

ДЕП

А. Я. ПОПОВ.

621.6
П 57

А. Я. Попов

ДЕРЕВЯННЫЕ ТРУБЫ

170777979

Цена 2 руб. 50 к.



СТРОЙИЗДАТ

1932

САВРИМОВИЧ И. А., проф.

Подводные основания

(с 486 рис.)

Пособие для студентов ВУЗов и инженерно-технического персонала.

Стр. 432

Ц. 4 р. 50 к., перепл. 60 к.

Свайные работы. Металлические сваи и бетонные сваи, водоотлив. Водолазное дело. Устройство типовых оснований. Опускные колодцы, кессоны и перемычки.

ВИГАНД К. П., инж.

Рациональные типы и стандарты фабрично-заводских корпусов и вспомогательных построек

(с 58 черт. в тексте)

Стр. 64+4 вкл. л.

Ц. 1 р. 50 к.

Сводка главнейших американских стандартов и типов фабрично-заводских и вспомогательных корпусов, нашедших широкое применение в американском промышленном строительстве.

ПОГАРСКИЙ С. И. и НИЧИПОРОВИЧ А. А.

Исследование режима насосов, влекомых арыком Баз-су

(с 42 рис.)

Стр. 75+2 вкл. л.

Ц. 1 р. 50 к.

САХНОВСКИЙ, К. В.

Железобетонное сооружение

Часть 4

Общие сведения о железобетоне. Опытные исследования. Перекрытия. Столбы и колонны. Рамные конструкции.

(с 475 черт. и 19 рис.)

Изд. 3-е, перераб. и дополн.

Стр. 432

Ц. 4 р. 50 к., перепл. 1 р.

Пособие для инженерно-технического персонала и студентов ВУЗов

Всесоюзный научно-исследовательский институт
водоснабжения и санитарной техники
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

А. Я. ПОПКОВ

ДЕРЕВЯННЫЕ ТРУБЫ



РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ

МОСКВА

1982

ЛЕНИНГРАД

ПРЕДИСЛОВИЕ.

За последние несколько лет мы чувствуем значительный дефицит в металле, производство коего не поспевает за бурным развитием нашей промышленности, нашего строительства, нашего сельского хозяйства.

В связи с таким положением техническая мысль уже давно работает над разрешением проблемы замены металла какими-либо другими материалами, и в частности деревом, там, где это является технически целесообразным.

Одной из таких проблем явилась замена металлических труб деревянными. Эту проблему для наших условий технически обосновал и проработал Государственный научно-мелиорационный институт, влившийся ныне в Институт гидротехники, при котором в 1925/26 гг. была основана Лаборатория и опытная мастерская деревянных труб, положившая начало новой в Союзе отрасли промышленности и превратившаяся теперь после многих преобразований в завод деревянных труб им. Ворошилова.

Нужно также отметить, что санитарный сектор Гос. института сооружений — теперь Всесоюзный институт водоснабжения и санитарной техники — провел большую работу по дальнейшему изучению деревянных труб.

Нельзя не назвать имен отдельных работников, отдавших много энергии и труда организации нового в Союзе дела. Эти имена: ныне умерший Ю. Н. Осекин, тогда студент Ленинградской лесотехнической академии, бывший моим первым сотрудником по организации опытной мастерской при Научно-мелиорационном институте, и двое рабочих А. Г. Климов и А. А. Вальт.

По организации же завода в Ленинграде много сил и энергии вложили первый директор завода И. А. Львов, зав. коммерческой частью Н. П. Евгеньев и первый зав. производством инж. М. Г. Кучер.

Возникновение новой отрасли промышленности, вызвавшей строительство нескольких десятков новых заводов, потребовало соответствующей производственной литературы, и автор, работающий над деревянными трубами с самого начала возникновения у нас этого дела, взял на себя задачу написать труд, который, он надеется, принесет пользу хозяйственникам, производственникам и проектировщикам, занимающимся вопросами изготовления и применения деревянных труб.

А. Я. Попков.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Введение	5
2. Исторический обзор	6
3. Подразделение деревянных труб	9
4. Материал для изготовления деревянных труб	14
5. Спецификация частей деревянных труб	28
6. Детали конструкции деревянных труб	39
7. Способы изготовления деревянных труб	60
8. Опоры деревянных труб	75
9. Расчет деревянных труб	83
10. Свойства, достоинства и недостатки деревянных клепочных труб	155
11. Стоимость деревянных труб	177
12. Сравнение деревянных труб с трубами из других материалов	182
13. Укладка и сборка деревянных труб	184
14. Меры предохранения деревянных труб	194
15. Вопрос об испытании деревянных труб	196
16. Область применения деревянных труб	197
17. Примеры некоторых установок	200
18. Литература	208
19. Приложение	211

1. Введение.

