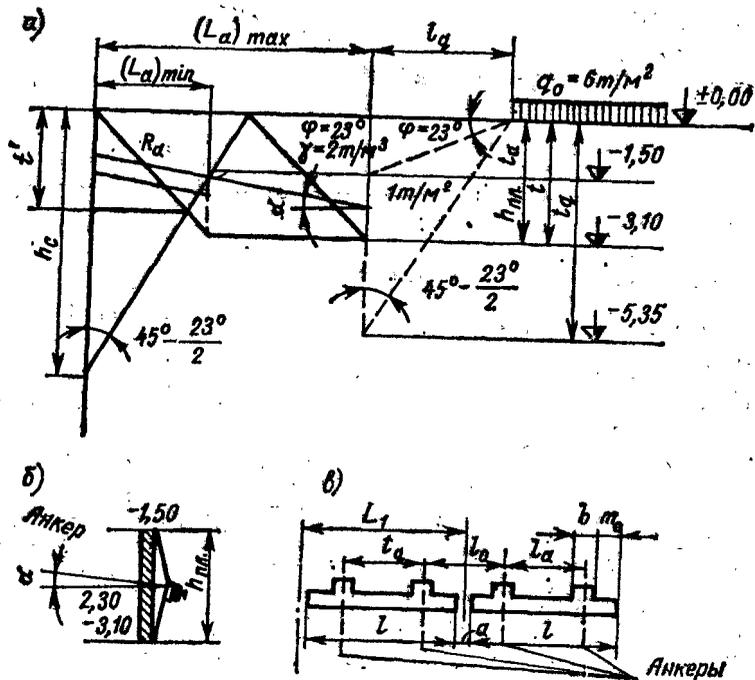


Рис. 13. Расчетные схемы анкерной плиты
 а.—общая расчетная схема; б.—сечение плиты; в.—плановое положение плиты

Приведенные условия устойчивости и способы определения расстояния между анкерами справедливы как для шпунтовых стенок, так и для одиночных свай. В этом случае t принимается за вычитом $2\Delta t$.

При выполнении условия $h_{пл} > \frac{1}{2} t$ отпор грунта E_p определяется с учетом грунта, лежащего между верхом стенки и поверхностью земли,

Глава IV

ПОДВОДНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВЫБОР МАТЕРИАЛА

Подводные трубопроводы разделяются на пять классов. К первому классу относятся подводные переходы магистральных трубопроводов, ко второму — трубопроводы на морских нефтегазовых месторождениях, к третьему — такие же трубопроводы, но проложенные в районе морских нефтехричалов глубиной до 20 м; к четвертому — трубопроводы в морских портах (акваториях), по которым сбрасываются сточные воды, и, наконец, к пятому — трубопроводы различных водозаборных сооружений.

Трубопроводы различаются по конструкции в зависимости от свойств перемещаемого продукта, величины давления, оказываемого на трубопровод водной средой, от факторов внешнего воздействия.

Подводные трубопроводы бывают напорные и самотечные. Трубопроводы, подвергающиеся внутреннему давлению свыше 10 атм, относятся к высоконапорным, а при давлении менее 10 атм — к низконапорным. Трубопроводы различаются по местоположению трассы и материалам, из которых они изготовлены. Все трубопроводы делятся на три группы: транспортирующие пресную воду и проложенные через реки и водоемы, сооруженные в морских акваториях, пересекающие болота и уложенные в траншеи или каналы, заполненные водой. Это деление обусловлено применением различных по конструктивным особенностям технических и плавучих средств для строительства трубопроводов в морских, озерных и речных условиях.

Подводные трубопроводы прокладывают чаще всего в две, три и более линий (ниток) и, как правило, в прибрежной части заглубляют в грунт. Нитки трубопроводов укладывают в общей или раздельных траншеях. В первом случае расстояние между ними не должно быть менее 0,9—1 м (в свету). Это делается для того, чтобы создать водоплаву в вентилируемом снаряжении нормальные условия работы. При укладке в отдельной траншее расстояние между трубопроводами должно быть не менее 50 м.

Трубопроводы, уложенные под водой, могут быть изготовлены из различных материалов: металла, железобетона, пластмассы. Встречаются трубопроводы, элементы которых изготовлены из различных материалов. Предпочтение следует отдать металлическим трубопроводам: они более надежны, отличаются высокой прочностью.

Большое распространение в практике подводно-технического строительства могли бы получить железобетонные трубопроводы, но их применение ограничено из-за сложности устройства плотных и прочных стыков. Необходимость избегать действия продольных усилий и изгибающих напряжений при укладке труб, выполненных из

железобетона, также сузила масштабы их использования в подводно-техническом строительстве. Пластмассовые трубопроводы успешно применяются для водоснабжения, транспортировки сточных вод и в других целях.

Для морских подводных трубопроводов, транспортирующих сточные воды, в настоящее время широко применяют полиэтиленовые трубы диаметром до 1400 мм. Полиэтилен отличается прочностью, устойчив к химическим воздействиям, обладает малым удельным весом ($0,94 \text{ г/см}^3$). Кроме того, соединения полиэтиленовых труб и монтаж их выполняются довольно легко. Сопротивление растяжению не превышает 250 кгс/см^2 . Обычно для указанных целей применяют полиэтилен светлого, молочно-белого цвета; к сырьевой смеси, из которой делается полиэтилен, добавляется сажа, устраняющая неблагоприятные воздействия ультрафиолетовых лучей.

§ 2. ПОДГОТОВКА К РАБОТАМ ПО УКЛАДКЕ ТРУБОПРОВОДА

Составление проектной документации — важнейший этап подготовки к работам по укладке подводных трубопроводов. Этому предшествует водолазное обследование трассы прокладки, которое состоит из разбивки трассы, промеров глубин, обследования трассы.

Разбивка трассы начинается с закрепления на берегу створных знаков, устанавливаемых на расстоянии 3—5 м от спусковой дорожки; при работах в ночное время знаки освещаются. Установка дополнительных двух пар створных знаков необходима при разработке береговых траншей земснарядом или при обследовании трассы прокладки трубопроводов. Знаки ставятся на противоположных берегах (по одному), если трасса проходит посредине бухты (пролива). Расстояние между плавучими створными знаками, укрепляемыми на прочных створных концах, составляет 200—500 м; ставятся они по оси трассы. Если трубопроводы укладываются по дну акватории шириной, превышающей 10 км, то расстояние между знаками принимается не меньше чем 0,5 км.

Промеры выполняются на полосе шириной примерно 40—60 м. Вдоль трассы будущего трубопровода расстояние между промерными точками принимается от 25 до 100 м, а в поперечном направлении — от 10 до 15 м. Промеры должны быть точными, отклонения допускаются в пределах 5—10 см. Данные глубин приводятся к условному нулю, за который принят горизонт воды в момент производства промеров.

После промеров приступают к уточнению продольного профиля трассы прокладки, составляя при необходимости поперечные профили на участках разработки траншеи. В двусторонний акт включаются сведения о рабочем горизонте воды в момент промеров.

В период обследования и начала работ определяют скорость и направление течений на расстоянии 0,2 м от дна и 1 м от поверхности, используя для этих целей стандартные вертушки.

Водолазное обследование трассы делается для установления факторов, влияющих на прокладку и эксплуатацию подводной магистрали. Водолаз осматривает поверхность грунта на всем протяжении трассы, устанавливает наличие препятствий, которые могут оказать влияние на темпы и качество работ. Обследуют обычно отдельные полосы, ширина которых может достигать 60 м. Способ

обследования определяют с учетом сложности предстоящих работ и особенностей участка, где они должны производиться.

Водолазное обследование сопровождается отбором образцов грунта со дна в нескольких местах вдоль линии будущего трубопровода. Для этих целей можно воспользоваться специальным грунтоотборником, способным проникнуть на глубину 0,5—1 м. Исследование образцов помогает выявить характер (категорию) грунта, определить углы естественного откоса и др.

По окончании водолазного обследования составляется акт. В нем обуславливаются способы проведения и объемы работ, дается характеристика дна, грунта, скорости течения, видимости в воде и др. При необходимости вычерчивается схема участка с указанием обнаруженных предметов.

Технический проект состоит из плана участка; плана подводного перехода; продольных профилей створа перехода; технологической схемы укладки трубопровода и пояснительной записки.

План участка включает сведения, полученные из съемок прошлых лет, лоцманских и топографических карт и аэрофотосъемки. В нем указываются места размывов берегов, а также содержится прогноз о возможном изменении русла в течение периода эксплуатации, когда подводный переход войдет в строй.

План подводного перехода содержит сведения о положении всех ниток трубопровода, расстоянии между ними, об отключающей арматуре, углах поворота трассы, границах участков крепления берегов и др.

На продольных профилях подводного перехода указываются отметки земли, проектные отметки трубопроводов, горизонты воды и ледохода и др.

Технологическая схема укладки трубопровода дает представление о последовательности работ, расстановке технических средств, в том числе и плавучих.

Пояснительную записку так же, как и другую техническую документацию, готовят в соответствии с положениями и формами, принятыми СН 202—69. Основные требования к ней — сжатость изложения, обоснование технико-экономических преимуществ выбранного способа ведения работ, оборудования и др. Она должна быть составлена таким образом, чтобы каждый, кто с ней познакомится, получал бы представление о месте расположения подводных переходов магистральных трубопроводов, подъездных путях, наличии материалов и электроэнергии, об обосновании выбора конструкции перехода, характеристике трубопроводов, материале, из которых они должны быть выполнены, о расчетах на прочность, о мерах по защите от коррозии и других повреждений, о мерах по обеспечению устойчивости трубопроводов, заглублении их на участке перехода, о берегоукреплении, а также об организации работ с указанием сроков и способов их выполнения и др.

В техническом проекте необходимо обосновать выбор оптимального варианта перехода трубопровода, что позволит по возможности сократить его длину (для этого ось его следует располагать под углом 90°), пересечение водной преграды в наиболее узком месте, обход участков с высокими крутыми берегами и весьма значительными глубинами в русле, с оползевыми берегами и др. Надо избрать устройства подводных переходов в местах, где образуются ледяные заторы и могут возрастать скорости течения.

Исходя из назначения трубопровода в техническом проекте должна быть обоснована необходимость прокладки на переходе резервных ниток в соответствии со СНиП II-Г.3—62. На подводных переходах допускается не менее двух водоводов. На переходах канализационных трубопроводов (см. СНиП II-Г.6—62) следует строить не менее двух дюкеров (ниток).

При ширине водных преград более 50 м, ширине заливаемой поймы выше 500 м (при 10%-ной обеспеченности в год), продолжительности подтопления паводками более 20 дней, а также неустойчивых берегах и дне для подводных переходов газо-нефтепродуктопроводов СНиП II-П.10—62 предусматривает строительство резервных трубопроводов (ниток).

В нормативных документах указаны следующие допустимые расстояния между нитками, обусловленные назначением трубопроводов: между газопроводами, уложенными параллельно в русловой части, при их диаметре до 500 мм — не менее 30 м, при диаметре 600—900 мм — не менее 40 м, при большем диаметре — не менее 50 м (на пойменных участках — не менее 30 м);

между трубопроводами электрического и телефонного кабеля до подземных (сухопутных) магистральных газопроводов при диаметре последних 500 мм — не менее 8 м, при диаметре, превышающем 500 мм, — не менее 9 м;

между параллельными водопроводными линиями при диаметре труб до 300 мм — 5 м, при большем диаметре — 10 м; в траншеях расстояние до кабелей связи принимается 0,5 м, до электрокабелей напряжением до 35 кВ — 1 м, до наружной поверхности труб водопроводов, водостоков, дренажа, тепловых сетей и продуктопроводов — 1,5 м, до газопроводов — от 1 до 2,5 м;

между канализационными трубопроводами на подводных переходах — не менее 0,6 м (в свету).

В техническом проекте необходимо оговорить, какие трубы и из какого материала должны быть применены. Так, например, для подводной укладки используют преимущественно стальные (см. табл. 39) бесшовные и сварные трубы.

Таблица 39

Марка стали	Предел прочности в кгс/мм ²	Предел текучести в кгс/мм ²	Относительное удлинение в %	Ударная вязкость в кгс/см ²
14ХГС	50	35	20	3 при -60°С
14ХГС	50	35	20	2,5 при -40°С
14ХГС	50	35	19	То же
09Г2С М	50	35	20	3,5 при -70°С
10Г2С1 МК	50	36	20	4 при -20°С

При выборе материала важно иметь в виду не только обеспечение прочности трубопровода, его надежной эксплуатации, устойчивости, но и стоимость строительства, экономический эффект. Точно подсчитать этот эффект можно, зная размеры, вес и допускаемые отклонения по наружному диаметру труб. Эти данные приведены в табл. 40 и 41. В табл. 40 приводятся сведения, касающиеся стальных цельнотянутых (бесшовных) труб малых диаметров.

Наружный диаметр в мм	Теоретический вес 1 м (по длине) в кг при толщине стенок в мм								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
146	20,72	24,00	27,23	30,41	33,54	36,62	39,66	42,64	—
152	21,60	25,03	28,41	31,74	35,02	38,25	41,43	44,56	—
159	22,64	26,24	29,79	33,29	36,75	40,15	43,50	46,81	—
168	23,97	27,79	31,57	35,29	38,97	42,59	46,17	49,69	—
194	27,82	32,28	36,70	41,06	45,38	49,64	53,86	58,03	—
219	31,52	36,60	41,63	46,61	51,54	56,43	61,26	66,04	70,78
245	—	41,09	46,76	52,38	57,95	63,48	68,95	74,38	79,76
273	—	45,92	52,28	58,60	64,86	71,07	77,24	83,36	89,42
299	—	—	57,41	63,47	71,27	78,13	84,93	91,69	98,40
325	—	—	62,54	70,14	77,68	85,18	92,63	100,03	107,38
351	—	—	67,67	75,91	84,10	92,23	100,32	108,36	116,35
377	—	—	72,80	81,68	90,51	99,29	108,02	116,70	125,33
426	—	—	—	92,55	102,59	112,58	122,52	132,41	142,25

Таблица 41

Диаметр условного прохода в мм	Наружный диаметр в мм	Теоретический вес 1 м (по длине) в кг при толщине стенок в мм					
		9	10	11	12	13	14
400	426	92,6	102,6	112,6	122,5	132,4	142,3
450	478	104,1	115,4	126,7	135,0	—	—
500	630	115,4	128,0	140,5	153,0	—	—
600	630	137,4	152,9	167,9	182,9	—	—
700	720	157,8	175,1	192,3	209,5	—	—
800	820	185,0	199,8	219,5	—	—	278,3
900	920	202,2	222,4	246,6	268,7	290,8	312,8
1000	1020	224,4	249,1	273,7	298,3	322,8	347,3
1200	1220	—	298,1	328,0	357,5	387,0	416,4
1400	1440	—	—	382,2	416,7	451,1	485,4

Нормативами допускаются следующие отклонения в наружных диаметрах для больших труб:

Наружный диаметр в мм	426	478	529	630	720	820	920	1020	1220	1420
Допускаемые отклонения в мм	±5	±5,5	±6	±6,5	±6,5	±7	±7,5	±8,5	±9	±9,5

Алюминиевые и пластмассовые трубопроводы пока широко не применяются. Опытные прокладки подводных магистралей из этих труб дают основание полагать, что в недалеком будущем строительство таких магистралей станет обычным явлением.

В последние годы стальные трубопроводы стали заменять железобетонными с простой или напряженной арматурой. Стыковые

соединения в виде раструба позволяют осуществлять поворот стыкуемых труб на 3° без нарушения прочности и герметичности, достигаемой путем использования резиновых колец. Экономисты определили, что применять эти трубы выгодно, они стоят недорого. Основное требование при их использовании — соблюдение мер предосторожности, обеспечивающих полную сохранность при транспортировке и укладке. Это нужно иметь в виду при разработке технического проекта и организации работ, предусматривающих прокладку таких труб под водой.

Укладка трубопроводов чаще всего производится уже в готовую траншею. Иногда траншеи устраивают под уложенным по дну трубопроводом методом последовательного углубления. С одной стороны трубопровода обычно устанавливают технические средства, предназначенные для удаления грунта, и с их участием разрабатывают траншею. Заглубление производится различными машинами и механизмами — грунтососом, землесосными установками, а в некоторых случаях, когда имеются надлежащие условия, то и морскими землесосными снарядами. Средства, удаляющие грунт, движутся вдоль трубопровода. По мере продвижения в образующуюся траншею на заданную глубину погружается трубопровод.

В мягких несвязных грунтах объем работ по уборке грунта при разработке траншеи после укладки трубопровода примерно в 4—5 раз меньше, чем в случае предварительной разработки траншеи до укладки трубопровода.

В последние годы начали применять взрывной способ (см. стр. 49), а также специальные трубозаглубительные установки.

§ 3. РАСЧЕТ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА

Метод расчетных предельных состояний является основным при расчете подводных трубопроводов этим методом, в частности, определяют прочность и устойчивость конструкции:

$$N \leq \Phi,$$

где N — расчетное усилие в конструкции от воздействия суммы расчетных нагрузок в наиболее невыгодном варианте в кгс;

Φ — несущая способность конструкции.

Расчет производится на действие постоянных и временных нагрузок. К постоянным относятся: собственный вес трубопровода и изоляции, вес пригрузки, транспортируемого продукта, гидростатическое давление, давление и вес грунта при засыпке и др., а также вес льда, особенно в северных районах, и давление потока воды в период паводка; к кратковременным — нагрузки во время монтажных работ, в ходе испытаний и в процессе непосредственной укладки трубопроводов.

При расчете не следует учитывать одновременное действие всех нагрузок, а принимать во внимание лишь некоторые из них.

Необходимо, чтобы максимально возможное усилие при всех перегрузках было не больше несущей способности. При этом следует учитывать изменчивость условий работы трубопровода, прочность его материала:

$$\sum N^n \leq R^n k F m.$$

где N^n — нормативная нагрузка в тс;

n — коэффициент перегрузки,

R^n — нормативное сопротивление материала в тс/м²;

k — коэффициент однородности материала;

m — коэффициент условий работы;

F — геометрическая характеристика сечения в м²;

Величина коэффициента перегрузки n предусматривается нормативами и зависит от действия различных факторов. Для магистральных газопроводов, а также трубопроводов, транспортирующих нефть и нефтепродукты (при условии, что температура их вспышки не превышает 45°С), коэффициент n равен 1,15; коэффициент n от собственного веса трубопровода — 1,1, от давления грунта — 1,2, температурных деформаций — 1.

К основным расчетам при прокладке трубопровода следует отнести и определение веса трубопроводов в различных состояниях (на воздухе и под водой).

Для определения веса трубопровода на воздухе $q_{тр}$ (кг) необходимо воспользоваться формулой:

$$q_{тр} = q_1 + q_{из} + q_{ф} + q_{м}.$$

где $q_{из}$ — вес 1 м битумной изоляции на поверхности трубопровода в кг;

$q_{ф}$ — вес футеровки на 1 м трубопровода в кг;

$q_{м}$ — вес лепестковых муфт, приведенных к 1 м трубопровода, в кг.

Вес пустого (незаполненного) трубопровода принимается в соответствии со значениями, приведенными в прилож. III, или определяется по формуле

$$q_1 = \frac{\pi}{4} (d_n^2 - d_b^2) \gamma \cdot 10,$$

где d_n — наружный диаметр трубопровода в дм;

d_b — внутренний диаметр трубопровода в дм;

γ — удельный вес материала труб, равный 7,85 кг/дм³.

Вес 1 м битумной изоляции $q_{из}$ определяется по формуле

$$q_{из} = \frac{\pi}{4} (d_{из}^2 - d_n^2) \gamma_{из} \cdot 10,$$

где $d_{из}$ — наружный диаметр трубопровода с изоляцией в дм;

$\gamma_{из}$ — удельный вес изоляции (для битумной изоляции равен 1—1,2 кг/дм³).

Вес усилительных лепестковых муфт $q_{м}$ определяется по формуле

$$q_{м} = \frac{Q_{м}}{l_{зв. тр}},$$

где $Q_{м}$ — вес муфты в кг;

$l_{зв. тр}$ — средняя длина звена труб, из которых сварен трубопровод, в м.

Вес футеровки $q_{ф}$ находят следующим способом: вычерчивают поперечный разрез трубопровода, размещая рейки в соответствии со схемой, разработанной для защиты изоляции. Имея представление о толщине, ширине и количестве реек, укладываемых по окружности трубопровода, находят их вес (на 1 м длины трубопровода).

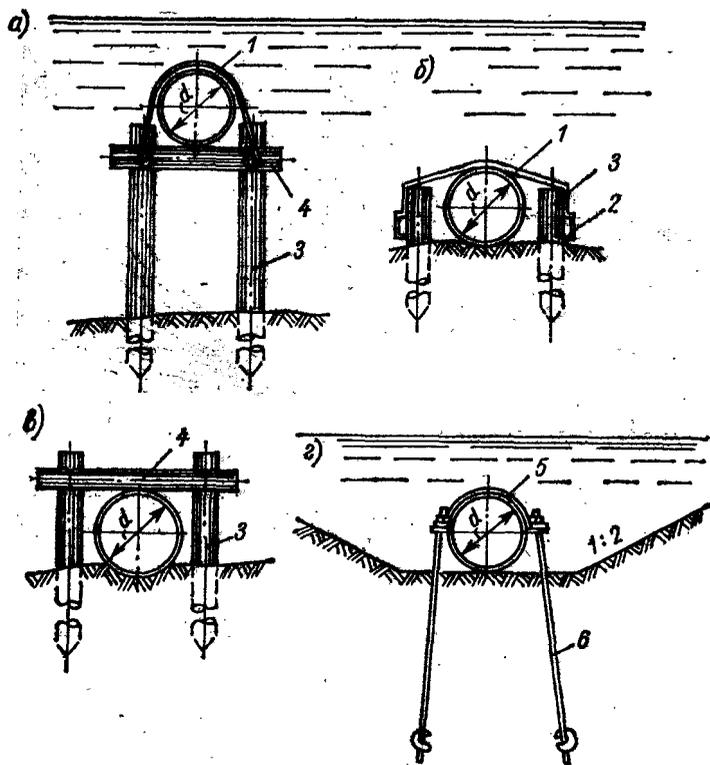


Рис. 14. Крепление подводных трубопроводов
 а, б, в — на сваях; г — анкерами; 1 — трос; 2 — скобы; 3 — сваи; 4 — поперечины; 5 — хомуты; 6 — стальные анкеры с лопастями

Удельный вес древесины $\gamma_{др}$ обычно принимается равным 0,7—0,9 $г/м^3$. Выше рассматривался вес трубопровода, не заполненного водой. При определении его веса с водой внутри необходимо воспользоваться другой формулой:

$$q_2 = q_{тр} + W,$$

где $q_{тр}$ — вес 1 м по длине трубопровода на воздухе в кг;

W — вес воды в этом же метре трубопровода в кг:

$$W = \frac{\pi d_{в}^2}{4} \cdot 10.$$

Вес 1 м по длине пустого трубопровода в воде находится по формуле:

$$q_3 = q_{тр} - \frac{\pi d_{в}^2}{4} \cdot 10 - \frac{q_{ф}}{\gamma_{др}}.$$

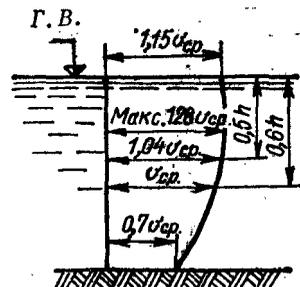


Рис. 15. Эюра скорости течения воды

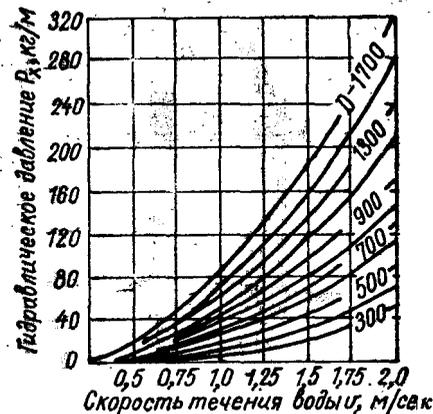


Рис. 16. Эюра зависимости гидродинамического давления на подводные трубопроводы от диаметра трубопроводов и скорости течения воды при коэффициенте вязкости $N = 0,0101 \text{ см}^2/\text{сек}$ и температуре воды, равной 20°C

Следует иметь в виду, что при отрицательном значении величины q_3 трубопровод поплывет, поэтому определение веса трубопровода (на воздухе и в воде) следует производить с особой тщательностью.