К настоящему моменту во весь рост встал вопрос о дефиците металла, в частности о дефиците железных и чугунных труб.

Насколько остро стоит этот вопрос, видно из нижеследующих цифр, составленных Всесоюзным объединением «Сталь» и характеризующих потребность в чугунных водопроводных трубах за прошлые годы и в текущем году. Цифры даны в тысячах тонн.

Г о д ы .	1929/30	1930/31	1931/32	1932/33
Потребность	307	409	702	913
Производство	160	180	333	681
Процент удовлетворения .	52	38	47	75
Дефицит	147	229	369	232

В связи с таким положением возникла идея о замене труб чугунных и железных какими-либо неметаллическими трубами. Техническая мысль за последние годы работает над постановкой производства труб асбо-цементных, железобетонных (центробежных), асфальто-песочных, деревянных и др. До сего времени в заводском масштабе удалось поставить лишь производство деревянных клепочных труб. По постановлению Президиума ВСНХ от 13 января 1931 г. было намечено к выпуску уже в прошлом году 1700 км деревянных труб, а в ближайшие годы предполагено довести выпуск деревянных клепочных труб до 7000 км, что значительно смягчит дефицит в металлических трубах.

На русском языке по этому вопросу имеются лишь небольшие статьи, составленные почти исключительно на основании иностранных источников, и нет труда, где были бы систематически изложены все вопросы, касающиеся деревянных труб, их сущности, способов, изготовления, расчета, постройки и пр.

Автор задался целью, хотя бы до некоторой степени, заполнить пробел в русской технической литературе и вместе с тем дать инженерам, занимающимся этими вопросами, некоторое руководство и представление о состоянии техники в этой области, а также помочь заинтересованным лицам в деле организации производства деревянных труб.

Автору настоящего труда в 1925 г. Государственным научно-мелиорационным институтом было поручено поставить опытное производство деревянных клепочных труб, разработать методы производства, способы постройки и конструкции применительно к нашим условиям и, освоив это дело, изучив его, дать основания к введению этой новой у нас продукции в хозяйственный оборот страны.

С тех пор дело, начатое в 1925 г., неуклонно растет. Оно уже давно переросло рамки опытной работы и испытаний, намечены к пуску в ход и частью пущены новые заводы деревянных труб, деревянные трубы проникли во все области гидротехники, что видно из следующих цифр,

показывающих выпуск ленинградского завода деревянных труб в погонных метрах:

В 1927/28 г.	2 500
В 1928/29 г.	22 000
В 1929/30 г.	180 000
В особый квартал 1930 г.	73 000
В 1931 г.	400 000

В процессе работы по организации опытной мастерской и завода, в процессе производства и проектирования новых заводов, автору пришлось ознакомиться почти со всей существующей литературой, главным образом на английском, на немецком и отчасти на шведском языках, приобрести также собственный опыт как по организации этого дела, так и по производству и постройкам. Систематическое изложение как данных литературы, так и данных собственного опыта и составляет содержание настоящего труда. Ссылки на соответствующих авторов имеются в тексте.

Помимо чисто практических вопросов пришлось провести и вести в настоящее время научно-исследовательскую работу в этой области, что ныне и сосредоточено во Всесоюзном институте водоснабжения. И если честь первоначального введения этого дела в хозяйственный оборот страны принадлежит Государственному научно-мелиорационному институту, то для дальнейшего продвижения его, для научного обоснования вопросов, касающихся деревянных труб, много сделал Всесоюзный институт водоснабжения.

Автор надеется, что его труд послужит к тому, что идея деревянных труб получит у нас полное право гражданства, благодаря чему будет освобожден и употреблен на совершенно неотложные нужды металл, каждый килограмм которого так дорог при происходящей реконструкции нашего хозяйства.

Автор считает, что его цель будет достигнута, если хозяйственники, производственники, а также лица, проектирующие заводы деревянных труб и деревянные трубопроводы, найдут на этих страницах ответы на интересующие их вопросы.

2. Исторический обзор.

Деревянные трубы берут свое начало в глубокой древности. Можно сказать, что, как только человек перешел к оседлому образу жизни и почувствовал необходимость в подведении воды к своему жилищу, он начал пользоваться для этой цели деревянными трубами.

Существуют указания, что один из наиболее древних деревянных водопроводов существовал в Малой Азии.

Археологические исследования обнаруживают остатки деревянных водопроводов в древней Греции и Риме.

Первый нагнетательный насос был изобретен Ктезибием, одним из учеников Герона (150 л. до нашей эры). Насос был деревянный, а следовательно уже тогда была известна и идея применения деревянных труб.

Имеются сведения о сооружении в древней Греции водопроводов длиной до 17 км. Еще теперь находят отдельные камни, служившие по видимому опорами при прокладке деревянных трубопроводов. Камни эти представляют собой квадратные плиты со сторонами равными 1,20 м и коническим отверстием в середине. Диаметры входного и выходного отверстий отличаются друг от друга на величину равную уменьшению

толщины ствола на длине, соответствующей толщине плиты. О гончарном трубопроводе в данном случае не может быть речи, как в виду значительных давлений, которые гончарные трубы не смогли бы выдержать, так и потому, что никаких следов таких труб хотя бы в виде черепков обнаружено не было. Тщательное изучение инж. Рабовским¹ имеющихся источников привело вышеназванного автора к заключению, что в этом случае вопрос может идти только о деревянном водопроводе.

Старейшая организованная водная компания, упоминание о которой встречается в соответствующей литературе, возникла в Лондоне в 1916 г. Компания эта проложила много километров деревянных напорных труб.

Начиная с 1619 г. водоснабжение Лондона осуществлялось исключительно деревянными трубами. Через двести лет, уже в начале девятнадцатого столетия, эти трубы были заменены металлическими и не потому, что они пришли в негодность и отказывались служить, а потому что водопотребление города к этому времени значительно возросло, и деревянные сверленные трубы, имея ограниченную пропускную способность, не могли удовлетворить потребностей города в воде.

Таким образом деревянные напорные трубы были единственным способом водоснабжения Лондона в течение двух столетий. Раскопки, произведенные уже в новейшее время, обнаружили деревянные трубы, находившиеся в хорошем состоянии.

В Америку идея применения деревянных напорных труб была занесена, очевидно, колонистами, которые широко применяли деревянные трубы в своих хозяйствах. Что же касается употребления деревянных труб в Америке в более широком масштабе, то, как на наиболее древний пример, можно указать на систему общественного водопровода в Бостоне, которая была сооружена в 1652 г., причем для нее были употреблены исключительно деревянные трубы. В Бостоне деревянный водопровод просуществовал до 1796 г., т. е. около 150 лет.

Деревянными же трубами обслуживалось первое водоснабжение Нью-Йорка и других городов теперешних САСШ.

Можно также указать на пример американского города Фейетвилля, где 2" деревянный трубопровод был уложен в 1829 г. Трубопровод этот существует и действует по настоящее время.

В Константинополе в течение более чем двух столетий водоснабжение происходило по деревянным трубам, и по сие время часть этого города снабжается водой таким же способом.

Вообще же в Европе до XVII века в водопроводном деле употреблялись почти исключительно свинцовые трубы. Начиная с XVII века они стали постепенно вытесняться деревянными, которые и получили тогда значительное распространение.

В России также употреблялись в водопроводном деле деревянные трубы. Как на пример применения этих труб можно указать на построенный в 1807 г. Пулковский водопровод, который состоит из деревянных сверленных труб, общей длиной около 7,5 км. Длина отдельных ответвлений доходит до 100 м. Соединение труб между собою достигалось путем обработки на конус одного конца трубы с наружной стороны и другого конца с внутренней. Таким образом одно звено трубопровода соединялось с другим путем вставки друг в друга обработанных на конус концов.

¹ Н. Рабовский. Holzdaubenröhre.

Иной раз на концах труб делалась выточка с внутренней стороны, и в эту выточку вставлялась дубовая втулка.

Водопровод этот существует таким образом уже больше 120 лет и действует по настоящее время.

В 1923 году он был осмотрен и потребовал после больше чем столетнего срока службы самого незначительного ремонта.

Во всех вышеуказанных примерах применялись трубы, изготовленные из целых древесных стволов путем высверливания сердцевины стволов (рис. 1). Такие трубопроводы до начала XIX в. встречались во многих городах С. Америки и З. Европы, причем нередко для водоснабжения города укладывали параллельно несколько напорных линий такого типа в виду того, что внутренний диаметр таких труб, а, следовательно, и их пропускная способность ограничена диаметром стволов, из которых делались трубы, и необходимой толщиной стенок.