Другой не менее важный расчет — определение степени воздействия потока воды на подводный трубопровод, от которой зависит устойчивое положение трубопровода. В практике укладки подводных трубопроводов применяются устройства, удерживающие его на дне (рис. 14). Выбор этих устройств, определение конструкции трубопровода, назначение способа его укладки зависит во многом от гидравлического давления воды (рис. 15 и 16). Известны значения коэффициента кинематической вязкости для воды в зависимости от ее температуры (табл. 42).

Давление потока воды на трубопровод определяется по формуле

$$W = 61,2 d_{из} u^2,$$

где W — давление потока воды на 1 м трубопровода (в том числе, если он расположен нормально к направлению течения) в кг;

$d_{из}$ — диаметр трубопровода с изоляцией (футеровкой) в м;

u — скорость потока воды в м/сек.

Скорость u учитывается в том месте потока, где будет уложен трубопровод; при протаскивании по грунту за скорость потока принимается придонная скорость; при погружении сверху за наибольшую скорость потока принимается скорость в месте прокладки трубопровода.

Таблица 42

Температура воды в °С	Объемный вес воды в кг/м ³	Коэффициент кинематической вязкости в см ² /сек
0	999,87	0,0179
3	999,99	0,0162
4	1000,00	0,0157
5	999,99	0,0152
6	999,97	0,0147
8	999,89	0,0139
10	999,75	0,0131
12	999,55	0,0124
14	999,30	0,0117
16	999,00	0,0111
18	998,65	0,0116
20	998,26	0,0101
25	997,12	0,0090

Помимо горизонтального (лобового) давления; на трубопровод также воздействует вертикально направленная подъемная сила, значение которой можно получить по формуле

$$Y = 1,0 \cdot C_y D_n^2 \frac{V^2}{2g},$$

где C_y — коэффициент подъемной силы, равный 0,6;

D_n — диаметр наружного трубопровода в см;

V — скорость течения в м/сек.

Средняя величина скорости течения представляет частное от деления общего расхода воды на площадь сечения, причем у дна ее можно считать равной 70% средней скорости течения.

Часто для погружения трубопровода в воду используют спусковые дорожки, поставленные на опоры. Расстояние между опорами определяется из условия прочности трубопровода как многопролетной балки по формуле

$$l = \sqrt{\frac{[\sigma] W}{k q_{тр}}},$$

где l — максимальное расстояние между опорами в см;

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение для материала труб при изгибе в кгс/см²;

W — момент сопротивления сечения трубопровода в см³;

k — коэффициент максимального опорного момента многопролетной неразрезной балки;

$q_{тр}$ — вес 1 м трубопровода в кг.

Момент сопротивления принимается по таблице или определяется по формуле

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_n^4 - d_b^4}{d_n},$$

Значение коэффициента k для определения максимальных моментов неразрезных балок, имеющих равные пролеты с равномерно распределенной нагрузкой $q_{тр}$, приводится ниже.

Количество опор	3	4	5	6	7 и более
Значение коэффициента . .	0,125	1,100	0,107	0,105	0,106

Расстояние между опорами для участка трубопровода как балки, лежащей на двух опорах, определяется по формуле

$$l = \sqrt{\frac{8[\sigma] W}{q_{тр}}}$$

Минимально допустимый радиус изгиба трубопровода с учетом возможных напряжений

$$R = \frac{E d_n}{2[\sigma]},$$

где R — радиус изгиба трубопровода в см;

E — модуль упругости материала трубы, равный $2,1 \cdot 10^6$ кгс/см²;

d_n — наружный диаметр трубопровода в см;

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение материала, из которого изготовлена труба, в кгс/см².

Тяговые усилия определяются в нескольких случаях. Когда трубопровод уложен на рельсы спусковой тележки (вагонетки), расчет выполняется для всей длины буксируемой секции. Тяговое усилие

$$P_1 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4,$$

где T_1 — трение качения колес вагонеток по рельсам в кгс:

$$T_1 = \frac{(Q_{тр} + q_{ваг} n) f_1}{R};$$

T_2 — трение в подшипниках осей вагонетки в кгс:

$$T_2 = (Q_{тр} + q_{ваг} n) f_2 r;$$

T_3 — добавочное сопротивление реборд колес о рельсы от неточной укладки рельсовых путей в кгс:

$$T_3 = 0,3 + 0,6 (T_1 + T_2);$$

T_4 — трение тягового троса о грунт в кгс:

$$T_4 = q f_3 L_1;$$

$Q_{тр}$ — вес буксируемой секции трубопровода в кг;

$q_{тр}$ — вес 1 м трубопровода в воздухе в кг;

$q_{ваг}$ — вес одной вагонетки в кг; средний вес одной вагонетки для колес шириной 700 мм равен 300 кг;

n — число вагонеток для всего участка (секции) трубопровода:

$$n = \frac{L}{l} + 1;$$

Наименование трущихся частей	Коэффициент трения	
	на воздухе	в воде
Дерево по дереву:		
смазанному салом	0,40—0,55	0,3—0,4
» мылом	0,2—0,3	—
Дерево по льду и снегу	0,035	—
Дерево по неровному льду	0,15	—
Дерево по скале	0,60	0,60
Дерево по металлу	0,50	0,65
Сталь по стали:		
без смазки	0,15	0,12
со смазкой	0,12	—
Сталь по льду	0,027	—
Сталь по илистому грунту	—	0,18—0,22
Сталь по мягкому илистому грунту	—	0,23—0,30
Сталь по суглинку и супеску	—	0,30—0,32
Сталь по мелкопесчаному грунту	—	0,35—0,38
Сталь по галечному грунту	—	0,38—0,42
Сталь по плотной скале	—	0,30—0,45
Сталь по булыжнику и взорванной скале	—	0,42—0,50

Максимальное тяговое усилие в момент трогания с места (коэффициент $k = 1,5$ только для трубопровода)

$$P_{\max} = 1,5T_5 + T_4.$$

Оптимальная величина отрицательной плавучести трубопровода (имеются в виду трубопроводы, укладываемые способом протаскивания при наличии течения) определяется по формуле

$$P_{\text{оп}} = 0,7 \cdot \frac{W}{f_5},$$

где $P_{\text{оп}}$ — оптимальная величина отрицательной плавучести трубопровода в $кгс/м$;

W — давление потока воды на 1 м трубопровода в $кгс/см^2$.

Коэффициент 0,7 соответствует песчаному грунту. Он ориентировочно учитывает податливость грунта; в мягких грунтах он будет ниже, в скальных — выше.

Напряжения возникают также при подъеме конца трубопровода на поверхность без изгиба его параллельно горизонту воды. Определить их можно при условии, если трубопровод имеет одинаковую по всей длине отрицательную плавучесть. Рассчитать длину участка трубопровода, отрываемого от грунта, можно, пользуясь формулой

$$l = \sqrt[4]{\frac{24HEI}{q_3}}$$

где H — высота подъема конца трубопровода в $см$;

E — модуль упругости материала, из которого сделаны трубы, равный $2,1 \cdot 10^6$ $кгс/см^2$;

I — момент инерции сечения трубы в $см^4$;

q_3 — вес 1 м трубопровода в $кг$.

L — длина трубопровода в $м$;

l — расстояние между вагонетками в $м$;

r — радиус оси ската вагонетки в $см$;

R — радиус колеса вагонетки в $см$;

L_1 — длина тягового троса в $м$;

q — вес 1 м троса в $кг$;

f_1 — коэффициент трения качения колес вагонеток по рельсам (от 0,05 до 0,12);

f_2 — коэффициент трения скольжения осей в подшипниках, равный 0,25;

f_3 — коэффициент трения скольжения стального троса о грунт (от 0,5 до 1).

Таким образом, максимальное тяговое усилие в момент трогания с места

$$P_{\max} = k(T_1 + T_2 + T_3) + T_4;$$

здесь k — коэффициент трогания с места, равный 1,5.

Если трубопровод находится на роликовых опорах, то тяговое усилие

$$P_2 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4.$$

где T_1 — трение качения трубопровода по роликам в $кгс$:

$$T_1 = \frac{Q_{\text{тр}} f_1}{R};$$

T_2 — трение скольжения осей роликов в опорах в $кгс$:

$$T_2 = \frac{Q_{\text{тр}} f_2 r}{R};$$

T_3 — добавочное сопротивление от неточной укладки осей роликовых опор в $кгс$:

$$T_3 = 0,4(T_1 + T_2);$$

T_4 — трение тягового троса о грунт в $кгс$;

f_4 — коэффициент трения качения; для дерева по металлу (футеровки по ролику) равен 0,2, для дерева по дереву — 0,16;

f_2 — коэффициент трения скольжения осей роликовых опор в подшипниках, равный 0,25.

Тяговое усилие в случае, когда трубопровод полностью находится под водой на грунте, определится также по всей длине буксируемой секции:

$$P_3 = T_5 + T_4.$$

где T_5 — трение трубопровода о грунт в $кгс$:

$$T_5 = q_3 l f_5;$$

T_4 — трение тягового троса о грунт в $кгс$;

q_3 — вес 1 м трубопровода в воде в $кг$;

f_5 — коэффициент трения скольжения трубопровода о грунт (табл. 43).

При максимальном изгибающем моменте (в кг·см)

$$M_{\max} = 0.613 \sqrt{q_3 H E I}$$

и максимальных напряжениях (в кгс/см²)

$$\sigma_{\max} = 0.306 d_n \sqrt{\frac{d_3 H E}{J}}$$

где d_n — наружный диаметр трубопровода (в см); максимальная глубина (в см), с которой трубопровод может быть поднят на поверхность,

$$H = \frac{10.6 [\sigma]^2 J}{q_3 E d_n^2}$$

Если предстоит операция по подъему конца трубопровода на поверхность с изгибом параллельно поверхности воды, то при его одинаковой отрицательной плавучести по всей длине, при длине участка

$$l = \sqrt[4]{\frac{r_2 H E I}{q_3}}$$

при максимальном изгибающем моменте

$$M_{\max} = 1.41 \sqrt{q_3 H E I}$$

при максимальных напряжениях

$$\sigma_{\max} = 0.72 d_n \sqrt{\frac{q_3 H E}{J}}$$

максимальная глубина, с которой конец трубопровода может быть поднят на поверхность,

$$H = \frac{1.93 [\sigma]^2 J}{q_3 E d_n^2}$$

Для предотвращения разрыва трубопровода под воздействием внутреннего давления нужно рассчитать это давление, а также толщину стенок подводного трубопровода. При расчете толщины стенки трубопровода на внутреннее давление кольцевые напряжения определяют по формулам:

$$\sigma_{к.ц} = \frac{n p D_B}{2\delta} \leq R_1,$$

или с учетом $D_B = D_n - 2\delta$

$$\sigma_{к.ц} = \frac{n p D_n}{2\delta} - n p \leq R_1.$$

Отсюда толщина стенки труб

$$\delta \geq \frac{n p D_B}{2 R_1},$$

или

$$\delta \geq \frac{n p D_n}{2 (R_1 + n p)}$$

где δ — номинальная толщина стенки трубы в см;

p — рабочее (принятое) давление в трубопроводе в кгс/см²;
 D_B, D_n — соответственно внутренний и наружный диаметры трубопровода в см;

n — коэффициент перегрузки.

§ 4. ИЗОЛЯЦИЯ ТРУБОПРОВОДА

Подводный трубопровод будет служить долго и надежно, если защитить его от вредного воздействия агрессивной среды. Он подвергается химической (окисление металла на воздухе) и электрохимической (действие на металл растворов электролита) коррозии, которая может возникнуть по всей длине трубопровода или на отдельных участках.

Обычно от коррозии защищают поверхность трубопроводов. Наружное антикоррозионное покрытие любого вида должно обладать следующими свойствами: высокой механической прочностью, чтобы сохранить во время строительства и в период эксплуатации трубопровод; необходимой пластичностью, достаточным сцеплением (прилипатель) с поверхностью трубопровода, высокими диэлектрическими свойствами; не подвергаться разрушению под воздействием различных температур, противостоять разрушительному химическому и биологическому воздействию; быть водонепроницаемым.

Что касается противокоррозионных покрытий стальных трубопроводов, то они сохраняют свои изолирующие (защитные) свойства не менее 30 лет.

Рассмотрим материалы, применяемые для изоляции подводных трубопроводов. Вначале речь пойдет о наружных покрытиях.

Битумное антикоррозионное покрытие представляет собой опресованный из 9 слоев материал, толщина которого достигает 11 мм. Это своеобразный «пирог», у которого слой 1 — грунтовочный, слои 2, 3, 5, 6, 8 и 9 — битумные покрытия, слои 4 и 7 — обертка из гидронзола или мешковины.

Существуют различные марки мастик, применяемые для изоляции подводных трубопроводов. Марка мастики определяется исходя из условий прокладки трубопроводов, их назначения и условий эксплуатации, необходимости изолировать тот или иной (горячий или холодный) участок. Представление о применяемых марках мастик дает табл. 44.

При температуре $-30 \div -35^\circ \text{C}$ необходимо использовать легкоплавкую мастику. Ее основные показатели: температура размягчения 55°C , глубина вхождения иглы — пенетрация — равняется 100, растяжимость 9 см. Мастика на три четверти состоит из битума БН-IV; одну десятую часть составляет резиновая крошка, остальной компонент — зеленые масла. Мастика особенно эффективна для использования в северных районах с суровым климатом. В районах с теплым климатом, где температура бывает достаточно высокой, для горячих участков трубопроводов целесообразно применять мастику марки МБР-ИЛ-100.

У битумного покрытия есть преимущества, но есть и недостатки. К ним относятся: высокая трудоемкость работ, связанная с использованием ручного труда, низкая производительность (требуется 130 чел.-дн., чтобы изолировать 1 км трубопровода диаметром

Таблица 44

Марка мастики	Температура воздуха в °С	Температура мастики в °С	Физико-механические свойства мастики		
			температура размягчения в °С	растяжимость в см	пенетрация на 0,1 мм
Резинобитумные мастики					
МБР-ИЗ-65	От +5 До -60	От +150 До +180	65-70	4	40
МБР-ИЗ-75	От +15 До -15	От +150 До +200	71-75	4	30
МБР-ИЗ-80	От +30 До -15	От +160 До +200	80	4	30
МБР-ИЗ-90	От +35 До -10	От +160 До +200	90	3	20
МБР-ИЛТ-100	От -40 До -10	От +180 До +200	100	2	15
МБР-ИТП-129	От +50 До -10	От +180 До +210	120	2	30
Полимеробитумные мастики					
Битуден-3	От +5 До -20	От +150 До +80	70	4	30
Битулен-80	От +30 До -10	От +180 До +200	80	2,5	20
Битуден-Д	—	—	90	3,0	20
Битулен-90	От +35 До -5	От +160 До +200	90	2,0	15
БПП	—	—	90	1,5	20

Примечание. Температуры воздуха взяты в момент нанесения мастики на поверхность трубопровода.

720 мм), отсутствие требуемой биологической стойкости. Для устранения этих недостатков ученые и производственники разработали ряд эффективных мер:

уменьшение толщины изоляции до 6 мм вместо 11 мм, с тем чтобы можно было нанести ее за один проход. Однако в этом случае необходимо повысить надежность изоляции, что достигается применением армированного стеклохолста;

увеличение механической прочности битумного покрытия путем армирования стекломатериалами.

Пленочные антикоррозионные покрытия из пластмассовых и изоляционных лент широко применяются для защиты подводных трубопроводов от воздействий агрессивной среды. Главное преимущество таких покрытий — их высокие защитные свойства.

Для подводных переходов можно осуществлять изоляционное покрытие из полимерной ленты, состоящее из грунтовки, двух слоев полимерной ленты, двух слоев бризола и футеровки из деревянных реек. Следует учесть требования, которым должны отвечать битумная и клеевая грунтовки, чтобы обеспечить высокую прочность покрытия (табл. 45).

Таблица 45

Марка клея и соотношения его с бензином	Технические условия	Вязкость в сек по		Относительный удельный вес в г/см ³
		ВЗ-1	ВЗ-4	
№ 4010 в бензине Б-70 (1 : 1)	МХП 1510-49	12	46	0,834
№ 88	МХП 1542-49 МРТУ 6-07-6010-63	11	46	0,920
№ 60 в бензине Б-70 (1 : 3)	МХП 1524-51	12	46	0,798
Полиизобутиленовый (18-20%)	—	15	65	0,771
Битумная БН-IV в бензине Б-70	—	4	15	0,85

Применяется также и поливинилхлоридная лента (МРТУ 6-05-1040-67), которую можно использовать лишь при условии, когда работы по нанесению ленты на поверхность трубопровода проводятся при положительной температуре (не ниже +5°С). И наоборот, другие ленты — липкие полиэтиленовые, специальные поливинилхлоридные и морозостойкие — наносят при отрицательных температурах наружного воздуха. Можно перечислить и другие изоляционные покрытия — битумно-песчаное (нефтяной битум — 12%, чистый без пыли песок — 63%, тонкоразмолотый известняк — 24%, мелкий асбест — 1%); бетонные; пеково-эпоксидные мастики (смесь эпоксидной смолы — 30%, растворитель — 20% каменноугольный пек — 25%, минеральный пигмент — 25%). К последнему виду покрытий можно отнести и изоляцию, состоящую из двух компонентов — эпоксидной смолы и полнаимидного катализатора.

Способы нанесения изоляционных покрытий подводных трубопроводов достаточно проверены практикой. Изолируемую поверхность трубопровода очищают металлическими щетками или пескоструйным аппаратом. Удаляют грязь, ржавчину, окалину. Поверхность должна быть сухой и доведена до блеска. Высокий эффект дает применение портативной центробежной трубоочистительной машины для труб диаметром 300—600 мм. Производительность ее — до 90 м² поверхности в смену. Такая машина бывает незаменима, когда трубы доставляются на объект работ неизолрованными.

Эффективная очистка изолируемой поверхности трубопроводов достигается применением специального электрифицированного инструмента с рабочим органом в виде стальных щеток. Основные детали инструмента: треугольная металлическая рамка с тремя валиками в углах, установленными на шарикоподшипниках. К валикам крепятся щетки со щетками, приводимыми в движение электродвигателем мощностью 1 кВт, закрепленным на корпусе прибора (рис. 17). Электрифицированную щетку двигают вдоль трубы, очищая полосу за полосой. Затем трубу поворачивают и продолжают очистку.

Применяется и другой способ очистки труб от ржавчины с помощью преобразователя ржавчины, выпускаемого отечественной про-

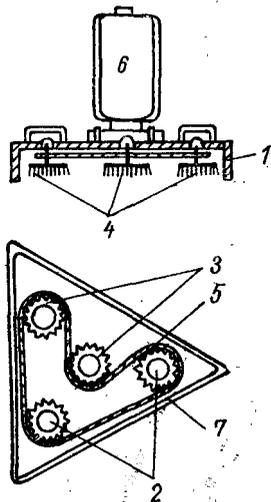


Рис. 17. Электрифицированная щетка для очистки труб
1—металлическая рама; 2—валики; 3—щетинки; 4—металлические шетки; 5—цепь Галля; 6—электродвигатель мощностью 1 кВт; 7—фиксирующие ролики

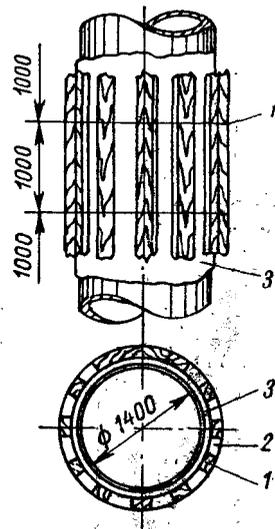


Рис. 18. Футеровка трубопроводов
1—хомут из проволоки диаметром 4—6 мм через 1—1,5 м; 2—рейки футеровки; 3—изоляция

мышленностью и удовлетворяющего требованиям ТУ-6-15-527—71. Предварительно поверхность трубопровода очищают от рыхлой пластовой ржавчины, затем наносят преобразователь жесткой кистью. Обработанную таким образом поверхность оставляют на 16—20 ч, после чего с помощью напорной струи воды очищают ее до блеска.

Наносить битумное покрытие, если изолируемая поверхность трубы холодная, не рекомендуется. В этом случае нанесенный расплавленный битум быстро охладится, необходимого сцепления с поверхностью не получится, слой изоляции покроется сеткой трещин. Чтобы этого не произошло, на сухую, тщательно очищенную поверхность трубы укладывают тонкий слой (грунтовочный) разжиженного битума, состоящего из одной части битума и трех частей бензина по объему. При этом нужно проследить за тем, чтобы грунтовка наносилась равномерно с последующим растиранием кистью, что будет способствовать образованию надежно соединенной с поверхностью трубы битумной пленки. Подсчитано, что на 1 м² поверхности расходуется около 0,6 л грунтовок.

Очень часто трубы поступают на объект предварительно обработанными, т. е. подвергнутыми «асфальтировке». В этом случае грунтовку не наносят, но обязательно проверяют качество грунтовочного слоя. Делается это простейшим способом — простукиванием

молотком. Если слой не отходит, значит он пригоден. В обратном случае этот слой снимают, поверхность зачищают и заново грунтуют.

Нанесение грунтовочного слоя можно ускорить, если применить распылители, используемые обычно для нанесения водных растворов. Прочность прилипания грунтовочного слоя к поверхности также можно повысить, если ввести в его состав селинговую кислоту в количестве от 0,1 до 1% от веса битума. Прочность прилипания, как показали испытания, проведенные во ВНИИСтройнефть, возрастет примерно в полтора раза (с 6 до 9—10 кгс/см²).

Необходимо придерживаться следующего правила выполнения работ, связанных с покрытием очищенной поверхности грунтовочным слоем: не оставлять поверхность трубы недогрунтованной; не выполнять эту операцию в сырую погоду; емкости, где хранятся грунт и бензин, держать закрытыми и ставить их не ближе 40 м от источников огня.

Битумное покрытие, наносимое на грунтовочный слой, состоит из мастики (битумной «эмали»): 85% (по весу) битума марки IV (ГОСТ 1544—52) и 15% сухого порошкообразного каолина (ГОСТ 6138—61). Этот состав обычно пригоден для средней полосы. Каолин обычно вводят в битум небольшими дозами, предварительно разогрев до температуры 180—200° С. Применение каолина, который под действием токов катодной защиты выносится из покрытия, что приводит к образованию капиллярных каналов, требует также введения в состав мастики одной десятой части по весу резины, размоленной до фракции менее 1 мм. Эта добавка в несколько раз повышает механическую прочность и морозостойкость покрытия. Например, без добавки покрытие становится хрупким уже при температуре +5° С, а с добавкой — только при —15° С.

Нанесение битумного покрытия на подготовленный грунтовочный слой следует выполнять с соблюдением следующих правил: каждый последующий слой должен наноситься на вполне застывший предыдущий слой; оклейку гидроизоляционным материалом надо производить по неостывшему слою битумного покрытия спирально с нахлесткой краев на 3 см и конца последующей ленты на 10 см с обязательной приклейкой перекрывающих краев (следует учесть, что данная операция упрощается, если применить брызол и добавить резину; в этом случае наносят всего два слоя мастики вместо шести толщиной 3—5 мм); при температуре ниже 25° С работы должны производиться в тепляках.

Битум для защитного покрытия перевозят и хранят в металлической или деревянной таре за 40 м (не ближе) от источников огня. После освобождения из тары мастику разогревают до температуры 200° С, процеживают через сетку и наносят на чистую поверхность просохшего грунта (в летних условиях спустя 4—6 ч после того, как нанесен грунтовочный слой). В целях предохранения изоляции от повреждения применяют футеровку — деревянные рейки или тонкие доски, уложенные сплошь снизу и прерывисто сверху (рис. 18). Иногда взамен футеровки употребляют асбестоцемент, наносимый слоем в несколько миллиметров, или железобетонное покрытие, выполняющее вместе с тем и функцию балласта.

Арсенал технических средств, используемых для нанесения защитной изоляции трубопроводов, все время расширяется. Завод Главнефтепроммаша начал серийное производство изоляционных

машины новой конструкции для строительства магистральных газопроводов. Агрегаты применяются для изоляции труб диаметром 1422 мм. Они покрывают трубопроводы специальной пленкой, что предохраняет трубы от действия вредных веществ, разъедающих битумный слой.

К изоляционному покрытию подводного трубопровода предъявляются следующие требования: поверхность должна быть ровной, не иметь потеков, лысин, складок, зазоров, разрывов; при надрезе изоляционного покрытия двумя сходящимися под углом 45—60° линиями и отдирании от вершины угла изоляция и обертка не должны отставать от покрытия; путем прокола изоляции иглой глубиномера через каждые 50—100 м проверяется, составляет ли толщина 11 мм.

Для проверки качества изоляции применяют дефектоскоп. При наличии мелких трещин, пропусков, недопустимо тонкого слоя прибор подает звуковой и световой сигналы, сопровождаемые искрой. Дефектные места отмечают мелом и затем ремонтируют с последующей проверкой.

Ремонт поврежденной изоляции подводного трубопровода требует применения специальных мастик. Повреждения обычно возникают в результате размыва берегов и переформирования рельефа участков подводного перехода. Мастика готовится из петролатума (ГОСТ 4096—62), веретенного масла (ГОСТ 1707—51), шлама хромовых солей и нефтенада меди. Армирующим материалом служит стеклохолст ВВ-Г.

В данном случае применяются грунтовочные и изоляционные слои следующего состава: грунтовка — петролатума 70%; веретенного масла 30%; изоляционная паста — петролатума 30%, веретенного масла 20%, сухого шлама хромовых солей 50%. Стеклохолст должен быть пропитан составом петролатума 80%, веретенного масла 18% и нефтенада меди 2%.

При ремонте поврежденной изоляции подводных трубопроводов вначале тщательно очищают поврежденный участок изоляции, затем наносят грунтовочный слой и накладывают слой изоляционной пасты, толщина которого не должна превышать 5—6 мм. Завершающая операция — обертывание пропитанным стеклохолстом изоляционного покрытия.

§ 5. УКЛАДКА ТРУБОПРОВОДОВ С ОПОРО СПОСОБОМ СВОБОДНОГО ПОГРУЖЕНИЯ

К преимуществам способа опускания трубопровода с опор под воду относится точная укладка секций самотечных трубопроводов в заданное положение. Подвешенный на опорах трубопровод может быть перемещен в погруженном состоянии в любом направлении. Это облегчает выполнение такой сложной операции, как присоединение трубопровода к патрубкам оголовков водозаборных сооружений. Другое преимущество заключается в возможности погрузить трубопровод с плавучих опор на дно без изгиба. Это, в свою очередь, позволяет укладывать трубопровод при любой глубине водной преграды.

Недостатки рассматриваемого способа погружения трубопровода: неизбежное нарушение (перерыв) графика движения судов в районе производства работ, необходимость подготовить в сравнитель-

но большом количестве такелажные и плавучие средства, высокая стоимость работ.

Укладка с опор трубопроводов больших диаметров может производиться с плавучих кранов, расставленных на определенном расстоянии; со льда при использовании козел или балочных опор; с эстакад или свайных опор на глубину до 6—8 м. Какой из этих способов лучше, можно установить, если учесть в каждом отдельном случае условия района, где производятся работы, назначение (характер) сооружения, сроки выполнения работ.

Предназначенные для трубопровода звенья труб предварительно монтируют секциями длиной до 25 м. После нанесения на трубопровод изоляции на концы секций приваривают фланцы или полу-муфты. Затем закрывают их заглушками (из котельного железа на резиновых прокладках) и опускают на плав. Требуется, чтобы одна из заглушек имела вентиль с патрубком для присоединения воздушного планга, а другая — вентиль для впуска или выпуска воды. Вентили служат для затопления секций при их погружении на дно или же продувки сжатым воздухом от водолазной помпы или компрессора при подъеме на поверхность. После установления трубопровода вдоль опор приступают к выполнению операции, связанной с закреплением балласта, и заполнению его водой. Нагрузка может возрасти, поэтому, для того чтобы ее уменьшить, рекомендуется использовать разгружающие цилиндрические понтоны, прикрепляемые к трубопроводу перед укладкой.

Секции трубопроводов больших диаметров собирают на лежнях или стеллажах параллельно урезу воды. Затем их скатывают на плав по эстакаде или наклонным лежням. Если размеры секций и уклон спусковой дорожки позволяет, то можно применить лебедки, которые размещают на площадке (из расчета две лебедки на каждую секцию трубопровода). Стальными концами секцию можно удержать на наклонной части эстакады.

Следует рассчитать тяговое усилие, требуемое для перекачивания секции по горизонтальной эстакаде. Для этого можно воспользоваться формулой

$$T = \frac{q_{\text{тр}} L f}{d_{\text{тр}}},$$

где T — тяговое усилие, приложенное по касательной к трубе, в кгс

$q_{\text{тр}}$ — вес 1 м трубопровода в кг;

L — длина секции в м;

f — коэффициент трения качения (для труб, покрытых изоляцией и перекачиваемых по лежням или прогонам, имеющим неровности, f принимается равным 2);

$d_{\text{тр}}$ — наружный диаметр трубопровода в см.

Трубопровод с установленными по концам заглушками вместе с опорными точками буксируют к месту погружения. После проверки его положения опорные точки закрепляют при помощи якорей. От лебедок трос тянется к опорным точкам. После закрепления тросов трубопровод заполняют водой и постепенным травлением тросов от лебедок погружают на место. При этом способе загрузка опорных точек происходит равномерно, так как исключается перелив воды в один из концов трубопровода.

Количество понтонов, требуемых для укладки трубопровода, в зависимости от веса труб и грузоподъемности понтонов подсчитывается по формуле

$$n = \frac{gl + P_{\text{зап}}l}{P_{\text{п}}} = \frac{l}{P_{\text{п}}} (g + P_{\text{зап}}),$$

где n — число понтонов;

$P_{\text{п}}$ — грузоподъемность одного понтона в т;

g — вес 1 м трубопровода, заполненного водой, перед укладкой в т;

l — длина укладываемого трубопровода в м;

$P_{\text{зап}}$ — запас грузоподъемности понтонов (принимается равным 10—20 кг на 1 м длины трубопровода).

Вес воды, заливаемой в жесткие понтоны, определяется по формуле

$$Q = P_{\text{оп}}m_{\text{оп}} + P_{\text{зап}}l,$$

где $P_{\text{оп}}$ — расчетная нагрузка на одну опору в т;

$m_{\text{оп}}$ — число опор.

При опускании секции трубопровода с плавучих опорных точек последние устанавливаются на якорях по трассе таким образом, чтобы концы тросов подъемных приспособлений оказывались над осью трассы, где должен быть уложен трубопровод. Секции трубопровода подтягиваются на плаву к месту погружения с последующим креплением к стропе подъемных приспособлений и подъемом на высоту от 10 до 20 см, затем открываются вентили заглушек и секция заполняется водой.

Когда трубопровод заполнится водой, заглушки снимают и всю секцию опускают на грунт равномерно с каждой опоры при горизонтальном положении секции. Равномерное погружение обеспечивается предварительной разметкой спусковых концов, четкой сигнализацией и промерами положения секции (делается это с помощью фугштока или тонкого троса). Секцию медленно опускают. Когда до грунта останется 30—50 см, подают команду и водолаз опускается на дно, чтобы на месте руководить работами. При необходимости он соединяет секцию с ранее уложенными. Если спуск секций производится в месте, где наблюдается течение, то применяют оттяжки или направляющие сваи. Расстояние между оттяжками обусловлено давлением от потока воды и определяется расчетным путем.

Опускание секций трубопроводов с применением мягких понтонов имеет свои особенности, в частности, позволяет сократить количество плавучих опорных точек и удлинить погружаемые секции. Дополнительные мягкие понтоны, которые строят к секциям, во многом облегчают сложную работу по стыкованию секций трубопровода под водой, поскольку каждая секция приобретает небольшую отрицательную плавучесть и водолаз без особых усилий может переместить ее в нужном направлении.

Вес секции и скорость течения обуславливают величину подъемной силы для погружаемой секции. В том случае, если течение не наблюдается вообще или скорость его не превышает 0,5 м/сек, подъемная сила принимается равной 95—98% от веса секции, заполненной водой. Если скорость течения больше указанного значения, то возникает необходимость при погружении по направляющим сваям или на оттяжках придать секции повышенную отрицательную

плавучесть. Это даст возможность преодолеть силу трения трубопровода о направляющие сваи или вертикальную составляющую натяжения в оттяжках.

Подъемная сила понтонов определяется по формуле

$$P = 0,9(q_3L - N),$$

где P — подъемная сила мягких понтонов в тс;

q_3 — вес 1 м трубопровода в воде, заполненного водой, в т;

L — длина погружаемой секции в м;

N — сила трения трубопровода о направляющие сваи или вертикальная составляющая оттяжки в тс.

Численность понтонов рассчитывается исходя из подъемной силы каждого понтона.

Существуют правила опускания секций трубопроводов при помощи мягких понтонов: понтоны строят к трубопроводу стальными или растительными тросами, поверхности понтонов защищают от повреждений досками толщиной 15—20 мм; трубопроводы погружают (без использования опорных точек) только на одних мягких понтонах на глубину до 6 м при наличии мягкого грунта.

Укладка трубопроводов способом свободного погружения имеет особенности, заключающиеся в том, что трубопровод, установленный на плаву в створе, испытывая напряжения от изгиба, укладывается на грунт под действием воды, заливаемой вовнутрь. Практикой доказано, что таким способом можно укладывать трубопроводы диаметром до 2000 мм. Преимущество его состоит в том, что этим способом можно практически воспользоваться при любом рельефе трассы перехода, различной глубине водных преград и скорости течения, не превышающей 2 м/сек.

Принята следующая технология работ по укладке трубопровода с заливом воды вовнутрь. На площадке производят сварку секций труб в плеть. Длина плети должна быть несколько шире, чем перекрываемая водная преграда. По окончании сварки трубопровод покрывают изоляцией, затем приваривают по концам заглушки, опускают на воду и буксируют в створ укладки. Проверив правильность положения трубопровода, один из его концов заливают водой и открывают воздушный вентиль. Под действием веса воды плетль с изгибом в вертикальной плоскости постепенно начинает опускаться на дно траншеи.

При заводе трубопровода в створ, удерживании его и погружении возникают напряжения в металле, которые могут вызвать аварию. Исходя из этого наиболее ответственный момент операции — опускание трубопровода — разделяют на периоды, определяемые (рассчитываемые) заранее. Кроме того, определяются расстояния между точками и расчалками трубопровода, а также возникающие в металле усилия в процессе укладки на дно.

Суммарные напряжения в металле, обусловленные действием горизонтальных сил, вызванных течением воды, и горизонтальных усилий, действующих на трубопровод, определяются по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\Gamma}^2 + \sigma_{\text{в}}^2},$$

где σ_{Γ} — напряжение в трубопроводе от действия горизонтальных сил в кгс/м²;

$\sigma_{\text{в}}$ — напряжения от действия вертикальных сил в кгс/м²,

Следует учесть, что

$$\sigma \leq R_2$$

Величина R_2 принимается в соответствии с рекомендациями СНиП II-Д.10—62 для участков трубопроводов I и II категорий равным $0,64\sigma_T$, где σ_T — предел текучести материала труб.

Для определения изгибающих моментов, возникающих в сечениях трубопроводов, необходимо воспользоваться формулами

$$\sum V = R + bq - ap - S = 0;$$

$$\sum M = R(a + b) - ap\left(b + \frac{a}{2}\right) + \frac{qb^2}{2} = 0.$$

- где R — реакция грунта, действующая на трубопровод, в кгс;
 S — вес участка трубопровода, поднимающегося над поверхностью воды в процессе погружения, в кг;
 p — вес 1 см длины трубопровода, покрытого изоляцией, в воде и заполненного водой, в кг;
 q — подъемная сила воды на 1 см длины трубопровода, заполненного воздухом, или плавучесть заглушного трубопровода, в кгс;
 a — протяженность участка, на котором изгибаемый трубопровод заполнен водой, в см;
 b — протяженность участка, на котором изгибаемый трубопровод заполнен воздухом, в см.

Наряду с изложенными способами применяется также укладка трубопровода с помощью разгружающих понтонов с заливом в трубопровод воды в процессе погружения. После того, как вовнутрь будет залита вода, трубопровод вместе с понтонами погружается на дно; затем понтоны поднимают (расстропливают) на поверхность.

Трубопровод можно уложить на дно траншеи, залив его водой, с предварительной балластировкой стационарными грузами. До спуска секции на воду к трубопроводу прикрепляют балластные грузы или надевают тяжелое покрытие. Если в районе погружения наблюдаются течения, то ставят боковые оттяжки, не позволяющие отвести трубопровод в сторону от линии трассы. Можно воспользоваться сваями и другими устройствами.

§ 6. УКЛАДКА СПОСОБОМ ПРОТАСКИВАНИЯ ПО ГРУНТУ

Укладка трубопроводов способом протаскивания по грунту получила в последние годы широкое распространение. Это обусловлено несколькими причинами: возможностью на весьма короткий срок ограничивать судоходство в районе производства работ; небольшой потребностью в такелажных и плавучих средствах; высокими темпами укладки; возможностью вести работы в течение круглого года и противостоять воздействию воды и ветровой нагрузки. Однако следует отметить и некоторую специфику работ, связанных с укладкой трубопроводов на дно способом протаскивания, а именно: строительная площадка должна иметь значительные размеры; рельеф берега и подводной трассы должен быть плавным;

Практикой доказано, что наибольший экономический эффект этот способ дает при укладке труб диаметром не свыше 400 мм, обладающих достаточной гибкостью.

Технология производства работ по укладке трубопроводов способом протаскивания по грунту заключается в следующем. Собранный на берегу трубопровод укладывают на спусковую дорожку (на вагонетки или роликоопоры, установленные на расстоянии 15—20 м); направление дорожки должно полностью совпадать с направлением трассы. Затем тяговым тросом, проложенным через водную преграду, с помощью тракторов или лебедок трубопровод протаскивают по дну. Общая схема производства работ может быть изменена в зависимости от местных условий (длины перехода, диаметра и веса трубопровода, скорости течения, рельефа берега, погоды и др.).

Расстояние между опорами рассчитывается, как и для многопролетной неразрезной балки. Это позволяет предупредить повреждение изоляции. В данном случае требуется, чтобы ролики были покрыты резиной.

В головной части трубопровода ставятся заглушка, закрывающая трубопровод с торца. Заглушку необходимо несколько заострить, чтобы она легче проходила по грунту. Вблизи нее приваривают скобу для застроповки тягового троса.

При подходе к воде спусковой дорожке придают сильный уклон. Вагонетки откатывают в сторону. В это время трубопровод перемещают на береговые роликовые опоры. Возникают неизбежные прогибы, которые, однако, не должны превышать предельного радиуса изгиба.

Трубопровод не заливают водой, чтобы обеспечить нормальные тяговые усилия при буксировке его по грунту. В целях уменьшения трения о грунт трубопроводу придают незначительную отрицательную плавучесть (до 10—12 кг. на 1 м) с учетом диаметра и длины трубопровода, давления текущей на его боковую поверхность воды, имеющихся в распоряжении тяговых средств. В данном случае уменьшение трения достигается с помощью балласта или специальных поплавок, прикреплением футеровки, предохраняющей изоляцию от повреждения. Нижнюю часть (под трубопроводом) футеровки делают сплошной, а боковую и верхнюю — прерывистой. Крепят футеровку хомутами из проволоки диаметром 6 мм через 1—1,5 м.

Если самотечная линия имеет значительную длину, а прибрежная полоса — малые размеры, не позволяющие смонтировать спусковую дорожку, которая была бы равна длине подводной траншеи, то допускается протаскивание трубопровода со сварными стыками. В этих случаях его расчленяют на несколько секций. Сначала протаскивают первую из них, а когда конец ее достигнет точки, отстающей от урезных роликов на 1 м, погружают вторую секцию, соединяя ее передний конец с первой. Затем производят сварку стыка с последующим одеванием муфты и изоляцией. Вслед за этим протаскивают последовательно и другие секции, пока весь трубопровод не будет уложен на место. Если в районе производства работ наблюдаются сильные течения, то этот способ применять не следует, так как неизбежные перерывы в выполнении операции, связанной с протаскиванием трубопровода по дну, приведут к тому, что под воздействием течения будет заилена траншея или уложенная часть окажется под донными наносами.

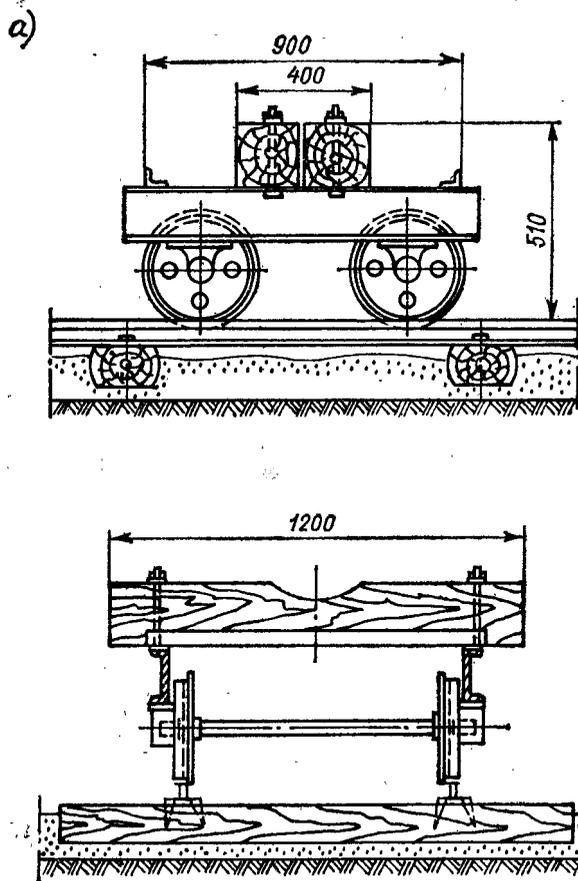
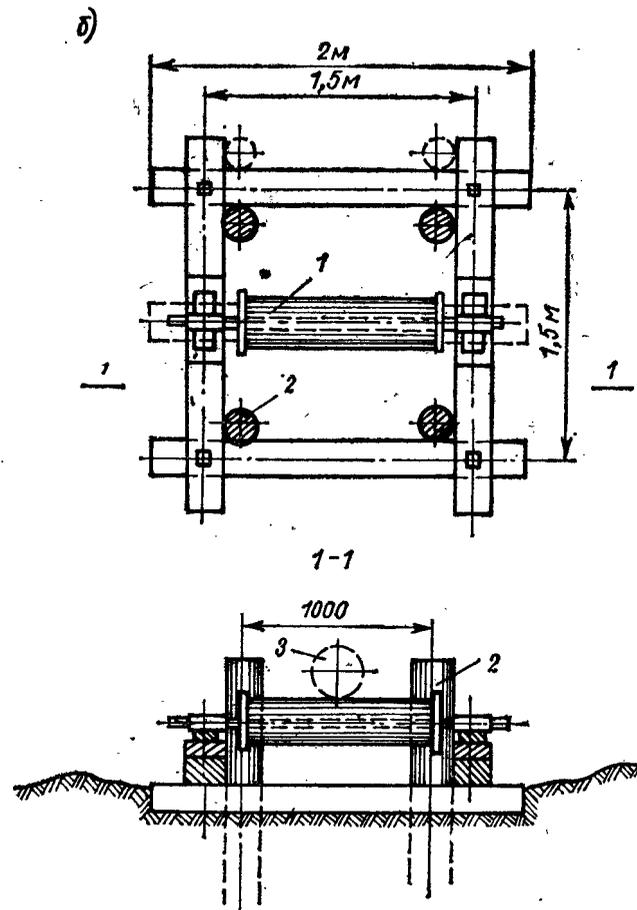


Рис. 19. Приспособление для
а — тележка; б — роликовая опора;

Скорость протаскивания трубопроводов не должна быть высокой и принимается не выше 0,5 м/сек. В противном случае тележки могут сойти с узкоколейного рельсового пути.

Некоторые существенные изменения в технологии укладки трубопроводов способом протаскивания вызваны применением разгружающих понтонов, обеспечивающих требуемую отрицательную плавучесть трубопровода (25 кгс/м при расчетной скорости течения 0,57 м/сек). Применение понтонов дает значительный эффект при укладке самотечной линии большой протяженности и большого диаметра. При нормальном рельефе дна и берегов можно укладывать



спуска трубопровода в воду
1 — ролик; 2 — свая; 3 — трубопровод

трубы диаметром до 1020 мм. Характеристика инвентарных стальных понтонов приведена ниже.

Грузоподъемность понтонов в т.

	1,5	3
Подъемная сила в т . . .	1,5	3,0
Глубина погружения в м	25,0	40,0
Длина корпуса в м	2,5	4,4
Диаметр корпуса в м	1,0	1,1
Осадка в м	0,3	—
Вес в кг	420	685

Спускосвая дорожка представляет собой узкоколейный рельсовый путь. Для шпал используют подтоварник, бревна или пластины, укладывая их на расстоянии от 0,6 до 1 м. Рельсы сваривают в секции, соединяя накладками на болтах, и прикрепляют к шпалам обычным способом — костылями. Тележка имеет вид рамы, поставленной на две пары скатов. Посредние рамы укрепляется поперечный брус, на который затем укладывают трубопровод (рис. 19).

В районе уреза воды трубопровод переводится на роликовые опоры. Опора изготавливается обычно из отрезков труб диаметром 8—12 мм. Длина ее 0,8—1,2 м.

Ролики укладываются на скользящие или шариковые подшипники, закрепленные на раме или сваях.

Тяговые устройства для протаскивания по спусковому пути и по дну водной преграды имеют различную конструкцию. Чаще используют тракторы, но это не дает эффекта, если диаметр трубопровода превышает 720 мм, а длина 300 м. Лучше для этих целей использовать лебедки, рассчитанные на усилия от 50 до 150 тс и выше.

Такую лебедку устанавливают на противоположном берегу. Если работы связаны с преодолением широких водных преград, то лебедку ставят на плавучие средства.

Необходимо точно определить тяговое усилие. Если трубопровод протаскивается по грунту или по дну водной преграды, то тяговое усилие

$$P_{гр} = Qf_1.$$

где Q — вес трубопровода в кг;

f_1 — коэффициент трения покоя.