Рис. 1. Сверленные деревянные трубы.

Следующим шагом, способствовавшим улучшению деревянных труб, было устройство стенок таких труб из отдельных частей, чем достигалась независимость диаметра труб от диаметра бревна. Стенки этих труб делались из отдельных частей трапециевидного вида (рис. 2).

Отдельные звенья собирались из таких частей, имеющих вид равно-сторонних трапеций с большими высотами в форме усеченного конуса, стягивались железными обручами, вставлялись тонкой частью конуса в толстую и вгонялись друг в друга на длину нескольких сантиметров.

Таким образом в трубах, устроенных по этому способу, диаметр уже не зависел от диаметра бревна и мог быть значительно увеличен, но все же такие трубы не могли изготовляться любого диаметра, следо-

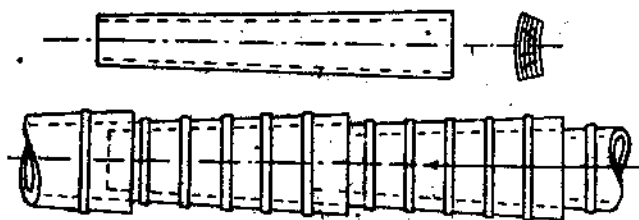


Рис. 2. Звенные трубы из конической клепки.

вательно расход в них был также ограничен, а главное, вследствие резких изменений сечения получались вихри, которые создавали потери напора, достигавшие совершенно недопустимых величин.

С появлением на рынке чугунных труб эти последние быстро вытеснили деревянные трубы вышеописанных типов. Однако, в Америке в середине XIX столетия, а в З. Европе за последнее время в связи с вздорожанием металла, вновь стало наблюдаться тяготение к деревянным трубам, причем методы их изготовления и постройки совершенно изменились, в связи с чем и область их применения значительно расширилась.

В современных деревянных трубах — трубах, собранных из отдельных клепок, уничтожены все недостатки старых деревянных труб,

как в смысле возможности строить трубы любого диаметра, так и в смысле устранения гидравлических потерь и способности воспринимать большие давления.

Появление деревянных клепочных труб современного типа относится к 1872 г., когда в Америке была построена первая такая труба. Начиная с этого времени деревянные клепочные трубы получили в Америке самое широкое распространение. В этой стране существуют водоподводящие системы деревянных труб общей длиной свыше полутораста километров и действует до 50 заводов, изготавливающих трубы названного типа. Из стран З. Европы эти трубы наибольшее распространение получили в Германии, где в ряде городов подвод воды осуществлен помощью деревянных клепочных труб. Можно указать на пример города Гота, где существует деревянный трубопровод длиной 16 км.

У нас еще в 1892 г. на одном из уральских заводов была построена кустарным способом деревянная труба диаметром 1000 мм, которая существует и работает до настоящего времени, т. е. уже 40 лет. Но особенное распространение эти трубы получили с 1926—27 г., когда после опытов, проведенных автором настоящего труда в Ленинградском государственном научно-мелиорационном институте, идея применения деревянных клепочных труб начала завоевывать свое место в строительной практике страны.

Нужно сказать, что до последнего времени у нас в Союзе имелся лишь один завод деревянных труб, вышедший и преобразовавшийся из опытной мастерской Государственного научно-мелиорационного института.

О степени распространения этих труб в настоящее время у нас можно судить по цифрам, приведенным на стр. 6.

На 1932 операционный год назначено к выпуску 800 000 м труб; кроме того начаты постройкой заводы на Урале и в других местах. Некоторые организации предполагают поставить производство деревянных труб при имеющихся деревообделочных заводах, так что не пройдет и года как выпуск деревянных труб будет считаться у нас миллионами метров в год.

3. Подразделение деревянных труб.

В настоящее время на ряду с употреблением деревянных сверленных труб, применение коих в некоторых случаях может быть оправдано, употребляются главным образом деревянные клепочные трубы; последние по роду изготовления разделяются на трубы, так называемые *непрерывные* и трубы, которые называются по способу их изготовления — трубами *машинно-обмоточными* и которые мы в дальнейшем будем именовать *звеньевыми*.

Употребляются в некоторых случаях также трубы, представляющие комбинацию труб последних двух типов.

Деревянные сверленные трубы представляют собой стволы, сердцевина коих высверливается (рис. 1).