Трубопровод сдвинулся с места — в этом случае тяговое усилие уменьшится и составит

$$P_{гр} = Qf_2$$

(здесь f_2 — коэффициент трения при скольжении), или

$$P_{гр} = kQf_1.$$

где k — коэффициент, представляющий отношение коэффициента трения покоя и коэффициента трения при скольжении (равняется 1,5—2). Коэффициент трения трубопроводов с покрытием из бетона следует принимать равным 0,3.

Тяговое усилие при протаскивании трубопровода с помощью тележек, поставленных на узкую колею, определяется по формуле

$$P_1 = \frac{k(Q_{тр} + q_{вар})}{R} (f_1 + f_2) (1 + R_1) + gf_3.$$

где r — радиус оси ската тележки в см;

g — вес троса на 1 пог. м трубопровода в кг;

R_1 — тяговое усилие при трогании с места; $R_1 = 0,5$ кгс;

R — радиус колеса вагонетки в см;

$Q_{тр}$ — вес транспортируемой секции трубопровода в кг;

$q_{вар}$ — число и вес вагонетки (около 300 кг);

f_1 — коэффициент трения качения колес по рельсам, равный 0,05—0,12;

f_2 — коэффициент трения скольжения осей в подшипниках, равный 0,25;

f_3 — коэффициент трения скольжения стального троса о грунт, равный 0,5—1.

При протаскивании трубопровода по роликовой дорожке (рис. 19, б) тяговое усилие определяется по формуле

$$P_{р.д} = k(T'_1 + T'_2 + T'_3) + T_4,$$

где T'_1 — трение качения трубопровода по роликам в кгс;

$$T'_1 = \frac{Qf_4}{R_p};$$

T'_2 — трение скольжения осей роликов в опорах в кгс;

$$T'_2 = \frac{Qf_p r_p}{R_p};$$

T'_3 — добавочное сопротивление от неточной укладки осей роликовых опор:

$$T'_3 = 0,4(T'_1 + T'_2);$$

f_4 — коэффициент трения качения;

R_p, r_p — радиусы соответственно ролика и его оси в см.

При укладке подводных трубопроводов способом протаскивания по грунту или дну водной преграды суммарные напряжения будут складываться из продольных напряжений, возникающих от тягового усилия, и напряжения изгиба:

$$\sigma = \sigma_{тяг} + \sigma_{изг}.$$

где

$$\sigma_{тяг} = \frac{P}{F_{тр}};$$

P — тяговое усилие в кгс;

$F_{тр}$ — площадь сечения металла трубы в см².

Кроме рассмотренных, распространен способ укладки трубопроводов с плавучих средств путем наращивания. Особенность его заключается в том, что монтаж плетей труб и сварка стыков между ними производятся на понтонах или специально оборудованных судах, служащих монтажной площадкой. На этой площадке заранее собираются и свариваются плети из секций труб, заизолированных и забалластированных на берегу.

Трубопроводы значительной протяженности прокладывают отдельными участками длиной 1—3 км. Такой способ может быть рекомендован для прокладки трубопроводов диаметром 200—350 мм в водных бассейнах, не отличающихся большими глубинами (до 15—20 м). Прокладка трубопроводов с использованием плавучих средств рекомендуется для устройства прибрежных магистралей длиной до 3 км, а также для устройства переходов через водоемы протяженностью до 20—25 км.

Расчет плавучей производят, исходя из двух условий: буксировки трубопровода от точки спуска на воду и к месту погружения; погружения трубопровода на грунт.

При буксировке трубопровода малого диаметра, поставленного на поплавок, следует рассчитать сопротивление воды. Это можно сделать, воспользовавшись формулой

$$R = fSV^{1,83},$$

где R — сопротивление воды движению трубопровода в кгс;
 f — коэффициент трения воды о смоченную поверхность, равный 0,3;
 V — скорость буксировки в м/сек (табл. 46);
 S — смоченная поверхность трубопровода с поплавками или понтонами в м²;

$$S = S_1 + S_2n;$$

S_1 — смоченная поверхность трубопровода в м²;
 S_2 — смоченная поверхность поплавка или понтона в м²;
 n — количество поплавков или понтонов.

Таблица 46

Скорость хода V , м/сек	$V^{1,83}$	Скорость хода V , м/сек	$V^{1,83}$	Скорость хода V , м/сек	$V^{1,83}$
0,1	0,015	1,8	2,93	3,5	9,90
0,2	0,052	1,9	3,25	3,6	10,42
0,3	0,111	2,0	3,56	3,7	10,96
0,4	0,191	2,1	3,88	3,8	11,51
0,5	0,281	2,2	4,23	3,9	12,07
0,6	0,393	2,3	4,59	4,0	12,64
0,7	0,522	2,4	4,96	4,1	13,22
0,8	0,664	2,5	5,35	4,2	13,82
0,9	0,826	2,6	5,75	4,3	14,43
1,0	1,0	2,7	6,16	4,4	15,05
1,1	1,191	2,8	6,58	4,5	15,68
1,2	1,396	2,9	7,02	4,6	16,32
1,3	1,616	3,0	7,47	4,7	16,98
1,4	1,84	3,1	7,93	4,8	17,65
1,5	2,10	3,2	8,40	4,9	18,33
1,6	2,39	3,3	8,89	5,0	19,02
1,7	2,64	3,4	9,39	—	—

§ 7. СОЕДИНЕНИЯ, ПРИГРУЗКА, ИСПЫТАНИЯ И РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДА

Фланцевые соединения чаще всего применяются для соединения трубопроводов в подводных условиях и могут быть выполнены в двух вариантах — глухие, привариваемые к концам труб, и подвижные, удерживаемые опорными кольцами (рис. 20). Короткие участки секций соединяются при помощи глухих фланцев.

Прокладочными материалами служат: резина (для трубопроводов, заполняемых холодной или теплой водой, применяется резина листами толщиной от 1 до 8 мм с тканевыми прослойками и без них); паронит (для трубопроводов, перекачивающих воду, пар, нефть, бензин, керосин и различные масла; толщина листа паронита бывает

Рис. 20. Фланец для подводных трубопроводов
 а — глухой; б — поворотный

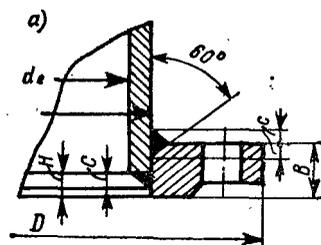
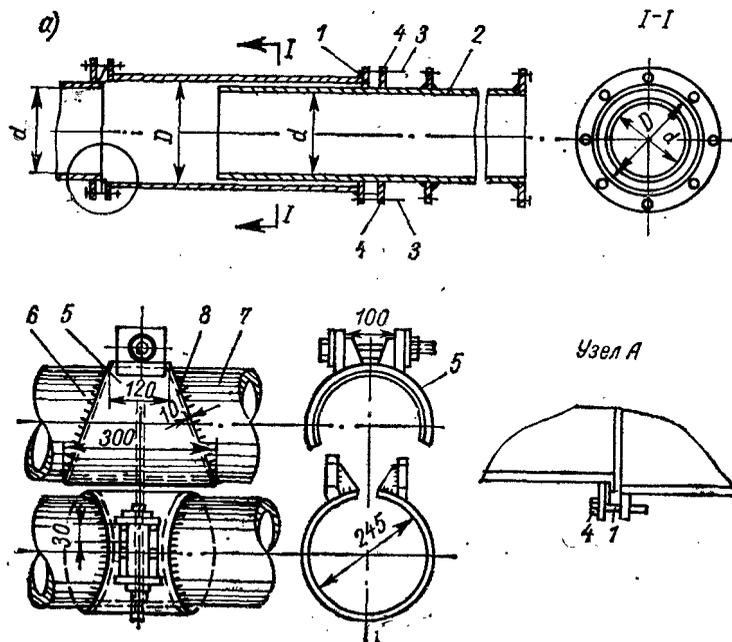
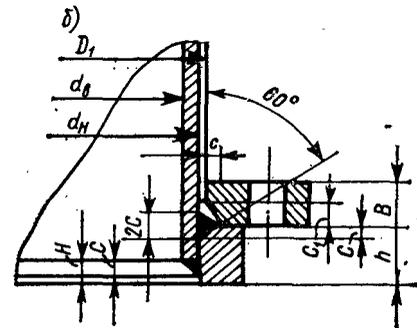


Рис. 21. Соединение подводных трубопроводов

а — компенсаторной муфтой;
 б — бугелем; 1 — сальниковая набивка; 2 — подвижная часть; 3 — натяжные болты; 4 — поворотный фланец; 5 — бугель; 6 — трубопровод; 7 — вставка; 8 — прокладка



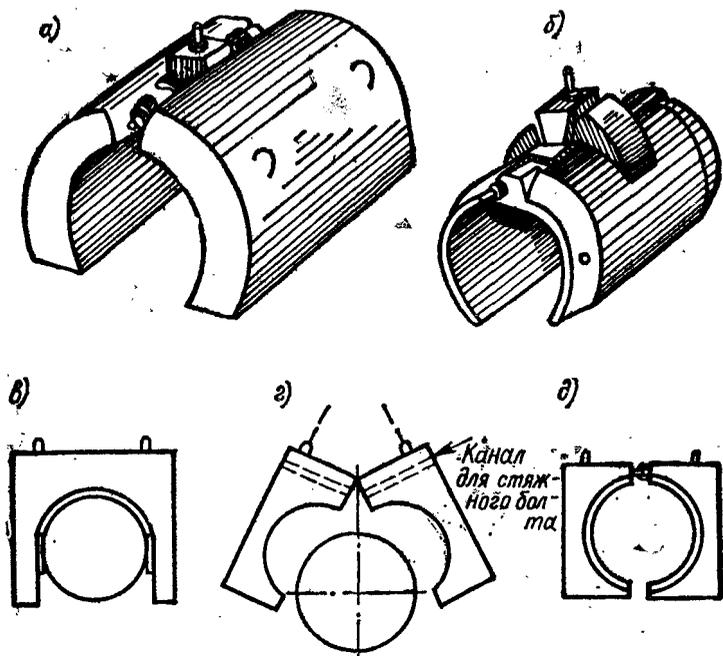


Рис. 22. Балластные грузы

а — железобетонный шарнирный; б — чугунный шарнирный; в — железобетонный седловидной формы; г — железобетонный разъемный; д — петлевой

различной: 1,5—5 и 0,3—6 мм); свинец (для трубопроводов, работающих при небольшом плавлении и невысоких температурах). Прокладочный материал обычно крепят к фланцам посредством тонкой проволоки с приваркой концов или привязыванием к приваренным крючкам. Прокладки из паронита приклеиваются (преимущественно горячей мастикой).

Компенсаторные муфты (рис. 21) предназначены для соединения под водой секций трубопровода. Длина между фланцами должна соответствовать расстоянию между секциями.

Для предупреждения всплытия самотечных трубопроводов и дюкеров применяется пригрузка одиночными грузами. Пользоваться пригрузкой в виде чугунных грузов экономически нецелесообразно. Более выгодно применять армированные бетонные грузы (рис. 22). К ним относятся полумуфты или седловидные грузы, которые ставятся на трубопровод без крепления, разъемные кольцевые грузы, укрепляемые стяжными болтами, шарнирные грузы.

Сплошное бетонное покрытие имеет еще одно преимущество: оно одновременно защищает трубопровод от механических повреждений и от коррозии. Весьма упругое покрытие обеспечивается при

нанесении смеси асфальтовой мастики, стекловолокна, песка и барита (удельный вес покрытия составляет 3,85 г/см³).

В практике подводно-технических работ получают распространение сплошные утяжеляющие покрытия (армированные рудонными сварными сетками или металлическими плетеными сетками, с толщиной бетона менее 12,5 мм, с тяжелым наполнителем — магнетитом, гематитом, сульфатом бария). Эти покрытия наносятся в заводских условиях.

Подводные трубопроводы крепятся металлическими анкерами. Анкеры завинчиваются в грунт на глубину не менее 60 см ниже возможной линии размыва. Крепление трубопроводов на грунте осуществляется при помощи свай с поперечинами или хомутами-седлами (см. рис. 15).

Испытание самотечного и низконапорного трубопроводов связано с определением давления, которому оно подвергается. Испытательное давление определяется по формуле

$$P_n = P_{pk},$$

где P_p — внутреннее рабочее давление, соответствующее наивысшему уровню воды в водоеме, в ати;

k — коэффициент, равный 1,27.

При давлении P_p до 3 ати следует испытательное давление P_n принимать не ниже 5 ати.

Во всех случаях при испытании трубопровода требуется проверить кольцевое напряжение в стенках. Для этого пользуются формулой

$$\frac{P_n D}{2\delta} \leq 0,85\sigma_T,$$

где D — диаметр трубопровода в см;

δ — толщина стенки трубопровода в см;

σ_T — предел текучести материала в трубопроводе в кс/см².

После испытания приступают к засыпке трубопровода с помощью землесосов или гидромониторов, смывающих грунт с бровок траншей. Для укрепления песчаной засыпки от размыва течением в некоторых случаях применяют мощение или наброску из камня, укладывают мешки с цементом и песком (при соотношении 1:4).

Ремонт подводных трубопроводов производится по определенной схеме на основании данных, полученных в результате водолазного обследования.

Руководящим документом служит проект. Он включает технические расчеты, рабочие чертежи, график работ, указания о требуемом комплекте оборудования.

Одним из способов обнаружения неисправностей трубопровода является гидравлическая опрессовка, позволяющая установить, соответствуют ли трубопровод и плотность его соединения требованиям проекта (если при гидроопрессовке давление в трубопроводе не поднимается, значит в нем имеется разрыв). Обследуются обычно участки трубопровода длиной 10—12 м в обе стороны от места повреждения, причем все это продельвается при надежном подводном освещении и тщательной подготовке к работам по восстановлению и ремонту трубопровода.

Ремонт напорных и самотечных трубопроводов производится различными способами, а именно: электросваркой поврежденных мест, производимой в подводных условиях, которой предшествует предварительная зачистка этих мест, подклинивание их стальными полосками или электродами; приваркой накладок (на поврежденные места трубопровода по контуру), постановкой с помощью компенсаторной муфты вставок на трубопроводах (собранных на фланцах) и с помощью сальниковых муфт (для сварных трубопроводов); применением специальных бугелей, обжимаемых болтами и привариваемых по контуру к наружной части соединяемых частей трубопровода: подводным бетонированием поврежденных мест с предварительной заделкой неплотностей клиньями и чеканкой свинцом (для самотечных трубопроводов).

Провисание трубопроводов над грунтом устраняется путем постановки ряжевых опор размером $3,5 \times 2$ м. Между трубопроводом и верхним ряжем ставят опорные брусья, скрепляемые с ряжем строительными скобами, или устраивают подводные опоры из бетона, камня и др.

Глава V

ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

§ 1. ОПУСКНЫЕ КОЛОДЦЫ

Опускные колодцы предназначены для устройства фундаментов сооружений и подземных ограждающих конструкций. Они представляют собой открытую сверху и снизу полую конструкцию любого в плане очертания (рис. 23). Как фундаменты опускные колодцы устраивают обычно на глубине больше 5 м и при условии, когда экономически нецелесообразно, а порой и технически невозможно вести работы в открытых котлованах. Они хорошо воспринимают горизонтальные нагрузки, расчетные сопротивления основания у них возрастают; это позволяет уменьшить размеры самих фундаментов. Устройство колодцев взамен фундаментов, сооружаемых в открытых котлованах, исключает необходимость в дорогостоящих и трудоемких работах по устройству и разборке шпунтовых ограждений.

На проектирование и сооружение фундаментов из опускных колодцев влияют многие факторы: существенные вертикальные и горизонтальные нагрузки; размыв дна у русла рек; большая глубина воды в местах сооружения фундаментов; необходимость, особенно в пределах акваторий, вести работы в течение круглого года; гидрологические и геологические условия в районе производства работ.

Современная техника фундаментостроения позволяет заглублять опускные колодцы в различные грунты. Наибольший эффект достигается, когда приходится иметь дело с несвязными грунтами, свободными от валунов и других препятствий. При поверхностном или глубинном водоотливе колодцы можно погружать в любые грунты, в том числе и в скальные породы.

Железобетонные монолитные колодцы бетонируют на месте их установки, а сборные собирают из отдельных элементов. Встречаются комбинированные колодцы, заполняемые бетоном или гравием на месте. Колодцы погружаются с поверхности грунта или с искусственных островков или непосредственно с поверхности воды с использованием стационарных или плавучих подмостей (рис. 24).

Нож со стальной окантовкой режущей части облегчает вдавливание нижней части колодца в грунт и способствует удалению его из полости колодца. Лучшей считается клиновья форма ножа, облегчающая врезание колодца в грунт. Чаше всего эту форму принимают, когда необходимо прорезать значительную по толщине прослойку плотных грунтов. Ножи применяются для колодцев, служащих в качестве опускных сооружений или фундаментов. Верхний уступ на стенке колодца препятствует резким просадкам последнего в прослойку слабых грунтов, удерживает опалубку ножа и исполь-

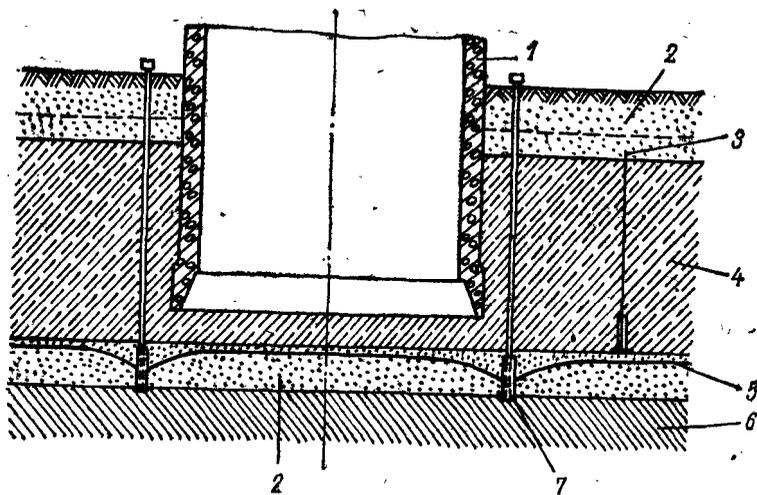


Рис. 23. Схема уменьшения напора грунтовых вод при опускании колодца
1—колодец; 2—песок; 3—уровень напорных вод; 4—суглинок; 5—уровень вод после понижения; 6—глина; 7—глубинные насосы

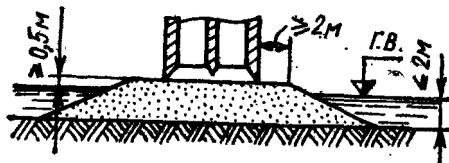


Рис. 24. Островок с ограждением, не воспринимающим давление грунта

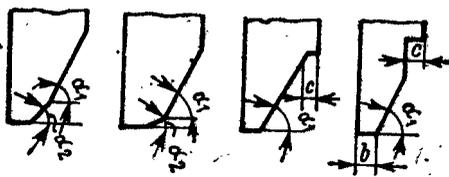


Рис. 25. Схемы поперечного сечения ножа опускных колодцев

зуется как упор дна колодца. Угол наклона внутренней поверхности ножа к горизонтали α_1 принимается равным 70° для плотных грунтов, 45° — для грунтов средней плотности; 30° — для слабых грунтов. Диапазон угла наклона α_2 от 0 до 45° (рис. 25). Обычно применяют ножи стальные, сварной конструкции (для железобетонных колодцев), с легкой металлической окантовкой или без нее (для бетонных колодцев, погружаемых с поверхности грунта или с искусственных островков).

При заглублении ножа в слой водоупорного грунта, под которым залегают водонасыщенные грунты с напорными водами, заблаговременно (до разработки грунта) насухо проверяют прочность водопроницаемого пласта на прорыв таких вод (рис. 24). Должно быть выдержано условие

$$G > H,$$

где G — вес столба грунта высотой от кровли напорного грунта до наименьшей отметки дна котлована в г;

H — напор грунтовых вод в м.

При грунтовых водах, залегающих на 3—5 м ниже поверхности грунта, площадку для устройства опускного колодца оборудуют на дне котлована. Она должна возвышаться на 0,5—1 м над горизонтом воды. При слабых грунтах на предварительно спланированную площадку отсыпают песчаную подушку. Ее назначение — обеспечить более равномерное распределение давления колодца, облегчить удаление в последующем лежней и подкладок из-под ножа колодца. Толщина подушки зависит от расчетного сопротивления грунта R_0 возникающего на его поверхности:

R_0 , кс/см ²	1,2	1,4	1,6	1,8
Толщина подушки в м	0,6	0,5	0,4	0,3

Искусственный островок без ограждения ограничен сбоку откосами, а сверху площадкой, где производятся все работы. Ширина бермы вокруг колодца не должна быть меньше 2 м, а островок должен возвышаться над водой на 0,5 м с учетом ветровой волны. Островок формируется обычно из песчаных или гравийных грунтов с откосами крутизной от 2:1 до 5:1. На окончательный выбор крутизны откоса влияют многие факторы: физико-механические свойства грунта, используемого для отсыпки, скорость течения воды и способ укладки грунта. Откосы не укрепляют, если скорости течения воды не превышают следующих значений:

Скорость течения
в м/сек

Для островков, отсыпанных из песка:	
мелкого	0,3
крупного	0,3
Для островков, отсыпанных из гравия:	
среднего	1,2
мелкого	1,5

Когда работы ведутся на больших водоемах и опасность размыва островка волнами возрастает, верхнюю часть откосов на 10—30 см ниже горизонта воды прикрывают фашинными тюфяками или мешками с песком.

Островок с ограждением, не воспринимающим давление отсыпки, защищают обычно деревянной щитовой стенкой. Если ожидается подъем воды, а также в случаях малых скоростей течения, вместо замкнутого ограждения ставят стенки только с напорной стороны. Ограждения не ставят, если скорость течения не превышает 0,6 м/сек для островка, сложенного из мелкого песка, и 1 м/сек — для островка, сформированного из крупного песка. Защитная стенка делается из дощатого шпунта, забиваемого ниже возможной глубины размыва, или из щитов, закрепленных с помощью свай.

Стенки ограждения должны противостоять скоростному напору воды

$$P = \frac{V^2}{19,62},$$

где P — расчетный напор на стенку в $тс/м^2$;

V — средняя скорость течения воды в $м/сек$.

При большой крутизне откосов устройство островков требует меньших трудовых затрат. Недостатком является значительное стеснение живого сечения русла реки. Этим объясняется недостаточно широкое применение в практике подводно-технических работ островков такого типа, чаще устраивают полуостровки, располагаемые вблизи берега при глубине воды менее 3 м.

Часто искусственные островки делают воспринимающими давление засыпки: при этом сокращается объем засыпки, а живое сечение водотока стесняется в малой степени. Ограждение таких островков может быть щитовым, шпунтовым и сборным (из готовых металлических цилиндров).

Щитовое ограждение, воспринимающее давление засыпки грунта, защищает островок, отсыпанный вплотную к щитам. Размер такого островка в плане должен полностью исключать влияние веса опускного колодца на боковое давление грунта. В этой связи ширина бермы принимается

$$a = H \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Шпунтовое ограждение наиболее широко применяется для образования искусственных островков, так как обеспечивает, особенно при глубине 3 м и более, надежную защиту от подмыва; при этом снижается объем работ, а русло водотока стесняется в незначительной степени. Расстояние (в плане) от шпунта до колодца принимается не менее 1,5 м. Глубина забивки шпунта должна быть такой, чтобы предотвратить выдавливание грунта из-под низа шпунта (рис. 26). При слабых связных грунтах мягкопластичной и текучей консистенции глубину забивки h определяют, учитывая возможность выпирания грунта из-под ограждения:

$$h \geq \frac{1,5q}{\gamma \left[2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right]},$$

где q — давление от веса засыпки и колодца на уровне дна реки в $тс/м^2$;

γ — объемный вес в $т/м^3$;

φ — угол внутреннего трения грунта дна реки в град.

Максимальное растягивающее усилие в шпунтовом ограждении в уровне дна реки определяется по формуле

$$N = \frac{D}{2} \left(\gamma H + \frac{40Q}{\pi D^2} \right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

где D — диаметр ограждения в м;

Q — вес первой секции колодца в т;

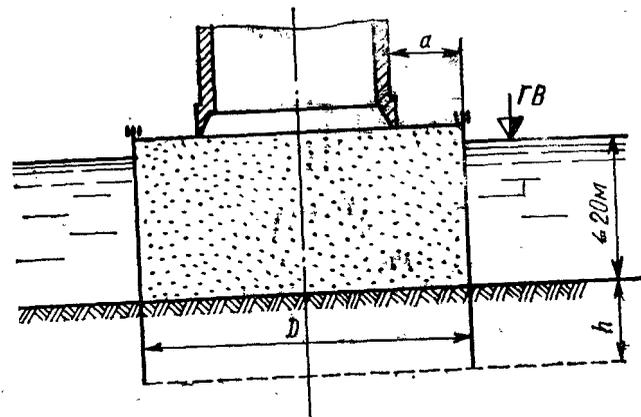


Рис. 26. Островок в ограждении из стального шпунта

Величина разрывного усилия для плоского шпунта типа ШП не должна превышать расчетного сопротивления замков на разрыв (ориентировочно 100 $тс/м$).

Если приток грунтовой воды не превышает 1 $м^3/ч$ на 1 $м^2$ площади котлована и характер грунтов исключает возможность наплыва их из-под ножа, применяется открытый водоотлив. Приток на 1 м дна котлована при преодолении заиленных песков составляет 0,01—0,1, мелких песков — 0,1—0,16, средних — 0,15—0,24, крупных — 0,3—3,0 $м^3/ч$.

При подборе насосов расчетную (требуемую) производительность принимают с коэффициентом запаса 1,5—2. Для предотвращения затопления котлована во время производства работ наготове держат один-два резервных насоса.

Коэффициент фильтрации k_f имеет следующие значения: для крупного песка — 30 ÷ 40 и более, для неоднородного среднего — 30 ÷ 20, для мелкого однородного — 20 ÷ 10, для пылеватого — 10 ÷ 5, для супеси — 5 $м/сутки$ и менее.

Для понижения грунтовых вод применяются водоотливные средства — глубинные насосы или эжекторные иглофильтры, о количестве и типе которых можно судить по табл. 47.

Опускание колодцев-оболочек диаметром 3—6 м с помощью вибропогружателей позволяет заглублять в грунты полые оболочки, вес которых в 2—10 раз больше веса используемых для этой цели механизмов. Величина возмущающей силы вибропогружателя должна в 2—3 раза превышать вес погружаемого элемента (на 1 т возмущающей силы требуется израсходовать 1—1,5 $квт$ мощности электродвигателя). Если на 1 т оболочки приходится 3—5 $квт$ мощности мотора вибратора, то погружение пройдет успешно. Из сказанного следует, что наибольший эффект достигается при использовании вибропогружателей для заглубления в грунт облегченных конструкций — тонкостенных железобетонных оболочек и колодцев-оболочек.

Опускание колодцев с поверхности воды практикуется, когда нецелесообразно с экономической точки зрения эту операцию

Таблица 47

Площадь колодца в м ²	Периметр установки в м	Коэффициент фильтрации в м/сутки	Приток воды в м ³ /ч	Глубинные насосы		Количество эжекторных иглофильтров		Расход воды для эжекторов в м ³ /сек		
				АТН-8 или 8АП	АТН-10	ЭИ-2,5	ЭИ-4	ЭИ-2,5	ЭИ-4	ЭИ-4а
Понижение уровня грунтовых вод H=10 м										
80	50	1	20	—	—	16	—	73	1,3	4,0
		5	95	3	—	—	10	73	1,3	4,0
		10	182	6	—	—	13	73	1,3	4,0
		20	336	—	5	—	—	—	—	—
		50	620	—	9	—	—	—	—	—
300	80	1	24	—	—	26	—	73	1,3	4,0
		5	111	4	—	—	15	73	1,3	4,0
		10	218	7	—	—	15	73	1,3	4,0
		20	400	—	6	—	—	—	—	—
		50	750	—	11	—	—	—	—	—
1250	140	1	22	—	—	47	—	73	1,3	4,0
		5	138	5	—	—	21	73	1,3	4,0
		10	265	9	—	—	21	73	1,3	4,0
		20	480	—	7	—	—	—	—	—
		50	900	—	13	—	—	—	—	—
Понижение уровня грунтовых вод H=15 м										
80	50	1	30	—	—	16	—	93	1,5	4,5
		5	142	5	—	—	13	93	1,5	4,5
		10	273	9	—	—	—	—	—	—
		20	505	—	7	—	—	—	—	—
		50	930	—	13	—	—	—	—	—

300	80	1	35	—	—	26	—	93	1,5	4,5
		5	166	6	—	—	19	93	1,5	4,5
		10	325	11	—	—	23	93	1,5	4,5
		20	600	—	9	—	—	—	—	—
		50	1120	—	17	—	—	—	—	—
1250	140	1	42	—	—	47	—	93	1,5	4,5
		5	206	7	—	—	28	93	1,5	4,5
		10	397	13	—	—	28	93	1,5	4,5
		20	720	—	11	—	—	—	—	—
		50	1350	—	20	—	—	—	—	—

Понижение уровня грунтовых вод H=20 м

80	50	1	40	—	—	—	16	114	5,0	1,7
		5	190	6	—	—	—	114	5,0	1,7
		10	364	12	—	—	—	—	—	—
		20	673	—	10	—	—	—	—	—
		50	1240	—	18	—	—	—	—	—
300	80	1	47	—	—	—	26	114	5,0	1,7
		5	222	7	—	—	23	114	5,0	1,7
		10	436	—	7	—	—	—	—	—
		20	800	—	12	—	—	—	—	—
		50	1500	—	23	—	—	—	—	—
1250	140	1	56	—	—	—	47	114	5,0	1,7
		5	275	9	—	—	34	114	5,0	1,7
		10	530	—	8	—	—	—	—	—
		20	960	—	14	—	—	—	—	—
		50	1800	—	26	—	—	—	—	—

производить с искусственных островков. В этом случае используют стандартные подмости, которые служат и для спуска на воду наплавных колодцев.

Колодцы, установленные на дно с подмостей, наращивают и заглубляют теми же способами, что и при сооружении и опускании колодцев с поверхности грунта или с искусственных островков. Опускание колодцев с подмостей (стационарных или плавучих) имеет свои особенности. Нижнюю секцию колодцев готовят на сборно-разборном настиле на самих подмостях или поблизости (на берегу) с доставкой к месту опускания на плаву. Секцию подвешивают к подмостям с помощью приспособлений, которые позволяют нарастить колодец и постепенно опустить его на дно.

После того, как колодец занял устойчивое положение, дальнейшее его погружение производят в соответствии с технологией, принятой при опускании колодцев с поверхности грунта. Подмости целесообразно применять для сооружения и опускания колодцев весом до 1 тыс. т.

Плавучие подмости — это баржи или плашкоуты. Экономическая эффективность их применения возрастает, если в качестве несущих элементов используются инвентарные конструкции, включая плашкоуты из закрытых понтонов. Плашкоуты должны иметь прямоугольное очертание в плане. Баржи для плавучих подмостей могут использоваться как сухогрузные, так и наливного типа. На палубе целесообразно оборудовать продольные и поперечные переборы.

На свободной воде плавучие подмости рекомендуется перемещать буксирами, а при небольших расстояниях транспортировки — с помощью электролебедок.

Мощность буксиров N_6 , используемых для перемещения плавучих подмостей, можно оценивать по формуле

$$N_6 = \frac{W_1 + N_в + N_и}{\rho}$$

где W_1 — давление ветра интенсивностью 12,5 кгс/м² на надводную часть подмостей и колодца в кгс;

$N_в$ — максимальное давление воды на подводную часть плашкоутов и колодца в кгс;

$N_и$ — усилие, необходимое для преодоления инерции плавучей системы при начале движения, в кгс;

ρ — удельная сила тяги буксира, принимаемая равной 10—15 кгс/л. с.

Усилие $N_и$ определяют по формуле

$$N_и = \frac{\sum QV}{9,81t}$$

где $\sum Q$ — расчетный вес плавучей системы в кг;

V — начальная скорость перемещения плавучей системы, принимаемая равной 3,5—5 км/ч;

t — время для достижения указанной скорости, принимаемое равным 3—5 мин.

До установки плавучих подмостей над местом опусканий колодца все якоря испытываются на нагрузку, превышающую расчетную на 30%.

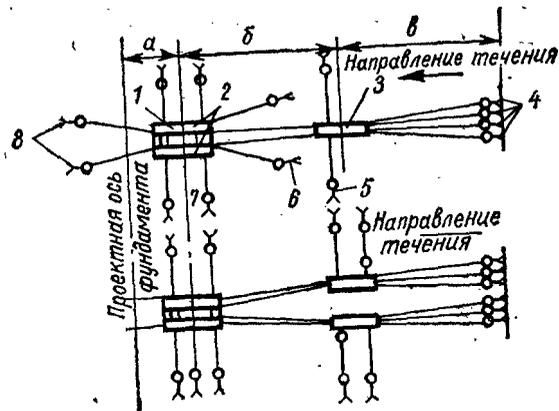


Рис. 27. Плавучие системы

1 — наплавной колодец; 2 — плавучие подмости; 3 — якорь-ницца; 4 — станковые якоря; 5 — пеленажные якоря подмостей; 6 — станковые якоря подмостей; 7 — пеленажные якоря подмостей; 8 — низовые якоря

Наплавные колодцы сооружают при гидротехническом строительстве. При посадке на дно реки наибольший эффект достигается, если нож ниже уровня дна колодца. В этом случае заглубленный в грунт нож в момент удаления днища придает колодцу соответствующее направление. Если днище находится на уровне ножа, то могут возникнуть перекосы колодца. После спуска колодца на воду, доставки его на плаву к месту опускания и закрепления в проектном положении понтоны заполняют водой до тех пор, пока колодец не опустится на дно.

В начальный период заглубления наплавных колодцев в грунт на точность их погружения неблагоприятно могут влиять неровности дна, одностороннее давление текущей воды, давление грунта. Избежать этого можно, если при подходе ножа к грунту тщательно проследить за размерами и характером размыва дна. Образующиеся выемки, если они способны вызвать перекосы колодца, следует засыпать камнем.

Правильный выбор технологической схемы производства работ по опусканию наплавных колодцев зависит от учета многих факторов: скорости течения воды и глубины водоема, неровности дна, ветровых нагрузок, возможных навалов плавучих средств, необходимости наращивания стен и др.

Плавучие подмости, закрепленные за одну или две якорницы, обычно используются для установки наплавных колодцев. Предпочтение отдают подмостям с одной якорницей (рис. 27). Крепление к двум якорницам практикуют при установке больших колодцев и значительной скорости течения воды. В первом случае (одна якорница) длину троса принимают с некоторым запасом — 20 ÷ 50 м, во втором — 100—150 м. Тросы в этом случае могут погасить случайные удары от навала судов по направляющим подмостям.

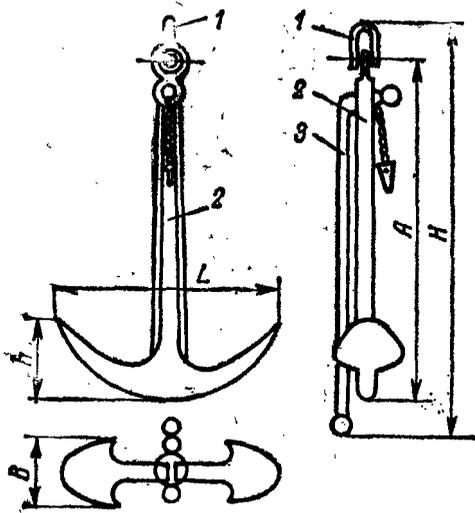


Рис. 28. Якорь адмиралтейский

1—якорная скоба; 2—веретено с лапами;
3—шток

Для закрепления плавучей системы (подмостей) рационально применять адмиралтейские якоря (рис. 28). Если их нет в наличии, то используют железобетонные якоря-присосы (рис. 29), которые под действием сдвигающего усилия врезаются в грунт и одновременно присасываются к нему основанием. Усилия, воспринимаемые адмиралтейскими якорями, считают в 5—6 раз превышающими вес при песчаных, в 8—12 раз при глинистых грунтах, а усилия, воспринимаемые железобетонными якорями-присосами, в 2—5 раз (но более 70% испытательной нагрузки, вызывающей сдвиг якоря). Запасы прочности принимают:

4—6-кратный — для тросов, удерживающих колодец или якорницу, 2,2—3-кратный — для тросов пеленажных якорей, 1,5—2-кратный — для цепей.

Остойчивость наплавных колодцев выражается в самостоятельном уравновешивании действий различных кренящих моментов, включая давление ветра на возвышающуюся над водой боковую поверхность, давление, возникающее при натяжении буксирного троса, воды и пр., в способности противостоять опрокидыванию в момент транспортирования и погружения колодца.

Рассмотрим схемы (рис. 30) действия различных сил на колодец в вертикальном и наклонном положениях. На рисунках даны следующие обозначения:

- G_k — полный вес колодца, включая вес днища, в т;
- ц. т. — центр тяжести плавящего колодца;
- ц. в. — центр тяжести вытесненного колодцем объема воды (центр величины);
- a — расстояние между центром тяжести и центром величины в м;
- V — объем вытесненной колодцем воды в m^3 ;
- γ — удельный вес воды в t/m^3 ;
- D — равнодействующая давления воды на колодец в тс;

$$D = \gamma V;$$

- M — кренящий момент относительно центра величины в тс·м;
- ψ — угол крена колодца в град.
- F — площадь колодца по ватерлинии в m^2 ;
- J — момент инерции площади колодца в уровне ватерлинии относительно оси наклона колодца в cm^4 .

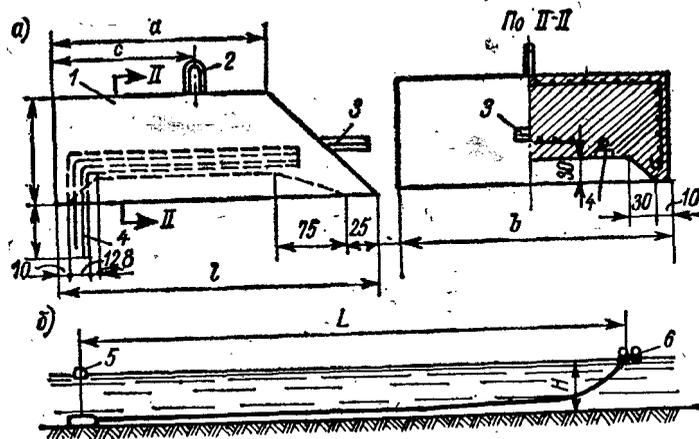


Рис. 29. Железобетонный якорь-присос

а—конструкция; б—схема установки на дне реки;
1—тело якоря; 2—подъемная скоба; 3—рым; 4—шпора; 5—буй;
6—бакен

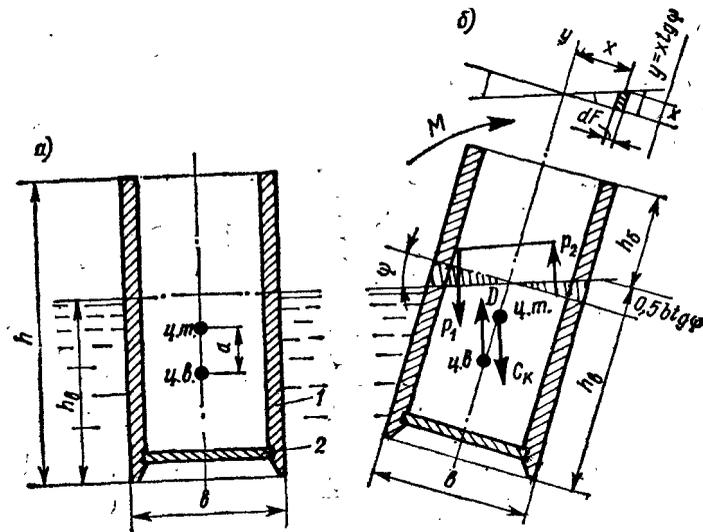


Рис. 30. Схема наплавного колодца с временным днищем
а—в вертикальном положении; б—в наклонном положении
1—колодец; 2—временное днище

В зависимости от размеров колодца, толщины стен и возвышения их над уровнем воды центр тяжести может совпадать с центром величины либо располагаться выше или ниже последнего.

В данном случае центр тяжести располагается выше центра величины. При крене такого колодца на небольшой угол ψ под действием момента M можно считать, что силы G_k и D будут располагаться в прежних точках приложения. В этом случае кренящему моменту M будет противодействовать восстанавливающий момент M_1 пары сил P_1 и P_2 , а момент M_2 пары сил G_k и D будет действовать в направлении момента M . При этом $P_1 = P_2$; $G_k = D$.

Момент пары сил M_1 создается весом P_1 левого заштрихованного клина, возвышающегося над водой, и давлением воды P_2 в пределах правого клина, заглубленного в воду. Для определения величины момента M_1 рассмотрим уравнение

$$M_1 = - \int_0^F \gamma y dF x = - \int_0^F \gamma x \operatorname{tg} \psi dF x = - \gamma \operatorname{tg} \psi \int_0^F x^2 dF = - \operatorname{tg} \psi J.$$

Величину момента M_2 пары сил G_k и D определяют из уравнения

$$M_2 = Da \sin \psi = \gamma Va \sin \psi = \gamma Va \operatorname{tg} \psi.$$

Поскольку колодец находится в состоянии равновесия, то

$$M + M_1 + M_2 = 0.$$

Подставив найденные значения M_1 и M_2 , получим

$$M - \gamma \operatorname{tg} \psi J + \gamma Va \operatorname{tg} \psi = 0.$$

После преобразования будем иметь

$$M = \gamma \operatorname{tg} \psi (J - aV),$$

откуда

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{M}{\gamma V \left(\frac{J}{V} - a \right)} \approx \frac{M}{\gamma V \cdot (\rho - a)},$$

где $\rho = \frac{J}{V}$ — метacentрический радиус.

Точка, расположенная выше центра величины на расстоянии ρ от него, называется метacentром. Величина $\rho - a$, представляющая расстояние между центром тяжести и метacentром, называется метacentрической высотой.

Необходимым условием остойчивости колодца будет $\rho - a > 0$. Если $\rho - a = 0$, то даже небольшой кренящий момент M может вызвать опрокидывание колодца. При $\rho - a < 0$ равновесие является неустойчивым.

Полученные условия остойчивости справедливы для наплавных колодцев разных типов, в том числе колодцев, плавучесть которых обеспечивается за счет устройства водонепроницаемой обшивки стен или использования понтонов закрытой конструкции. Применительно к этим двум случаям восстанавливающий момент создается за счет пары сил P_1 и P_2 , действующих в пределах заштрихованных трапеций.

Во избежание перелива воды через верх водонепроницаемой обшивки накренившегося колодца необходимо, чтобы высота сухого борта

$$h_0 = h - h_B - 0,5b \operatorname{tg} \psi$$

была не меньше 1 м при максимальной величине крена. Учитывая, что колодец накренился под действием динамических нагрузок, от порыва ветра, возможных рывков буксирного троса и т. п., а расчеты производят применительно к статическому действию, при вычислении величины сухого борта значение $0,5b \operatorname{tg} \psi$ следует удвоить, т. е. пользоваться формулой

$$h_0 = h - h_B - b \operatorname{tg} \psi.$$

Проверка колодца на всплытие — необходимое условие, обеспечивающее успешное выполнение работ. После опускания колодца до проектной отметки и устройства подушки в осушенной полости не исключено, что колодец под действием грунтовых вод всплывает. Поэтому требуется определить, реальна ли такая опасность. Проверку осуществляют, пользуясь формулой

$$\frac{G_k + 0,5T}{h_B \gamma_B F_k} \geq 1,25,$$

где G_k — вес колодца с подушкой в т;

T — трение грунта о боковую поверхность колодца в тс;

h_B — расстояние от низа подушки до уровня грунтовых (поверхностных) вод в м;

γ_B — удельный вес воды, равный 1 кг/см^3 ;

F_k — площадь колодца по наружной кромке ножа в м^2 .

Для опускания колодца требуется, чтобы его вес был достаточным для преодоления силы трения грунта о стены. В этих целях вес колодца специально увеличивают путем утолщения стен до величины большей, чем требуется по расчету их прочности. Вес опускаемого колодца G_k должен превышать силы трения грунта на 15—25%. Для практических целей принимают $\frac{G_k}{T} > 1,15$. Такое соотношение

часто называют коэффициентом опускания колодца. При подводной разработке грунта вес колодца рассчитывают с учетом взвешивания его в воде. Силу трения T для каждого слоя вычисляют в пределах глубины опускания колодца.

§ 2. МАССИВЫ-ГИГАНТЫ

Массивы-гиганты представляют собой огромные железобетонные ящики (рис. 31). Они доставляются на плаву и после установки (затопления) на место заполняются бетоном, песком, гравием, а иногда и камнем. Размеры и форма массивов-гигантов должны быть такими, чтобы гарантировать устойчивость сооружения при выбранной конструкции постели, очертании дна перед стенкой и принятом профиле верхнего строения.

Массив-гигант может иметь различную форму поперечного сечения: прямоугольную с выступами у дна и без выступов, трапециевидную (данная форма мало применима на практике ввиду

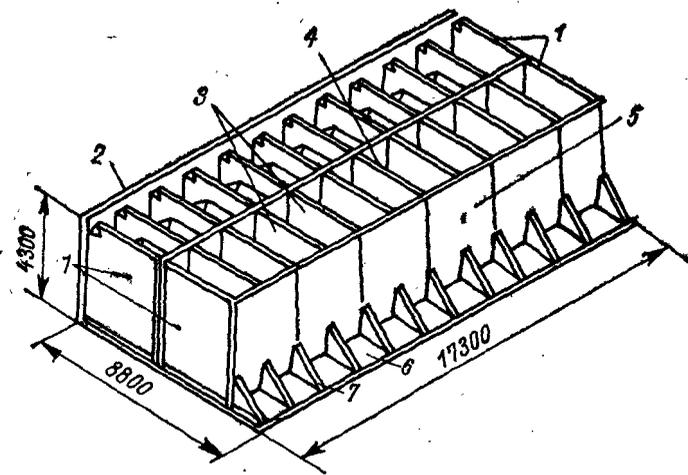


Рис. 31. Массив-гигант

1—торцевые стенки; 2—лицевая стенка; 3—диафрагма; 4—средняя стенка; 5—задняя стенка; 6—плита днища; 7—контрфорс консоли днища

сложности ее выполнения в натуре). Для устойчивости стенки на сдвиг ее делают прямоугольной формы без консолей.