Концы получившейся таким образом трубы обрабатываются обыкновенно на конус с таким расчетом, чтобы один конец трубы, будучи забит в другой, также обработанный на конус, но с внутренней стороны, давал плотное соединение. Нередко в таких трубах применяются железные стяжки, охватывающие в нескольких местах трубу по ее окружности и способствующие сопротивлению такой трубы внутреннему давлению. Стяжки эти делались из полосового железа.

К несомненным достоинствам этих труб относится их ни с чем несравнимая долговечность. Из приведенных в главе I примеров видно, что эти трубы, находясь под постоянным напором, могут служить 100, 200 и более лет, т. е. в благоприятных случаях работы их можно считать вечными.

Однако, несмотря на это качество, их нельзя применять для сколь угодно значительных расходов; значительная часть древесины при высверливании сердцевины пропадает бесполезно. Хотя они выдерживают довольно большое давление, но в таком виде, как они до сих пор изготовлялись, стенки трубы не поддаются расчету на внутреннее давление в виду многих причин, не позволяющих установить то или другое допускаемое напряжение на разрыв дерева от внутреннего давления.

Кроме того диаметр этих труб ограничен как, выше сказано, диаметром ствола, из которого они сделаны. Как максимальный внутренний диаметр названных труб можно принять 150 мм.

Ниже приведена таблица, где подсчитан бесполезный отход древесины при изготовлении сверленных деревянных труб.

ТАБЛИЦА 1.

№№ по пор.	Внутр. диам. трубы в мм	Диам. бревна в мм	Толщина стенок трубы в мм	Кубатура бревна на 1 п м в м ³	Кубатура высвер. части на 1 п м в м ³	Потеря в %
1	25	100	37,5	0,03	0,002	6,6
2	50	125	37,5	0,05	0,008	17
3	75	150	37,5	0,07	0,002	28
4	100	200	50,0	0,126	0,003	24
5	125	225	50,0	0,159	0,05	31
6	150	250	50,0	0,196	0,07	36

Кроме того, как видно из таблицы, стенки сверленных труб имеют значительную толщину, что усугубляет нерациональное использование древесины.

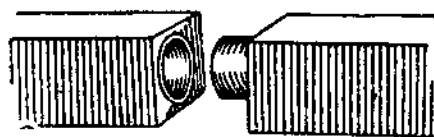


Рис. 3. Цилиндрическое соединение сверленных американских труб.

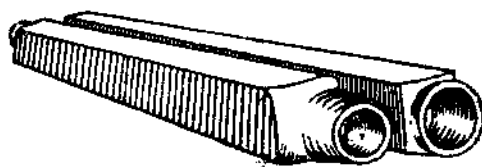


Рис. 4. Коническое соединение сверленных американских труб.

Все же можно сказать, что при небольших расходах и напорах деревянные сверленные трубы вполне могут себя оправдать.

Американцы и применяют такие трубы, делая их для удобства обращения с наружной стороны не круглыми, а обрабатывая кругляки, из которых высверливаются трубы на четыре канта. В этих случаях, употребление сверленных деревянных труб, может быть, представляет ту выгоду, что для изготовления их нужен малоценный тонкий лес.

Американцы применяют вышеназванные трубы с двумя видами соединений: с цилиндрическим соединением (рис. 3) и с коническим (рис. 4),

во втором случае для соединения их применяется железный или стальной бандаж, стягивающий соединенные части с наружной стороны.

Приводим американские данные для этих труб.

ТАБЛИЦА 2

Диам.		Размеры брусков дм	Наиб. напор м	Диам.		Размеры брусков дм	Наиб. напор м
дм	мм			дм	мм		
2	50	4 1/2 × 4 1/2	8	4	100	9 × 9	20
3	75	6 × 6	6,5	4	100	10 × 10	23
3	75	7 × 7	13	5	125	9 × 9	13
3	75	8 × 8	16,5	5	125	10 × 10	13
4	100	7 × 7	10	6	150	10 × 10	10
4	100	8 × 8	13				

В некоторых случаях употребления деревянных сверленных труб применялась армировка их помощью железных колец, надеваемых на трубу через некоторое расстояние друг от друга. Такая армировка увеличивает сопротивление трубы внутреннему давлению, но, конечно, удорожает их и создает слабые места в виде железных хомутов, которые подвержены ржавлению.

Клепочные деревянные трубы по способу изготовления делятся на трубы непрерывные и трубы звеновые.