Расчеты, связанные с транспортировкой и спуском массивов-гигантов, предусматривают:

проверку прочности массива-гиганта при его изготовлении, опирании на домкраты, установке на салазки, спуске, буксировке, погрузке и заполнении материалами, предусмотренными проектом; определение тяговых усилий, необходимых для перемещения массива-гиганта по стапельной площадке и спуска по наклонному стапелю;

определение тяговых усилий для буксировки массива-гиганта по воде;

проверку плавучести и остойчивости массива-гиганта на воде. Тяговое усилие (в т) при перемещении массива-гиганта по стапельной площадке на тележках рассчитывается по формуле

$$P_T = \frac{(G + G_T)(f_2 + \mu r)}{R} k,$$

где G — вес массива-гиганта в т;
 G_T — вес тележек в т;
 $f_2 = 0,005$ — коэффициент трения качения колес тележки по рельсам;
 $\mu = 0,3$ — коэффициент трения скольжения осей катков тележек в подшипниках;
 r — радиус осей катков тележки в м;
 R — радиус катков тележки в м;
 $k = 1,5$ — коэффициент, учитывающий трение реборд колес тележки.

Тяговое усилие при перемещении массива-гиганта по стапельной площадке на салазках может быть определено по формуле

$$P_c = (G + G_c) f_1,$$

G_c — вес салазок в т;

f_1 — коэффициент трения скольжения полозьев салазок по путям, зависящий от рода смазки; при смазке салом с тавотом $f_1 = 0,15$, мылом или тавотом — $f_1 = 0,2 \div 0,25$.

Мощность двигателей (в кВт) для перемещения массива-гиганта по стапельной площадке может быть определена по формуле

$$W = \frac{10 PV}{\eta_0},$$

где $V = 0,01 - 0,2$ м/сек — скорость перемещения массива-гиганта;
 $\eta_0 = 0,5$ — общий к. п. д. всех передач тяговых устройств.

Величина усилия, необходимого для спуска массива-гиганта, определяется из принятой схемы спускового устройства.

Осадка массива-гиганта на плаву T находится из условия равенства его веса G (включая сыпучий или водяной балласт в отсеках, если он имеется) и весового водоизмещения γV , т. е. веса вытесненного объема воды.

Поперечная остойчивость плавающего массива-гиганта характеризуется величиной метацентрической высоты

$$m = \rho - a,$$

где ρ — метацентрический радиус в м;

$$\rho = \frac{J_B - \sum J_0}{V},$$

J_B — момент инерции ватерлинии относительно ее диагональной оси в м⁴;

$$J_B = \frac{Lb^3}{12};$$

L — длина массива-гиганта в м;

b — его ширина по ватерлинии в м;

J_0 — момент инерции зеркала воды в отсеке относительно его продольной центральной оси в м⁴; определяется по формуле $\frac{Lb^3}{12}$, если в ней под L и b понимать длину и ширину

отсека в свету;

V — объемное водоизмещение массива-гиганта (с балластом, если он есть) в м³;

a — расстояние между центром тяжести и центром величины, т. е. центром тяжести погруженного объема массива-гиганта, в м.

Центр тяжести и центр величины спокойно плавающего тела располагаются на одной вертикали. Определение положений центра тяжести и центра величины производится обычными приемами статики в табличной форме. Длину массивов-гигантов следует

принимать в пределах 15—20 м. Ширина и высота устанавливаются расчетным путем; при этом длина массива-гиганта должна превосходить его ширину и высоту не более чем в 3 раза. Он делится продольными и поперечными переборками на отсеки размером вдоль до 3 м и поперек — до 3—5 м.

§ 3. ПОСТРОЙКА СЛИПОВ И ЭЛЛИНГОВ

Подводные части слипов и эллингов бывают, как правило, железобетонные. Слипы балочного типа устраивают на опорах из железобетонных пустотелых массивов, свай или оболочек, омоноличиваемых подводным бетоном. Широко распространены слипы и эллинги на балластно-шпальном основании.

Известно, что наклонная часть слипов и эллингов состоит из двух элементов — надводного и подводного. Работы по устройству этих сооружений разделяются на два этапа — выполняемые в надводных и подводных условиях. Надводные части наклонных путей строят обычными способами, принятыми в строительстве, а подводные требуют устройства защитных перемычек. Они могут сооружаться и без перемычек, но тогда обязательно с участием водолазов.

При укладке подводной части подъемно-спускового устройства на балластно-шпальном основании все пути подводной части собираются на общей металлической раме. Допускается монтаж с использованием рам под каждый путь отдельно. Работа производится в следующей последовательности: сначала ставятся маяки (направляющие) рейки по осям дорожек наклонной части слипа, затем производятся дноуглубительные работы, следом за ними подготавливают направляющие, а потом подсыпают выравнивающий слой песка с грубым разравниванием и отсыпают щебеночные балластные основания при весьма тщательном разравнивании.

После разработки дноуглубительным снарядом поверхность дна становится неровной (с уступами). Для того чтобы ее выровнять, делают песчаную подсыпку, что связано с трудностями, так как в подводных условиях сложно выполнить эту операцию с точностью до 10 см, с обеспечением надлежащей плотности уложенного песка. Контроль за точностью песчаной подсыпки осуществляется путем устройства для каждой дорожки специальных направляющих, по которым водолаз устанавливает отклонения. Направляющие представляют собой два ряда деревянных свай, забиваемых по обе стороны дорожек, к которым прибивают наклонно доски толщиной 50 мм с таким расчетом, чтобы их верх совпадал с проектными отметками отсыпаемого грунта.

Балластные призмы под водой в процессе подсыпки уплотняются с помощью шпалоподобников и площадочных вибраторов, приспособленных для подводных условий. Наилучшие результаты дает укладка балласта слоями толщиной 20—25 см.

Сборка подводных путей на металлической раме должна по мере возможности производиться на берегу, лучше на законченной надводной части подъемно-спускового устройства.

Спуск рамы — наиболее сложный и ответственный этап строительства слипа. После обследования и предварительной нивелировки головок рельсов, устранения неправильного положения рамы присту-

пают к рихтовке и обкатке наклонной части подъемно-спускового устройства, используя для этих целей постоянные косяковые тележки слипа, заранее оснастив их нивелировочными рейками и загрузив балластом.

После четырех-шести проходов приступают к контрольному нивелированию головок рельсов, одновременно вывешивая отдельные участки пути по нивелиру, с тем чтобы они соответствовали проектному положению. Обкатка пути считается законченной, если трехкратная повторная прокатка нагруженной тележки не вызывает дополнительных остаточных просядок более чем на 1 мм.

При укладке путей подъемно-спускового устройства на балластно-шпальном основании возможны следующие отклонения:

1. Местные повышения головок рельсов обеих ниток пути допускаются до ± 40 мм при условии плавного разгона рельсов по длине с уклоном не более 1 : 500.

2. Расстояние между внутренними краями головок рельсов не должно превышать +3 мм; сужение колеи не допускается.

3. Превышение головки одного рельса над головкой парного с ним рельса в любом поперечном сечении должно быть не больше 7 мм.

4. Изменение фактического уклона одного или нескольких подъемных путей по отношению к уклону плоскости остальных путей допускается $\pm 0,001$ (1 мм на 1 м).

5. Превышение головок рельсов одного или нескольких подъемных путей на всей длине, включая и подводную часть, по отношению к остальным допускается до ± 50 мм.

6. Изменение фактического уклона плоскости подъемных путей по всей их длине по отношению к заданному проектом допускается в пределах $\pm 0,002$ (2 мм на 1 м).

Построенный слип подлежит сдаче специальной комиссии, которой, кроме проекта и рабочих чертежей, предъявляются акты на скрытые работы по водолазному обследованию основания перед отсыпкой балласта, фактические поперечные профили поверхности балластной призмы, акт на засыпку шпал и их торцов, акт на уложенные под водой рельсовые пути, журналы нивелирования головок рельсов после окончательной подбивки и обкатки подводных путей, продольные и поперечные профили положения головок рельсов, а также акт грузовой обкатки.

§ 4. УКЛАДКА КАБЕЛЕЙ

Подводные кабели со свинцовой оболочкой более толстой, чем у кабелей, прокладываемых по суше, укладывают путем заглубления в грунт для защиты от случайных повреждений.

Для подводной связи используются многоканальные кабели (12, 24, 60 каналов) с медным проводником диаметром 5/18 мм, полиэтиленовой изоляцией, внешней броней, изготовленной из стальной проволоки; указанной характеристике соответствуют марки кабеля КПК и КПЭК.

Подводные электрические кабели в морях, реках и озерах укладывают в свинцовых оболочках с наружным покровом из круглых оцинкованных проволок следующих марок: ЦСК, ЦАСК, СК, АСК, ОСВ, СКВ и др.

В местах, подверженных размыву, на реках с сильным течением, а также на берегу морей в зоне прибоя применяют кабель с двойной броней. Под водой укладывают кабели по возможности одной строительной длины: силовые — 200 м, телефонные — 250 м. Укладку осуществляют преимущественно на прямых, глубоких и устойчивых участках водных преград, где дно и берега в малой степени подвержены размыву.

Перед тем, как начать прокладку кабелей, производят водолазное тщательное обследование дна водоема через каждые 5—10 м, измеряют глубины. Это позволяет определить пригодность участка для прокладки кабеля, выбрать длину последнего. Причем перед прокладкой кабели испытывают на специальных барабанах: электрические — методом кинотрирования, кабели связи — прозваниванием с целью выявления целостности и нагнетанием воздуха до 3 атм в запаянную с обоих концов свинцовую оболочку с целью проверки на герметичность.

Кабели прокладывают при температуре +5°С. Если температура ниже, то кабели необходимо прогреть в теплом помещении (теплицах). Для прогрева можно воспользоваться токами высокой частоты.

При укладке кабелей необходимо соблюдать следующие правила:

	Минимальная величина* заглубления в м
Заглубление кабеля в дно судоходных сплавных и несудоходных рек глубиной до 8 м	1,0
Глубина прокладки подводного кабеля в береговой части (до места стыка с подземным)	1,0
Расстояние от уреза воды до стыка подводного кабеля с подземным	30,0
Номинальное расстояние между кабелями основного и резервного створов на судоходных и сплавных реках	300,0

* Величина заглубления может меняться в зависимости от гидрогеологических условий, места перехода.

при пересечении водных преград значительной ширины кабели (строительная длина) соединяют при помощи муфт, приспособленных для восприятия растягивающих усилий, возникающих при опускании кабелей на дно;

кроме основной нитки, через водную преграду ведут и резервную нитку;

в целях предупреждения растягивающих усилий, вызываемых размывом дна, и обеспечения подъема кабеля на случай ремонта, укладка в русле реки осуществляется со слабиной (изгибом по длине, змейкой); в этом случае длина кабеля принимается на 10—15% больше ширины реки;

при укладке в траншею нескольких кабелей расстояние между ними делают не менее 25 см;

если кабели укладываются по скальному и плотному гравелистому грунту, то уже после разработки траншеи на дно подсыпают слой грунта толщиной 15—20 см, на него кладут кабель и сверху подсыпают еще один слой того же грунта толщиной 15—10 см;

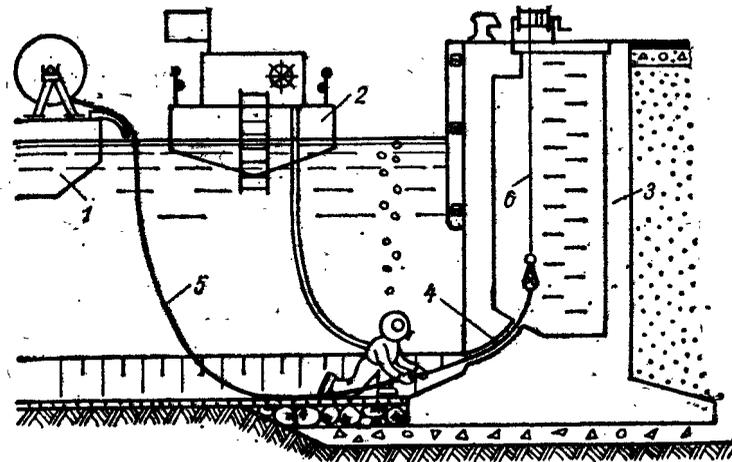


Рис. 32. Протаскивание кабеля в береговой колодец
1—понтон с кабелем; 2—водолазный бот; 3—береговой колодец; 4—металлическая труба; 5—кабель; 6—трос

при прокладке кабеля непосредственно по дну (при пересечении рек, где наблюдается сильное течение или каменное дно) расстояние между кабелями должно составлять десятую часть ширины реки (не менее 20 м);

укладка кабеля без заглубления допускается при глубине водоема больше 8 м, однако в этом случае следует получить согласие организаций, эксплуатирующих водоем;

каменные мощение, железобетонные плиты или хворостяные тюфяки с пригрузкой камнем применяют, когда нужно защитить кабель, выходящий из воды на берег, от повреждения ледоходом и в других случаях;

если кабель подходит к набережной, то в ее стенки заделывают металлические трубы, смазанные тавотом, через которые протаскивают концы уложенных кабелей (рис. 32), причем внутренний диаметр труб должен быть вдвое больше наружного диаметра кабеля.

Существует общее правило — кабели укладывают в разработанную траншею протаскиванием через водную преграду или опусканием под воду с плавучих средств. Протаскивание кабеля, если ширина водной преграды доходит до 500 м, осуществляется тросом и лебедкой, установленной на противоположном берегу. Сначала через реку протягивают трос, один конец которого присоединяют к лебедке, а другой — к концу кабеля. Подвешивая поплавок через каждые 50 м, тросу придают плавучесть. Выбрав слабины троса, кабель разматывают с барабана и к нему (у уреза воды) подвешивают поплавок такой же грузоподъемности и на таком же расстоянии. Кабель освобождают от поплавков начиная с середины реки и опускают на дно. Если укладка производится на больших реках, то целесообразно использовать плавучие средства, на которые кабель разматывают с барабана в виде восьмерки (радиус

закругления должен быть не менее 15 диаметров кабеля), что обеспечивает последующее его опускание без резких перегибов.

Бестраншейный механизированный способ укладки кабелей отличается высокой производительностью. Его преимущество заключается в одновременном выполнении нескольких операций: рытье подводных траншей, укладка кабелей и засыпка траншей.

Для указанных целей применяется особое гидравлическое устройство — гидронож. На стороне, обращенной к направлению движения, он имеет насадки, выбрасывающие струи воды в толщу грунта, а с другой — спускающийся кабель. По мере продвижения гидроножа кабель укладывается на проектные отметки и временно засыпается оседающими массами грунта.

Зимой кабели укладывают со льда, где пробивают майну вдоль трассы перехода. Параллельно майне на расстоянии 1—1,5 м от края стелят дорожку из досок толщиной 25 мм и размещают кабель, разматывая его с таким расчетом, чтобы 2/3 его строительной длины находились в руках размотчиков, а оставшаяся часть перемещалась по льду. Кабель перед размоткой подогревают, утепляя его соломенными матами на досках, после чего укладывают вручную. Под водой кабель принимает водолаз и укладывает в нужное положение.

§ 5. ПОДВОДНОЕ БЕТОНИРОВАНИЕ

Подводное бетонирование — важнейшие работы в гидротехническом строительстве. Из применяемых в настоящее время способов выполнения этих работ наибольшее распространение получил способ ВПТ (вертикально перемещающиеся трубы), который дает наибольший эффект при бетонировании подушки толщиной не менее 2 м.

Бетонирование начинают после того, как обследовано подготовленное основание и составлен акт о приемке, удостоверяющий, что работы выполнены в соответствии с принятыми правилами.

Применяемый на практике способ ВПТ заключается в следующем: в бетонируемое пространство по стальным трубам диаметром 20—30 см подают готовую бетонную смесь. Способ ВР (восходящего раствора) предусматривает первоначальную укладку камня или щебня, а затем уже бетонирование. Трубы для подачи раствора устанавливают перед заполнением камнем или щебнем. Во избежание повреждения трубы ее помещают в специальные сетчатые цилиндры, сплетенные из арматурной стали (нижок). Диаметр цилиндра должен в 1,5—2 раза превосходить диаметр трубы, но составлять не менее 20 см. Если бетонированию подлежат блоки высотой до 2 м, то можно обойтись и без защитных цилиндров.

При подводном бетонировании надо придерживаться следующих правил:

раствор заливается в трубы через приемные воронки (одновременно через все трубы);

максимально допустимый при расчетах радиус распространения цементного раствора (от каждой трубы) принимают равным 2 м при щебеночном заполнителе и 3 м — при каменном;

интенсивность подачи раствора на 1 м² площади должна составлять не менее 0,2 м³/ч;

для обеспечения подачи раствора с интенсивностью до 2 м³/ч применяют трубы диаметром 50—75 мм; от 2 до 3 м³/ч — 75—100 мм и от 3 до 6 м³/ч — 100—200 мм;

трубы заглубляются в укладываемый раствор не менее чем на 0,8 м;

цементный раствор должен иметь подвижность, гарантирующую свободное его растекание при наличии крупного заполнителя с уклоном 1:5 или 1:7. Если подвижность раствора недостаточна, чтобы обеспечить эти условия, радиус бетонирования резко сокращается;

при бетонировании способом ВР необходимо применять заполнители с объемом пустот 40—45% и цементные растворы состава 1:1 или 1:2, водоцементным отношением 0,65—0,85, расходом цемента 500—700 на 1 м³ раствора, или 300—370 кг на 1 м³ кладки.

Укладка бетонной смеси способом ВПТ (рис. 33) заключается в использовании трубы для подачи бетонной смеси к месту укладки через толщу воды в условиях, исключающих воздействие ее на бетонную смесь. Только первая небольшая доза смеси по выходе из трубы на какое-то время соприкасается с водой, остальная масса, поступающая через трубу, конец которой заглубляется в бетонную смесь, с водой не соприкасается. По мере подъема уровня смеси в бетонируемой блоке трубу поднимают (перемещают) вертикально вверх так, чтобы нижний ее конец постоянно находился в бетонной смеси. Бетонная смесь при способе ВПТ движется по трубе к месту укладки с требуемой скоростью.

В табл. 48 приведены сведения о заполнителях, которые применяются в практике подводного бетонирования. Этими данными

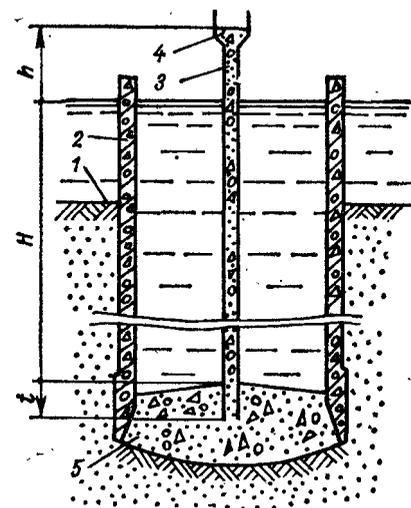


Рис. 33. Укладка бетонной смеси способом ВПТ в полости колодца
1 — грунт; 2 — колодец; 3 — бетонлитная труба; 4 — воронка; 5 — бетонная смесь

Таблица 48

Заполнитель	Полные остатки на ситах в % при отверстиях сит в мм					
	мн.	макс.	5	1,2	0,3	0,15
Крупный	0—10	20—40	40—60	—	—	—
Мелкий	—	—	—	60—70	85—95	90—97

нужно руководствоваться при подборе заполнителей для указанных выше целей.

Если толщина слоя укладываемой бетонной смеси не превышает 2 м, то применяют сплошные по длине трубы диаметром 20—30 см. При большей толщине слоя используют трубы, собранные из звеньев, изготовленных из листовой стали толщиной 3—5 мм. Звенья соединяются фланцево-болтовыми стыками, уплотняемыми водонепроницаемыми прокладками. Получили распространение быстросоединяющие фланцы. На верхнем конце трубы крепят бункер для приема бетонной смеси. В его основании ставят навесной электровибратор мощностью 1—1,5 квт. При заклинивании смеси в трубе включается электровибратор.

При первичном заполнении трубы бетонной смесью необходимо заранее поставить клапаны или пробки. Наибольшее распространение получили свободно скользящие деревянные или стальные пробки, а также пробки, сделанные из пакли, мешковины с опилками и др.

Бетонирование подушки котлована может быть успешным, если использовать для этой цели не одну, а несколько труб с таким расчетом, чтобы каждая труба могла бы обеспечить растекание бетонной смеси на площади 20—30 м². Разумеется, качество смеси на периферийных участках будет несколько ниже, чем в средней зоне. Исходя из этого, расчетный радиус действия труб принимают ниже предельного. По существующим нормам радиус для трубы определяют, руководствуясь выражением

$$r = 6kI,$$

и принимают не свыше 6 м. В приведенной формуле k — показатель сохранения подвижности смеси в ч (40—60 мин); I — интенсивность подачи бетонной смеси в м³/ч. При большом заглублении трубы качество бетонной кладки улучшается. Интенсивность бетонирования или применение смеси с наиболее высоким показателем сохранения ее подвижности позволяет еще больше углубить трубу.

При бетонировании способом ВПТ укладываемая смесь движется по трубе под действием веса столба бетонной смеси. Минимально необходимое превышение столба бетона над водой в различные моменты бетонирования определяется по формуле

$$h = r - 0,6H,$$

где H — глубина бетонирования в м;
 r — радиус действия бетонолитной трубы в м.

§ 6. ПОДВОДНЫЕ ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

Подрывание (разрушение) металлических элементов конструкций производят с помощью удлиненных зарядов. Количество ВВ для подрывания листовой стали двутавров и др. рассчитывают по формуле

$$Q = kF,$$

где Q — вес зарядов нормальной мощности в г;
 k — коэффициент для стали, равный 25—40;
 F — площадь поперечного сечения в см².

Взрыв эффективен, если заряд расположен с обеих сторон металлического элемента и взаимно сдвинут на 5—10 см. В этом случае сила взрыва обращена не на изгиб, а на срез.

Вес заряда для перебивания троса рассчитывается по формуле

$$Q = 10d_t^3,$$

где d_t — диаметр троса в см.

При подрывании сооружений из кирпича, отдельных камней, бетона заряды размещаются на поверхности или в скважине (шпуре). Шпуры бурят диаметром 30—40 мм на глубину до 1 м. Заряды располагают через 1,5—2 м в зависимости от прочности материала.

Вес ВВ при подрывании кирпича, камня и бетона сосредоточенными зарядами определяют по формуле

$$Q = \alpha\beta R^3,$$

а удлиненными зарядами по формуле

$$Q = \alpha\beta R^2l,$$

где R — необходимый радиус разрушения или толщина перебиваемого элемента в м;

α — коэффициент прочности материала, приведенный ниже:

	Значение α
кладка из бутового камня на цементном растворе	1,4
бетон опор мостов и гидротехнических сооружений	1,5—1,8

β — коэффициент забивки и расположения заряда, при устройстве зарядов в рукавах, равный 2, а при накладных зарядах — 4,5;

l — длина заряда в м.

При подрывании под водой железобетонных конструкций из-за неоднородности материала достаточного эффекта взрыв не дает. Поэтому практикуют расчленение разрушаемой бетонной конструкции на два этапа. Раньше выбивают бетон, а затем подрывают или перерезают арматуру. Необходимый вес заряда при подрывании конструкции из железобетона рассчитывают по формуле

$$Q = 2\alpha\beta R^3.$$

Определение веса заряда производят по следующим формулам для подрывания одиночных деревянных свай

$$Q = 7,5d_{св};$$

для подрывания куста свай

$$Q = 15d_k^2,$$

где d_k — диаметр куста свай в м;

$d_{св}$ — диаметр свай в м.

Заряд размещают между сваями. При подрывании дубовых свай вес заряда увеличивают в 1,5 раза.

При подрывании шпунтовых стенок величину заряда на 1 м стенки определяют по формуле

$$Q = 15b^2,$$

где b — средняя толщина одной шпунтины в м.

Подрывание льда производят преимущественно патронированным аммонитом. Зимой, при низкой температуре, рекомендуется использовать водостойкий и морозостойкий детонирующие шнуры ДШ-В и ДШТ-200. Например, шнур ДШ-В детонирует после пребывания в воде в течение 24 ч, а также после охлаждения до 35°С.