Непрерывные клепочные трубы состоят из клепок, собираемых в цилиндр определенного диаметра, стягиваемый железными бандажами.

Для труб этого типа на заводе изготавливаются лишь отдельные части, а именно клепка определенной ширины, толщины и длины, железные бандажи и башмаки, с помощью которых эти бандажи затягиваются на трубе.

Такие трубы собираются не отдельными звеньями, а непрерывным соединением одной клепки с другой (рис. 5).

Клепки присоединяются друг к другу в перевязку (рис. 5, б) и скрепляются бандажами круглого железа диаметром от 9,50 мм (3/8") до 25 мм (1") помощью башмаков различных типов.

Непрерывные трубы изготавливаются диаметром от 300 мм до нескольких метров. Наибольшая труба этого типа построена на р. Кlamat в Калифорнии и имеет диаметр 4,9 м. У нас труба с наибольшим диаметром (2,50 м) построена в Алхан-чурте (Ингушетия). В ближайшем будущем будут построены трубы диаметром 3,00, и 3,50 и 4,00 м.

Трубы звеновые в отличие от труб непрерывных изготавливаются на заводе отдельными звеньями длиной от 1,5 до 6,50 м. Они так же, как и непрерывные трубы, собираются из отдельных клепок, но в качестве арматуры для них служат не отдельные бандажи, а проволока диаметром от 2,5 до 7 мм, спирально навиваемая на трубу во время изготовления ее на особом станке с натяжением около 1500 кг/см² (рис. 7а, б).

Эти трубы изготавливаются у нас диаметром от 75 до 500 мм; в Америке от 50 мм до 600 и даже до 800 мм.

Концы их обрабатываются соответствующим образом для соединения их друг с другом. Соединение достигается или путем простой вставки кон-

цов трубы друг в друга, или помощью деревянных или железных муфт, типы которых описаны ниже в главе 6.

Наибольшее давление, которое практикуется для этих труб в Америке, это 12 атм.

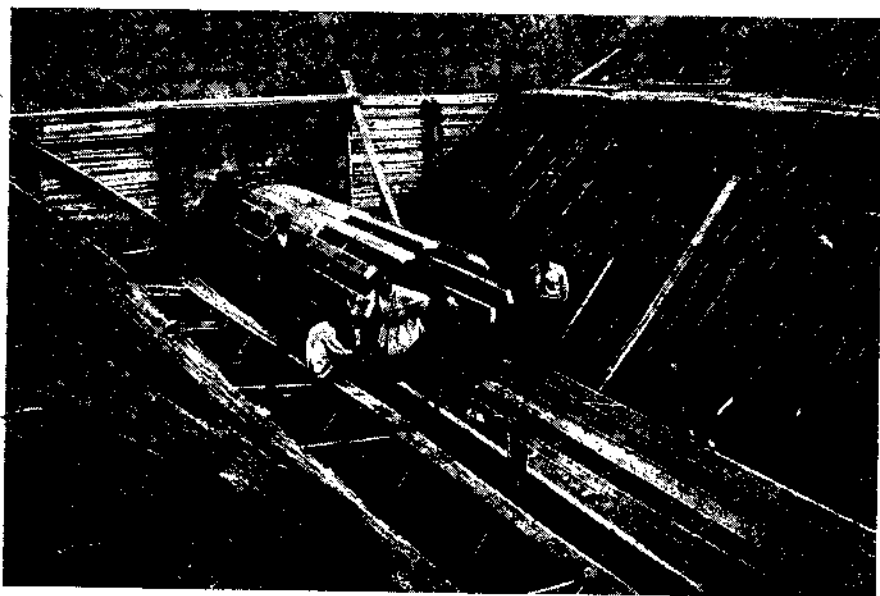


Рис. 5. Сборка непрерывной трубы.

В Америке употребляют еще другие типы деревянных труб, а именно: Первый тип появился впервые в Америке в 1911 г. Отличается он от вышеописанных тем, что в нем соединены принципы непрерывной трубы с принципом трубы звеновой.

Труба собирается на месте работ, как непрерывная, но вместо отдельных бандажей, скрепляющих обычно непрерывную трубу, применяется спиральная обмотка трубы проволокой, как это делается в звеновых трубах.

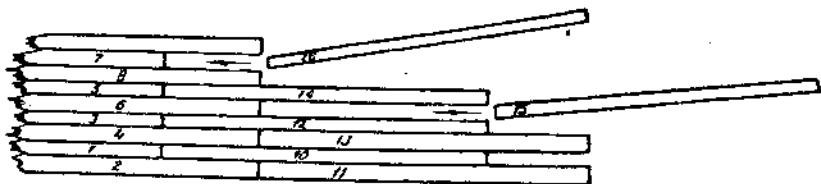


Рис. 6. Схема сборки непрерывной трубы.

Обмотка такой трубы на месте работ производится помощью особой машинки.

Машинка эта, имеющая как круговое, так и поступательное движение по трубе, а также натяжной аппарат, приводится в движение небольшим пневматическим двигателем.

Такие трубы построены в нескольких местах в Калифорнии, причем одна из них имеет диаметр 250 мм и 61 м напора.

Преимуществом этих труб американцы считают их дешевизну по сравнению с трубами упомянутых ранее типов, а главное то, что здесь устраняется наиболее слабое место звеновых труб—стыки, что, конечно.

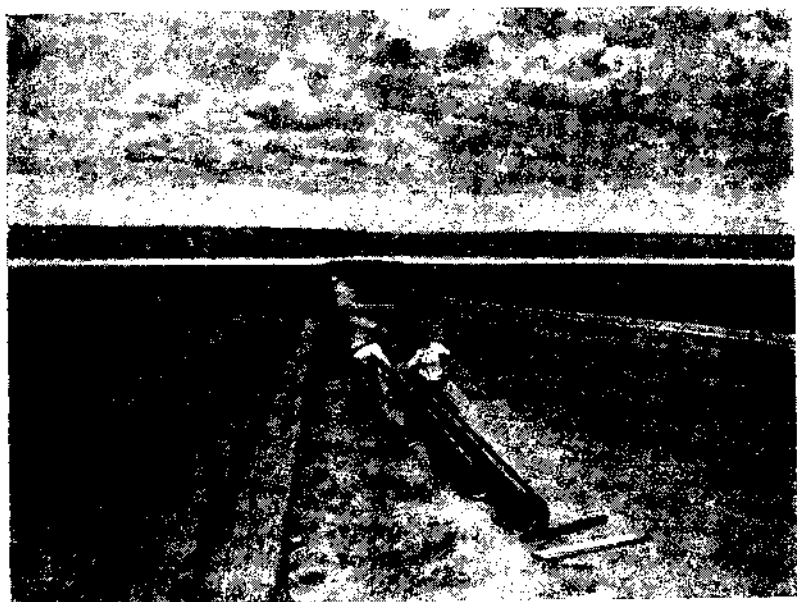


Рис. 7а, б. Звеновые трубы.

является большим достоинством. Как на положительную сторону их можно указать также на удобство транспорта: клепку и проволоку в кругах транспортировать каким бы то ни было способом, конечно, удобнее и дешевле, чем готовые трубы.

Существует и второй тип деревянных труб, — обратный описанному. Трубы большого диаметра собираются на месте работ отдельными звеньями, стянутыми бандажами вручную, как это делается при сборке непрерывных труб, а эти отдельные звенья соединяются вместе по способу соединений звеновых труб. Способ этот употребляется в местах, где

требуется труба большого диаметра, а вместе с тем нельзя применить обыкновенный непрерывный трубопровод из-за тесноты места и неудобства обращаться с длинными клепками и ставить бандажи (рис. 8).

У нас такая труба уложена на Казакском крахмало-паточном заводе, где

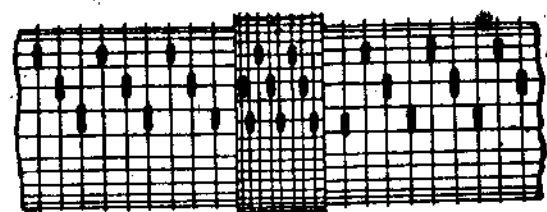


Рис. 8. Непрерывная труба, соединяемая муфтой

в силу того, что траншея во время укладки была совершенно залита водой, пришлось из доставленных клепок непрерывной трубы диаметром 500 мм собрать на месте работ отдельные звенья и, таким образом, уложить трубопровод.

4. Материалы для изготовления деревянных труб

Одним из наиболее важных вопросов при изготовлении и постройке деревянных труб является выбор материала, так как от его качества зависят, помимо других причин, долговечность труб, их водонепроницаемость, а также и другие свойства, о которых речь будет ниже.

Для изготовления деревянных клепочных труб употребляются следующие материалы: а) дерево в виде досок или брусков той или иной ширины и толщины, б) сортовое круглое железо, в) проволока, г) чугунные или железные башмаки, е) смесь битумных веществ.