Вес зарядов для образования майн определяют по формуле

$$Q = 0,85\omega^3,$$

где ω — глубина погружения заряда в воду от наружной поверхности льда, принимаемая равной 2,5—3 толщинам льда, в м.

При взрыве образуется майна диаметром 4—5 м. Заряды опускают через лунки и подвешивают на необходимой глубине на шестах, шпалгах или проволоке.

Уплотнение взрывами несвязных грунтов и каменных постелей. Выбор количества и веса одновременно взрываемых зарядов производят исходя из условий безопасности расположенных поблизости сооружений. При этом стремятся для обеспечения равномерного уплотнения каменной наброски взорвать одновременно группу зарядов, образующую в плане замкнутый контур. Заряды подвешиваются на некотором расстоянии от поверхности наброски.

Последовательность уплотнения наброски посредством взрыва такова:

для фиксированного расположения зарядов на якорях устанавливают четыре швартовых бочки и между ними натягивают два троса с марками, а между ними — пеньковые канаты с прикрепленными к ним поплавками;

заряды располагают по квадратной сетке с шагом, равным двум радиусам действия взрыва;

заряды взрывают сериями (4, 6, 8 зарядов);

для замера осадок на поверхности каменных постелей укладывают железобетонные плиты толщиной 8—10 см, затем футштоком измеряют расстояние от этой плиты до горизонта вод до и после взрыва; разницы в величинах соответствующих промеров и дадут значения осадок. Подводный взрыв позволяет уплотнить грунты на значительных глубинах; при погружении зарядов более чем на 12 м происходит камуфлетный взрыв.

Определение оптимального веса заряда для уплотнения набросок производится по формуле

$$Q = kH^{\beta},$$

где Q — вес заряда в кг;

k — коэффициент для песчано-гравелистых грунтов и каменных набросок, принимаемый равным 0,1;

H — глубина воды в м;

β — коэффициент для песчано-гравелистых и каменных набросок, принимаемый равным 2,45.

Вес оптимального заряда и его высоту можно также определить и по графику (рис. 34).

Глубину эффективного уплотнения (в м) ориентировочно определяют по формуле

$$h_{\text{упл}} = 1,8\sqrt[3]{Q}.$$

Размещение зарядов в плане должно соответствовать двум радиусам эффективного действия взрыва. Для рыхлых песчано-гравелистых грунтов и отсыпанной в воду каменной наброски радиус эффективности действия взрыва (в м) определяется по формуле

$$R = 2\sqrt[3]{Q}.$$

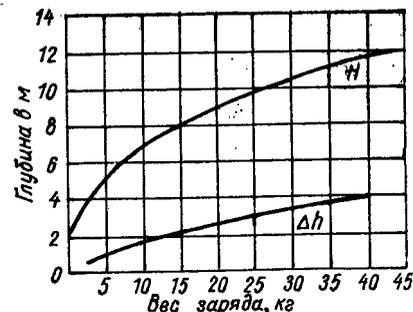


Рис. 34. Зависимость веса заряда Q от высоты его подвески над поверхностью наброски и глубины воды H .

§ 7. ПОДВОДНАЯ СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛА

При монтаже и ремонте подводных металлических конструкций часто приходится производить сварку и резку.

Дуговая электросварка — единственный способ сварки, применяемый в подводных условиях. Рекомендуется пользоваться постоянным током (обеспечивает устойчивую дугу), увеличенным на 10—20% по сравнению с током при работе на воздухе. Сварка производится, как и на суше: плюсовый провод сечением не менее 50 мм² от нормального сварочного агрегата приваривается к свариваемому предмету, а минусовый такого же сечения присоединяется зажимом к электродержателю. Используется электрод (металлический, реже угольный) с толстой водонепроницаемой обмазкой (воском, парафином).

Производительность дуговой электросварки металлическим электродом ориентировочно может быть определена по формуле

$$G = \alpha It,$$

где G — вес наплавленного металла в кг;

I — сила тока в а;

t — время горения дуги в ч;

α — коэффициент пропорциональности наплавки, равный 10.

Скорость сварки

$$V_{\text{св}} = \frac{G}{F_{\text{н}}\gamma t},$$

где $V_{\text{св}}$ — скорость сварки в м/ч;

$F_{\text{н}}$ — сечение наплавки в см²;

γ — удельный вес наплавленного металла в г/см³.

Электродуговая резка. Требуется специальное оборудование (например, электростанцию ЖЭС-65 или спаренный сварочный агрегат и электроды с особой обмазкой), большого расхода электроэнергии и электродов; она применима для обработки любых металлов при толщине их не более 30 мм. При толщине 5—6 мм скорость резания составляет 9—10 м/ч, при 25 мм — 1,5 м/ч, при 55—60 мм — 0,25—0,30 м/ч. Способ удобен в работе и наименее опасен. Его целесообразно применять при малом объеме резки нетолстого металла, особенно в сочетании с подводной сваркой. Такой способ незаменим при повышенных требованиях к качеству и производительности резки.

Электрокислородная резка. Экономически выгодна, если производится на глубине до 100 м при толщине резки до 120 мм; расплавленный металл сгорает в струе кислорода, выдувается ею. Применяются электроды с внутренним каналом (1—2 мм), по которому подается кислород. В зависимости от толщины стали меняется сила тока и давление.

Толщина стали в мм	Сила тока в а	Давление кислорода в кг/см ²
10	320	4
20	340	5
50	360	6
80	375	7
100	500	8

При резке на глубине более 10 м следует на каждые последующие 10 м глубины добавлять рабочее давление кислорода (по 1 кгс/см²).

Водолаз должен иметь возможность свободно перекрыть подачу кислорода при помощи вентиля в держателе. После того как он наметит место резки и включит подачу кислорода, подает сигнал «дай ток». Касаясь электродом разрезаемого металла, он производит резку. Ток назначается силой 320—500 а, расход кислорода составляет 6—10 м³/ч, т. е. в 4—5 раз меньше, чем при газокислородной резке.

Электрокислородным способом можно резать сталь различного состава; резка чугуна, цветных металлов протекает менее успешно. Рез получается широкий с оплавленной верхней частью и приваренными вдоль нижних кромок продуктами резки. Основное электрооборудование применимо также при сварке. Способ рационален при значительных объемах резки, особенно в сочетании с подводной сваркой.

Бензино-кислородная резка. Применяется преимущественно для углеродистой стали. Этим способом режут листовые и полосовые элементы, а также плотно собранные пакеты толщиной до 100 мм; резка профильных элементов затруднительна. Данный способ обеспечивает наибольшую производительность. Для него не требуется электроэнергии, необходимы только бензин и кислород. Однако при этом способе возникают трудности: громоздкий резак неудобен для использования в труднодоступных местах; при работе на небольшой глубине на поверхности воды иногда возникает пленка бензина, которая может воспламениться. Упомянутый способ резки дает небольшой эффект при работе на глубине менее 10 м.

Водородно-кислородная резка. Используется преимущественно для резки элементов, выполненных из углеродистой стали при тол-

щине их до 100 мм. Этот способ обеспечивает наиболее высокое качество работы. Оборудование требуется самое дешевое. Электроэнергия не нужна. Однако при работе возникают неудобства: несветящаяся пламя затрудняет регулирование горючей смеси, обе руки водолаза заняты; громоздкий резак мешает водолазу при работе в труднодоступных местах; производительность невысокая; возможно образование взрывоопасной гремучей смеси. Указанный способ целесообразно применять при необходимости получения резцов высокого качества. Он неприменим в замкнутых пространствах или ограниченных водоемах. Этим способом нельзя резать пакетные элементы, а резка профильных элементов затруднительна.

Водолаз, занятый электросваркой (резкой), находится в электрическом поле, одним полюсом которого является обрабатываемая деталь, соединенная с обратным полюсом тока, другим — электрод и неизолированная часть электродержателя. Чтобы предупредить возможное поражение током, водолаз должен надеть зимнюю шерстяную рубашку без потертых мест, могущих пропустить воду, целые и прочные рукавицы. Все металлические части водолазного снаряжения необходимо покрыть слоем резины или хотя бы электроизолирующего лака. Переднюю часть шлема рекомендуется периодически обмазывать бакелитовым лаком для защиты от электролиза: если водолаз при работе по неосторожности коснется шлема электродом, то может его прожечь.

§ 8. ПОДВОДНАЯ ОЧИСТКА И ОКРАСКА ПОВЕРХНОСТЕЙ. ПРОМЕРОЧНЫЕ РАБОТЫ

Способы очистки поверхностей под водой делятся на механизированные, огневые и ручные. Металлические поверхности очищают на чистой акватории, не загрязненной маслами, нефтью. Для механизированного удаления плотной ржавчины и старой краски в подводных условиях применяют специальные пневматические молотки, а для очистки металлической поверхности — пневматические машины. Огневой способ очистки предусматривает использование пламени газовых и бензокислородных горелок.

Окраска поверхностей под водой связана с некоторыми трудностями, главная из которых — оттеснение влаги с поверхности микропленки. Центробежный способ окраски под водой позволяет покрыть поверхность прочной и плотной пленкой. Сущность его заключается в равномерном распределении и растирании краски губчатым рабочим диском, вращающимся от пневматического двигателя. Краска подается под давлением через центральное отверстие в диске и благодаря действию центробежных сил при вращении последнего равномерно распределяется по поверхности. Производительность при окраске каменноугольным лаком центробежным способом составляет 27 м²/ч, а этилолевыми красками — 16—20 м²/ч.

Для подводной окраски пригодны этилолевые краски (ЭКЖС-40, ЭКСС-50, ЭЛМ-54, ЭККЛ-155, ЭЭ-85 и др.) и каменноугольный лак сорта А по ГОСТ 1709—60. Под водой этилолевые краски высыхают за 18 ÷ 24 ч, каменноугольный лак — за 24 ÷ 32 ч.

При нанесении многослойных окрасок, чтобы различить слои, в краску добавляют пигменты (сажу). Слои покрытия наносят попеременно — один с пигментом, другой без него.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

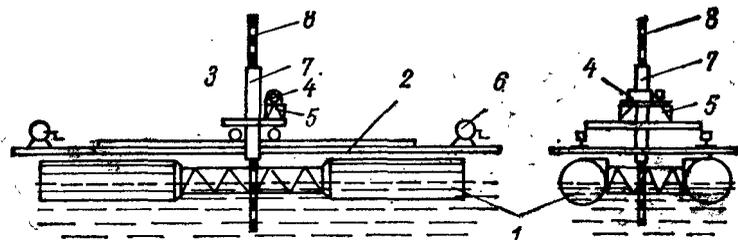


Рис. 35. Устройство для промерочных работ

1—понтон; 2—рельсы; 3—тележка; 4—привод; 5—площадка; 6—лебедка;
7—шток; 8—нивелирная рейка

Промерочные работы выполняют футштоком или путем нивелировки. При больших объемах применяют специальное плавучее устройство (рис. 35), представляющее собой конструкцию из четырех цилиндрических понтонов диаметром 1 м, длиной 2,5 м с деревянной платформой. По уложенным рельсам (от привода, установленного на площадке) перемещается тележка с мерной рейкой. Устройство с помощью лебедок устанавливают в створе, закрепляют якорями и с помощью тележки и закрепленного штока с нивелирной линейкой точно замеряют укладываемые массивы.

Расчет шпунтовой стенки по графикам

Графики составлены для шести расчетных схем с различными гидрогеологическими условиями (прилож. 1.1). Рассматриваются два типа шпунтовых стенок: тип I—без распорок (прилож. 1.2); тип II—с одной распоркой (прилож. 1.3).

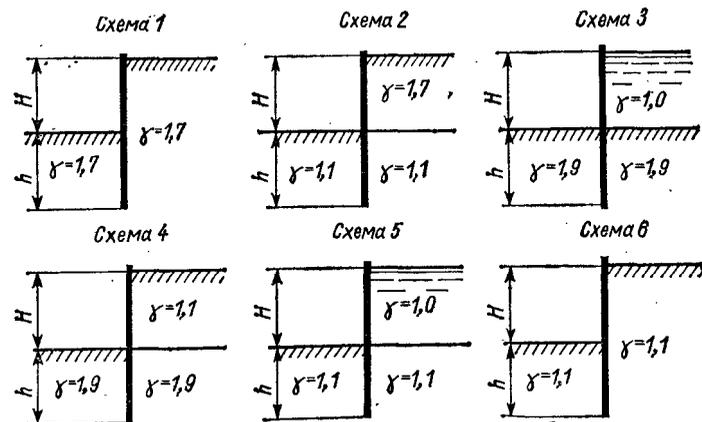
Для каждой расчетной схемы на графиках приведены значения величин h , M , R от постоянной нагрузки и h^1 , M^1 , R^1 от временной нагрузки, где:

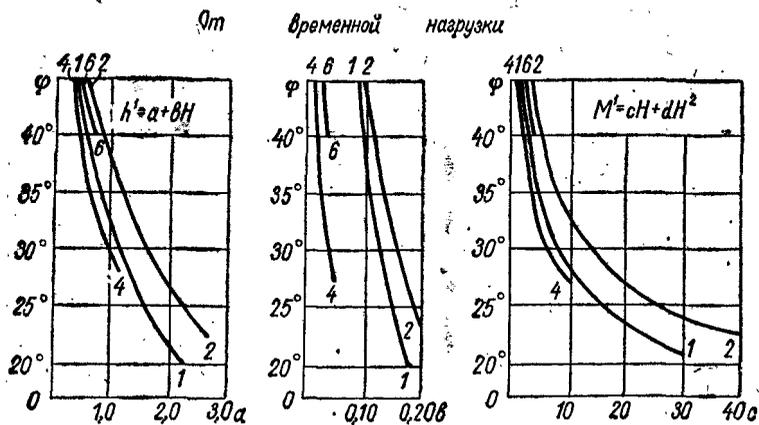
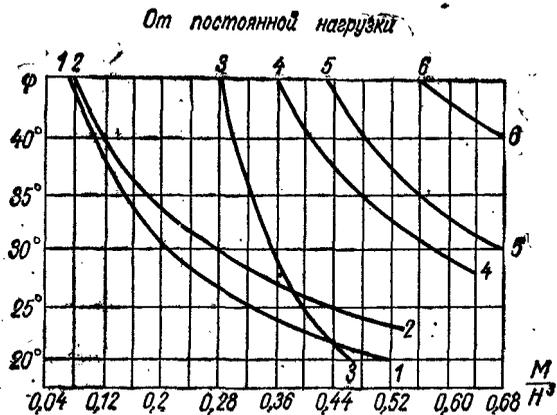
h , h^1 — необходимая глубина заделки шпунта в м;
 M , M^1 — расчетный изгибающий момент на 1 м стенки в тс·м;
 R , R^1 — расчетное усилие на 1 м обвязки в тс.

Временная нагрузка для всех схем принята равной 3,4 тс/м². Значения h , M , R , h^1 , M^1 , R^1 для каждого типа стенки определяются кривыми 1, 2, 3, 4, 5 и 6, соответствующими определенной схеме, в зависимости от глубины котлована H и угла внутреннего трения грунтов φ (от 20 до 45°).

Если временная нагрузка меньше принятой на графиках, то при определении значений h^1 , M^1 , R^1 необходимо вводить понижающий поправочный коэффициент.

Для пояснения пользования графическим материалом рассмотрим пример расчета шпунтовой стенки.





Дано: Глубина котлована $H = 5,0$ м;
 угол внутреннего трения грунта $\varphi = 30^\circ$;
 расчетная схема 2, крепление типа II;
 временная нагрузка — $1,7$ тс/м², что составляет 50% от
 принятой в графиках.

Глубина забивки шпунта:
 а) от постоянной нагрузки

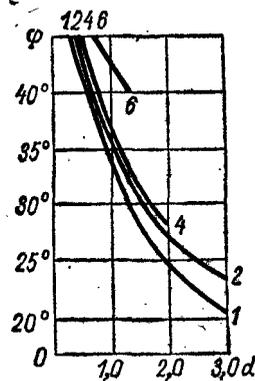
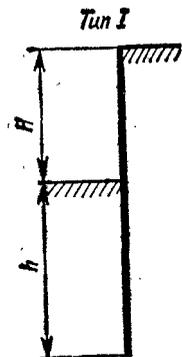
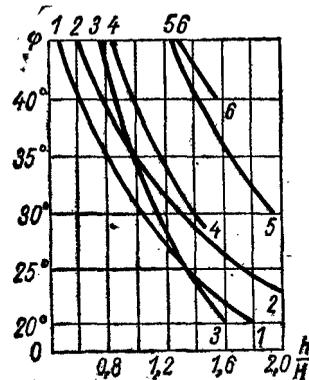
$$h = 0,55H = 0,55 \cdot 5 = 2,75 \text{ м};$$

б) от временной нагрузки

$$0,5h^1 = 0,5(0,8H) = 0,5(0,8 \cdot 5) = 2 \text{ м}.$$

Суммарная глубина забивки шпунта

$$h + 0,5h^1 = 2,75 + 2 = 4,75 \text{ м}.$$



Расчетный изгибающий момент
 а) от постоянной нагрузки
 $M = 0,082 \cdot H^3 = 0,082 \cdot 5^3 = 10,3$ тс · м;
 б) от временной нагрузки
 $0,5M^1 = 0,5(0,16H + 0,36H^2) =$
 $= 0,5(0,16 \cdot 5 + 0,36 \cdot 5^2) = 4,9$ тс · м.
 Суммарный изгибающий момент
 $M + 0,5M^1 = 10 \cdot 3 + 4 \cdot 9 = 15,2$ тс · м.
 Расчетное усилие на 1 м обвязки
 а) от постоянной нагрузки
 $R = 0,17H^2 = 0,17 \cdot 5,0^2 = 4,25$ т.
 б) от временной нагрузки
 $0,5R^1 = 0,5(0,12 + 0,96 \cdot 5,0) = 2,46$ т.

Суммарное расчетное усилие на 1 м обвязки

$$R + 0,5R^1 = 4,25 + 2,46 = 6,71 \text{ т}.$$

Подбор сечения шпунта. Необходимый момент сопротивления 1 м стенки:

$$W_T = \frac{M_p}{\sigma_{изг}} = \frac{1\,520\,000}{1\,600} = 950 \text{ см}^3.$$

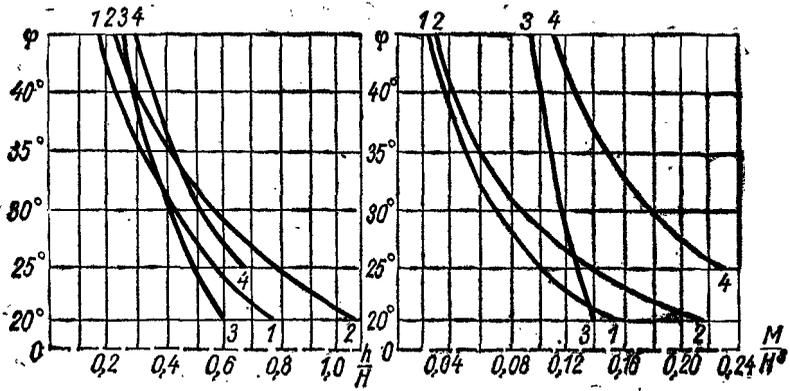
Данному моменту сопротивления удовлетворяет металлический шпунт «Ларсен-III» (см. прилож. 2):

$$W_{расч} = 1\,600 \cdot 0,9 = 1\,440 \text{ см}^3.$$

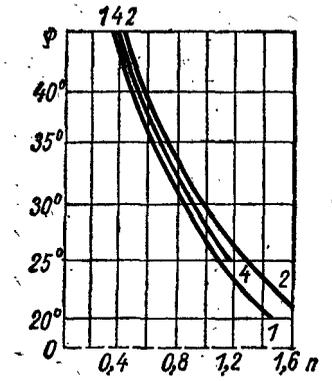
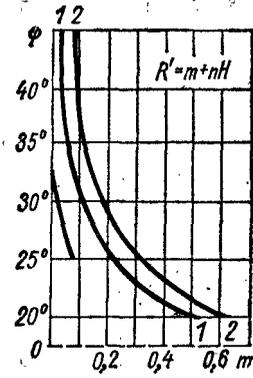
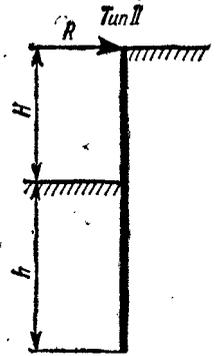
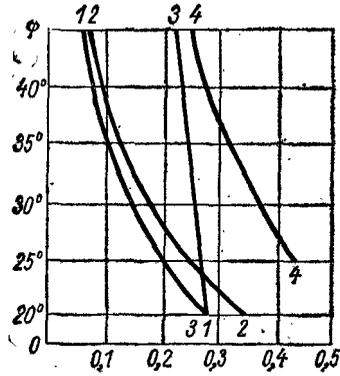
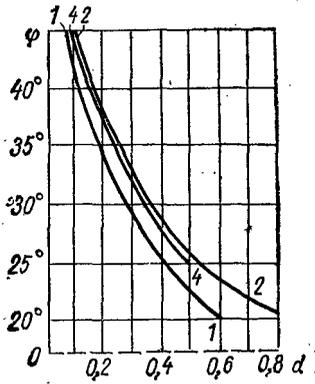
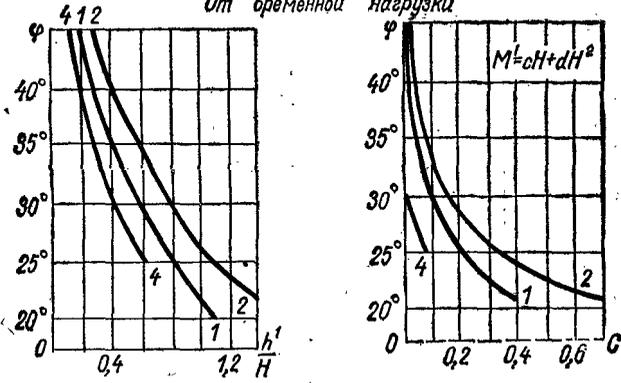
Напряжение в стенке при принятом моменте сопротивления

$$\sigma_{изг} = \frac{1\,520\,000}{1\,440} = 1\,055 < 1\,600 \text{ кгс/см}^2.$$

От постоянной нагрузки



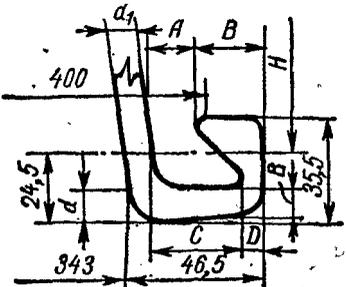
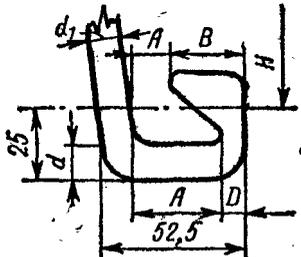
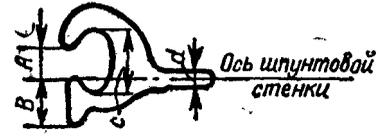
От временной нагрузки



Сортамент стальных про

филей шпунтовых свай

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Наименование профиля	Рисунок профиля	Условное обозначение профиля	Площадь поперечного сечения в см ²	Вес 1 м в кг	Момент инерции в см ⁴	Момент сопротивления в см ³	Размеры замка в мм						Высота профиля в мм
							вход в замок А	ширина головки замка (кулачка) В	отверстие замка С	толщина стенки	толщина шейки замка (кулачка)	толщина полки	
Корытный		Ларсен III Ларсен IV	80,0 94,3	62 74	23 200 39 600	1 600 2 200	16,0 16,1	24,0 24,2	29 29	9,5 11	8,5 8,5	9,0 9,5	145 180
		Ларсен V	127,6	100	50 943	2 960	18	27,5	31,5	12	10	11	370
		ШК-1	64	50	730	114	18	24	32	10	10	-	-
		ШК-2	74	58	2 243	260	18	24	32	20	10	-	-

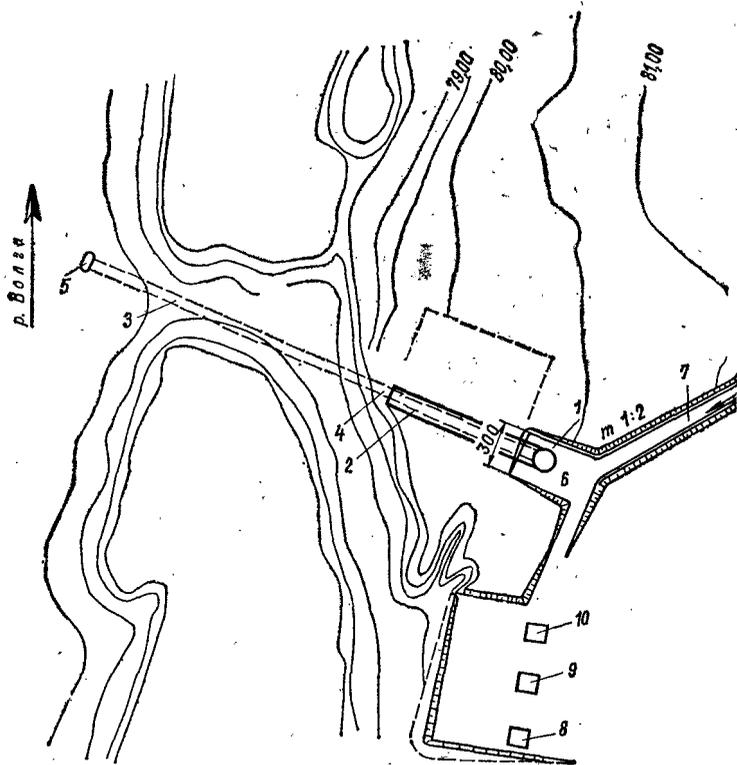
Наименование профиля	Рисунок профиля	Условное обозначение профиля	Площадь поперечного сечения в см ²	Вес 1 м в кг	Момент инерции в см ⁴	Момент сопротивления в см ³	Размеры замка в мм						Высота профиля в мм
							вход в замок А	ширина головки замка (кулачка) В	отверстие замка С	толщина стенки	толщина шейки замка (кулачка)	толщина полки	
Плоский		ШП-1	82	64	332	73	19	35	43	10	11,3	-	-
		ШП-2	39	30	80	28	16	27	32	8	10	-	-
Зетовый		ШД-3	78	61	7 600	630	15	24	31	9	9	10	-
		ШД-15	119	93	20 100	1 256	15	24	31	12	10	14	-

Вес труб в воздухе и в воде

На- руж- ный диа- метр в мм	Тол- щина стен- ки в мм	Вес 1 м трубы на воздухе в кг				Вес 1 м трубы в воде в кг					
		пустой трубы	изоляци и футе- ровки на трубе	общий вес трубы (3+4)	общий вес трубы с водой	без изоляции и футе- ровки	заглу- шенной трубы	изоляци и футе- ровки в воде	общий вес снаря- женной трубы (7+9)	вес вытеснен- ной воды при погру- жении трубы	вес заг- лушенной снаря- женной трубы (плаву- щесть) (8+9)
245	8	46,8	21,2	68,0	109,2	40,8	-0,3	-1,3	39,5	69,6	-1,6
	9	52,4	21,2	73,6	114,0	45,7	5,3	-1,3	44,4	69,6	-4,0
	10	58,0	21,2	79,2	118,9	50,6	10,9	-1,3	49,3	69,6	9,6
	11	63,5	21,2	84,7	123,8	55,4	16,4	-1,3	54,1	69,6	15,1
299	8	57,4	26,4	83,8	146,8	50,1	-12,8	-1,5	48,6	98,1	-14,3
	9	64,4	26,4	90,8	152,9	56,2	-5,8	-1,5	54,7	98,1	-7,3
	10	71,3	26,4	97,7	158,7	62,2	1,1	-1,5	60,7	98,1	-0,4
	11	78,1	26,4	104,5	164,9	68,2	7,9	-1,5	66,7	98,1	6,4
325	8	84,9	26,4	111,3	170,7	74,1	14,7	-1,5	72,6	98,1	13,2
	9	62,5	27,6	90,1	165,0	54,6	-20,4	-1,6	53,0	112,1	-22,0
	10	70,1	27,6	97,7	171,9	61,2	-12,8	-1,6	59,6	112,1	-14,4
	11	77,7	27,6	105,3	178,5	67,8	-5,2	-1,6	66,2	112,1	-6,8
351	8	85,2	27,6	112,8	184,9	74,3	2,3	-1,6	72,7	112,1	0,7
	9	92,6	27,6	120,2	191,4	80,8	9,7	-1,6	79,2	112,1	8,1
	10	67,7	37,0	104,7	192,7	59,1	-29,0	-4,1	55,0	137,8	-33,1
	11	75,9	37,0	112,9	199,9	66,2	-20,8	-4,1	62,1	137,8	-24,9
377	8	84,1	37,0	121,1	207,2	73,4	-12,6	-4,1	69,3	137,8	-16,7
	9	192,2	37,0	129,2	214,1	80,5	-4,5	-4,1	76,4	137,8	-8,6
	10	00,3	37,0	137,3	221,1	87,6	3,6	-4,1	83,5	137,8	-0,5
	11	72,8	40,6	113,4	215,4	63,5	-38,8	-4,4	59,1	156,6	-43,2
426	8	81,7	40,6	122,3	232,5	71,3	-29,9	-4,4	66,9	156,6	-34,3
	9	90,5	40,6	131,1	231,0	79,0	-21,1	-4,4	74,6	156,6	-25,5
	10	99,3	40,6	139,9	239,0	85,6	-12,3	-4,4	81,2	156,6	-16,7
	11	108,0	40,6	148,6	246,4	94,5	-3,6	-4,4	90,1	156,6	-8,0
426	9	92,6	43,8	136,4	267,4	80,8	-49,9	-4,7	76,1	191,0	-54,6
	10	102,6	43,8	146,4	275,4	89,5	-39,9	-4,7	84,8	191,0	-44,6

478	11	112,6	43,8	156,4	284,4	98,2	-29,9	-4,7	93,5	191,0	-34,5
	12	122,5	43,8	166,3	292,8	106,9	-20,0	-4,7	102,2	191,0	-24,7
	9	104,1	50,5	154,6	320,2	90,7	-75,3	-5,7	85,0	235,6	-81,6
	10	115,4	50,5	165,9	330,9	100,7	-64,0	-5,7	95,0	235,6	-69,7
530	11	126,7	50,5	177,2	340,7	110,6	-52,7	-5,7	104,9	235,6	-58,4
	12	137,8	50,5	188,3	350,3	120,8	-41,6	-5,7	114,6	235,6	-47,3
	9	115,4	54,9	170,3	374,8	100,7	-104,3	-6,0	94,7	280,6	-110,3
	10	128,0	54,9	182,9	385,9	111,7	-91,7	-6,0	105,7	280,6	-97,7
720	11	140,5	54,9	195,4	397,2	122,6	-79,2	-6,0	116,6	280,6	-85,2
	12	153,0	54,9	207,9	407,9	133,5	-66,7	-6,0	127,5	280,6	-72,7
	9	137,8	65,8	203,6	496,6	120,3	-173,8	-7,4	112,9	384,8	-181,2
	10	152,9	65,8	218,7	510,7	133,4	-158,7	-7,4	126,0	384,8	-166,1
820	11	167,9	65,8	233,7	523,7	146,5	-143,7	-7,4	139,1	384,8	-151,1
	12	182,9	65,8	248,7	536,7	159,6	-128,7	-7,4	152,2	384,8	-136,1
	9	157,8	75,6	233,4	619,4	137,7	-249,1	-8,6	129,1	491,1	-257,7
	10	175,1	75,6	250,7	635,5	152,2	-231,8	-8,6	143,6	491,1	-240,4
920	11	192,3	75,6	267,9	650,9	167,9	-214,6	-8,6	159,3	491,1	-223,2
	12	209,6	75,6	285,1	666,6	182,9	-197,4	-8,6	174,3	491,1	-206,0
	9	180,0	85,1	265,1	766,1	157,1	-347,8	-9,5	147,6	622,4	-357,3
	10	199,8	85,1	284,9	760,9	174,4	-328,0	-9,5	164,9	622,4	-337,5
1020	11	219,5	85,1	304,6	805,6	191,5	-308,3	-9,5	182,0	622,4	-317,8
	12	278,3	85,1	363,4	856,4	242,9	-249,5	-9,5	233,4	622,4	-259,0
	9	202,2	95,9	298,1	936,1	176,4	-462,2	-10,9	165,5	771,2	-473,1
	10	224,4	95,9	320,3	956,3	195,8	-440,0	-10,9	184,9	771,2	-450,9
1220	11	246,6	95,9	342,5	976,5	215,2	-417,8	-10,9	204,3	771,2	-428,7
	12	268,7	95,9	364,6	994,6	234,5	-395,7	-10,9	223,6	771,2	-406,6
	13	290,8	95,9	386,7	1013,7	253,8	-373,6	-10,9	242,9	771,2	-384,5
	14	312,8	95,9	408,7	1032,7	273,0	-351,6	-10,9	262,1	771,2	-362,5
1420	10	249,1	107,0	356,1	1141,1	217,4	-567,6	-12,3	205,1	936,0	-579,9
	11	273,7	107,0	380,7	1162,7	238,9	-543,0	-12,3	226,6	936,0	-555,3
	12	298,3	107,0	405,3	1184,3	260,3	-518,4	-12,3	248,0	936,0	-537,7
	13	322,8	107,0	429,8	1204,8	281,7	-493,9	-12,3	269,0	936,0	-506,2
1220	14	347,3	107,0	454,3	1226,3	303,0	-469,4	-12,3	290,7	936,0	-481,7
	10	298,4	125,6	424,0	1554,0	260,4	-870,0	-14,2	246,2	1308,2	-884,2
	11	328,0	125,6	453,6	1578,6	286,2	-840,4	-14,2	272,0	1308,2	-854,6
	12	357,5	125,6	483,1	1605,1	312,0	-810,9	-14,2	297,8	1308,2	-825,1
1420	13	387,0	125,6	512,6	1632,6	337,7	-781,4	-14,2	323,5	1308,2	-795,6
	14	416,4	125,6	542,0	1657,0	363,4	-752,0	-14,2	349,2	1308,2	-766,2
	11	382,2	146,0	528,2	2063,2	333,5	-1200,7	-16,5	317,0	1745,4	-1217,2
	12	416,7	146,0	562,7	2092,7	354,9	-1166,2	-16,5	338,4	1745,4	-1182,7

ПРИЛОЖЕНИЕ 4



План строительства водозабора на Волге

- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Насосная станция | Наружный диаметр 17 м |
| 2. Береговой участок всасывающей линии в шпунтовом ограждении | Длина трубопроводов 104 м |
| 3. Руслый участок всасывающей линии | То же, 200 м |
| 4. Участок соединения руслый и береговой всасывающей линии | То же, 10 м |
| 5. Оголовок | 15,8×2,8×4 |
| 6. Строительная площадка | Размер в плане 50×30 м |
| 7. Съезд на монтажную площадку | То же, 110×25 м |
| 8. Контора прораба | Размер в плане 3×6×2,3 |
| 9. Помещение для рабочих | То же |
| 10. Материальный склад | » » |

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Характеристика плавучих кранов

При строительстве гидротехнических сооружений на внутренних водных путях могут быть использованы следующие типы плавучих кранов

Марка кранов	Грузоподъемность в т	Вылет стрелы за понтон в м	Характеристика
КП _л 5-30 (СССР)	5	18	Полноповоротный Несамостоятельный
КП _л 15-30 (СССР)	15	22	То же
«Ганц» (Венгрия)	5	22	» »
«Вальмет» (Финляндия)	10/5	5,5/21,5	» »
Блейхерт (ГДР)	15	18	Полноповоротный Самостоятельный
Турней (США)	30	32	То же
Блейхерт (ГДР)	50	18	» »
«Юбигау»	39/12	6,5/12	Полноповоротный Несамостоятельный кран-копер

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Размер и вес адмиралтейских якорей

Вес в кг	Размеры в см				
	A	B	L	H	h
500	208	133,5	39	252,8	50
600	221	144	41,5	266	53,5
700	233	150	44	267,8	56
800	243,5	157	46	281,7	58,7
1000	262	168,5	49,5	314,5	63,3
1250	282,5	181	53,5	338,8	68
1500	300	195,5	56,5	353,5	72,5
2000	330	214	62,5	386	79,7
3000	378	241,5	71,5	436,9	91,2

Размер и вес железобетонных якорей-присосов

Вес в т	Размеры в см				
	a	b	c	h	e
5	120	160	100	90	240
10	180	240	117	100	280
15	220	270	138	110	330

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Комплект водолазной станции с вентилируемым снаряжением

Наименование	Значение сигналов	
	к водолазу	от водолаза
Компрессорная установка	1	—
Шлем трех- или двенадцатиболтовый	1	5
Шланг водолазный спиральный в м	4	3
Шланг водолазный бесспиральный в м	60	3
Рубаха водолазная трех- или двенадцатиболтовая	3	1
Гидрокомбинезон	3	2
Водолазные свинцовые грузы	1	5
Галоши на свинцовой подошве	1	1
Сигнальный конец окружностью 50—65 мм, длина в м	100	1
Клапан травящий автоматический передний	3	10
Клапан травящий автоматический задний	3	10
Подушка наплевная	3	5
Телефонная станция с кабелем	1	5
Нож водолазный с поясом	1	5
Трос пеньковый смоленый окружностью 75 мм (спусковой), длина 50 м	1	—
Приспособление для перепуска кислорода	1	5
Манометр кислородный на 160—250 атм	1	5
Баллон емкостью 1,3 л	1	5
Врюки предохранительные брезентовые	10	1
Чехол для помпы водоэрозионцаемый	1	3
Трап водолазный металлический	1	—
Четырехцветный флаг буквы «З» по международному своду сигналов	2	1
Флаг—цифра «0» по военному своду сигналов	2	1
Зеленый сигнальный флаг размером 100X100 мм	2	1
Красный флаг	1	1
Зеленый фонарь с лампами	2	5
Аккумуляторный фонарь	1	5
Лот с лотлином	1	1
Водяной термометр	1	3
Термометр для измерения температуры воздуха	1	3
Карманные часы	1	10
Анемометр	1	15
Гидрометрическая вертушка	1	5
Диск Плимсоля	1	10
Установка подводного освещения с кабелем длиной 100 м	1	5
Сундук для водолазного имущества	1	5
Водолазный журнал	1	—
Формуляр водолазной станции	1	—
Единые правила охраны труда на водолазных работах	1	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Водолазные сигналы

Сигналы	Значение сигналов	
	к водолазу	от водолаза
Дернуть один раз	Как себя чувствуешь?	Я на грунте. Чувствую себя хорошо. Выбери слабицу. Повтори больше воздуха
Дернуть два раза	Провентилируй скафандр	

Продолжение прилож. 8

Сигналы	Значение сигналов	
	к водолазу	от водолаза
Дернуть три раза	Выходи наверх	Поднимай наверх. Выхожу наверх.
Потрясти один раз	Стой! Не ходи дальше. Стой! Прекрати спуск. Подъем	Стоп! Останови спуск. Подъем
Потрясти два раза	Продолжай спуск. Иди прямо	Продолжай спуск. Потрави шланг-сигнал
Потрясти три раза	Стой на месте! Спускаем второго водолаза	Запутался, не могу выйти без второго водолаза
Дернуть и потрясти	Иди вправо!	—
Дернуть два раза и потрясти	Иди влево	—
Дернуть, потрясти, дернуть	Запасной сигнал	Запасной-сигнал
Дернуть четыре раза	—	Меньше воздуха
Четыре подергивания, более четырех раз	—	Тревога! Мне дурно. Подымай скорей!
Дернуть и потянуть	—	Поддай инструмент
Дернуть два раза и потянуть	—	Поддай конец

Примечание. В аварийном случае, когда сигналы водолазу по нормальному концу передать невозможно и вышел из строя телефонная связь, должна быть применена подводная звуковая сигнализация. Звуковые сигналы подаются ударом металлического предмета о металл, погруженный в воду.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Сила ветра по международной шкале Бофора

Балл по шкале	Скорость в м/сек	Давление в кг/м ²	Характеристика ветра	Видимое действие ветра
0	0	0	Штиль	Дым из труб поднимается вертикально
1	1	0,1	Тихий	Дым слегка отклоняется
2	2—3	1,1	Легкий	Листья шевелят, движение воздуха чувствуется лицом, начинают шевелиться флаги
3	4—5	3,1	Слабый	Колеблются тонкие ветки, развеваются флаги, начинается легкий перенос снега по поверхности покрова
4	6—8	8,5	Умеренный	Поднимается пыль, колеблются небольшие сучья, снегопад переходит в метель
5	9—10	12,5	Саяжий	Колеблются средней толщины сучья, дым срывается при выходе из трубы, ветер начинает посвистывать

Продолжение прилож. 9

Балл по шкале	Скорость в м/сек	Давление в кг/м ²	Характеристика ветра	Видимое действие ветра
6	11-13	21,0	Сильный	Качаются большие сучья и тонкие стволы деревьев, гудят провода, шум ветра слышен в домах
7	14-17	36,0	Крепкий	Гнутся большие сучья, раскачиваются небольшие деревья, затрудняется движение
8	18-20	50,0	Очень крепкий	Колеблются средние деревья, ломаются сучья, сбрасывается черепица с крыш
9	21-24	72,0	Шторм	Ломаются толстые сучья и небольшие деревья, разрушаются дымовые трубы
10	25-28	98,0	Сильный шторм	Вырываются с корнем деревья, ломаются телеграфные столбы, происходят разрушения
11	29-33	135,0	Жесткий шторм	Происходят большие разрушения
12	34 и более	153,0 и более	Ураган	Происходят опустошительные разрушения

ЛИТЕРАТУРА

1. Буленков С. Е. Маурер А. Ф. и др. Справочник водолаза. М., 1973 (Мин-во обороны).
2. Васильев Б. Д. Основания и фундаменты. М., Стройиздат, 1965.
3. Васильев К. В. Подводная резка и сварка металла. М., «Морской транспорт», 1955.
4. Временная инструкция по проектированию морских ограждающих сооружений из массивов-гигантов. М., Госстройиздат, 1958.
5. Годес Э. Г. Опыт строительства водозаборных сооружений. Л., Госстройиздат, 1962.
6. Годес Э. Г. Опыт строительства водозаборных сооружений. Л., Стройиздат, 1970.
7. Годес Э. Г., Шашков С. А. Укрепление берегов рек на заводских территориях. Стройиздат, 1967.
8. Единые правила охраны труда на водолазных работах. «Транспорт», 1965.
9. Забела К. А., Кица Н. А. Подводно-технические работы в строительстве. Киев, Будивельник, 1970.
10. Климов В. Г., Марячев В. И., Рубинчик А. М. Строительство опускных колодцев и кессонов. М., Стройиздат, 1963.
11. Кузнецов И. И. Водолазное снаряжение и оборудование. М., «Речной транспорт», 1962.
12. Левин С. Н. Подводные трубопроводы. М., «Недра», 1970.
13. Мамонтов В. К. Производство подводно-технических работ. М., Речиздат, 1949.
14. Савинов О. А., Лускии А. Ф. Вибрационный метод погружения свай и его применение в строительстве. М., Госстройиздат, 1960.
15. Силин К. С., Глотов Н. М. Опускные колодцы. М., «Транспорт», 1971.
16. Соколов В. В., Никитин П. П. Подводное обследование транспортных сооружений. М., «Транспорт», 1970.
17. Цитович Н. А. Механика грунтов. М., «Высшая школа», 1973.
18. Справочник по гидротехнике. Под ред. А. А. Сидорова. М., Госстройиздат, 1955.
19. Справочник инженера дорожника. Под ред. канд. техн. наук В. С. Кириллова. «Транспорт», 1965.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	Стр	3
----------	-----	---

Глава I

СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПОД ВОДОЙ

§ 1. Квалификационные требования к водолазу	5
§ 2. Характеристика и применение водолазного снаряжения	7
§ 3. Правила ухода за водолажным снаряжением	13
§ 4. Технические средства и имущество для водолазных работ	14
§ 5. Техника безопасности водолазных работ	18

Глава II

ПРОИЗВОДСТВО ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

§ 1. Водолазное обследование дна и гидротехнических сооружений	21
§ 2. Строительная классификация грунтов	23
§ 3. Разработка грунта дноуглубительными снарядами	27
§ 4. Устройство подводных траншей канатно-скреперными установками	33
§ 5. Разработка подводного грунта экскаваторами	37
§ 6. Разработка подводных траншей и котлованов средствами малой механизации	40
§ 7. Устройство подводных траншей и котлованов взрывным способом	48

Глава III

КРЕПЛЕНИЕ ОТКОСОВ И УКЛАДКА КАМЕННЫХ ПОСТЕЛЕЙ

§ 1. Расчет устойчивости искусственных покрытий земляных откосов	53
§ 2. Способы укрепления откосов и пологих берегов	59
§ 3. Бетонные и железобетонные одежды	68
§ 4. Расчет шпунтовых стенок	71
§ 5. Расчет анкерных конструкций	77

Глава IV

ПОДВОДНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

§ 1. Назначение и выбор материала	79
§ 2. Подготовка к работам по укладке трубопровода	80
§ 3. Расчет подводного трубопровода	84
§ 4. Изоляция трубопровода	93
§ 5. Укладка трубопроводов с опор способом свободного погружения	98
§ 6. Укладка способом протаскивания по грунту	102
§ 7. Соединения, прнгрузка, испытания и ремонт трубопровода	108

Глава V

ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

§ 1. Опускные колодцы	113
§ 2. Массивы-гиганты	125

§ 3. Постройка слипов и эллингов	128
§ 4. Укладка кабелей	129
§ 5. Подводное бетонирование	132
§ 6. Подводные взрывные работы	134
§ 7. Подводная сварка и резка металла	137
§ 8. Подводная очистка и окраска поверхностей. Промерочные работы	139

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Расчет шпунтовой стенки по графикам	141
Приложение 2. Сортамент стальных профилей шпунтовых свай	146
Приложение 3. Вес труб в воздухе и в воде	150
Приложение 4. План строительства водозабора на Волге	152
Приложение 5. Характеристика плавучих кранов	153
Приложение 6. Размер и вес адмиралтейских якорей и железобетонных якорей-присосов	153
Приложение 7. Комплект водолазной станции с вентилируемым снаряжением	154
Приложение 8. Водолазные сигналы	154
Приложение 9. Сила ветра по международной шкале Бофора	155
Литература	157

Эммануил Григорьевич Годес

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
СПРАВОЧНИК.**

Редактор издательства Л. В. Партизенкова
Обложка художника М. А. Бычкова
Технический редактор В. В. Живнова
Корректор Е. Д. Довлатова

Сдано в набор 17/XII 1973 г. Подписано к печати 20/V 1974 г. М-36495. Формат
бумаги 84×103¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Усл. печ. л. 8,4. Уч.-изд.
л. 10,99. Изд. № 1460-Л. Тираж 11 000 экз. Заказ № 896. Цена 55 коп.

Стройиздат, Ленинградское отделение
191011, Ленинград, пл. Островского, 6

Ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградская типография № 2 имени Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
198052, Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.