Основным материалом при изготовлении деревянных труб является дерево, а потому на качество его нужно обратить самое серьезное внимание.

Требования, которым должен удовлетворять лесной материал, идущий на изготовление труб, следующие: дерево должно быть крепким, здоровым, мелкослойным, без свилеватости, без сучков и смоляных мешков. Дерево должно иметь наибольший удельный вес, свойственный данной породе. На строении дерева это сказывается таким образом: каждое годичное кольцо должно иметь тонкий весенний слой и широкий, плотный и прочный осенний.

Сердцевинные трещины не должны идти глубже, чем на $\frac{1}{8}$ толщины клепки. Сучки, исключительно здоровые и односторонние, не должны занимать по ширине более $\frac{1}{8}$ клепки, а по длине ее не должны быть расположены ближе, чем в 400 мм друг от друга. Сквозные сучки не допускаются. Заболонь можно допустить, если она имеет толщину, не превышающую $\frac{1}{3}$ толщины клепки.

Вообще же заболонь лучше не допускать совсем, так как ее наличие показывает, что взят лес, рост которого не закончен, а, следовательно, он не обладает прочностью созревшего леса, и срок службы труб, изготовленных из такого леса, естественно меньше. Небольшая поверхностная синева может быть допущена. Лес с сильной, глубоко идущей синевой,

которая указывает на присутствие грибка *Ceratostoma piliferum*, не может быть допущен, так как этот грибок, находящийся в какой-либо из клепок, может заразить и соседние здоровые клепки.

Пиломатериал, идущий в дело, должен быть исключительно сухой и при этом желательна естественной сушки в продолжение 1 — 2 лет.

Только что срубленный хвойный лес имеет 40 — 65% влажности. При таком содержании влаги лес уже не способен разбухать. А разбухание, т. е. увеличение объема клепки под влиянием влажности, создает водонепроницаемость деревянных труб, поэтому сырой лес для этой цели ни в коем случае применять нельзя.

Лес воздушно сухой, т. е. не отдающий более на воздухе влаги, содержит ее около 15%. Поры такого леса влаги почти не содержат, вся она в этом случае находится в стенках клеток. Полное насыщение стенок клеток происходит при содержании влажности в дереве 30%.

Поэтому для создания водонепроницаемости в деревянных трубах, необходимо, чтобы клепки были изготовлены из пиломатериала, содержание влажности в котором не превосходит 15% и лучше даже составляет около 12%.

Естественная сушка дерева должна продолжаться не менее 1—2 лет. При воздушной сушке доски предпочтительно сначала укладывать на ребро, а потом, когда они несколько подсохнут, плашмя. Лучше всего сохнут доски, поставленные на торцы, но такой способ сложен и связан со многими неудобствами.

При естественной сушке нужно образовывать большие запасы леса, который лежит мертвым капиталом. Поэтому и в Америке, и в З. Европе, и у нас применяют искусственную сушку в специальных сушилах того или иного типа.

Конечно, искусственную сушку пиломатериала, идущего для изготовления деревянных труб, нужно производить крайне осторожно, ее нельзя форсировать. Повышение температуры необходимо производить очень постепенно с обязательным присутствием тока влажных паров, но и чрезмерно медленная сушка может повести к появлению так называемых паровых трещин, а также и к тому, что дерево делается рыхлым.

Перед употреблением брусков в работу необходимо лабораторное определение влажности.

Что касается расположения в клепке годичных колец, то немецкие данные рекомендуют, хотя и не обязательно, такое расположение годичных колец в клепке, чтобы они шли параллельно окружности трубы, т. е. тангенциальное расположение (рис. 9). Это требование объясняется тем, что при таком расположении годичных колец дерево разбухает сильнее, а следовательно, и водонепроницаемость труб лучше обеспечивается. С другой стороны в этом случае сердцевинные лучи имеют радиальное расположение, и, если они идут глубоко в толщину клепки, то это, во всяком случае, не полезно. Не глубоко идущие сердцевинные лучи забухают хорошо.

Другое расположение годичных колец — радиальное, имеет также свои достоинства (рис. 10) в том отношении, что при нем, как будто,



Рис. 9. Клепка с радиальным расположением годовичных колец.

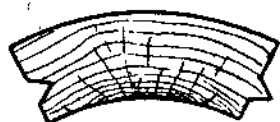


Рис. 10. Клепка с тангенциальным расположением годовичных колец.

должно получаться более равномерное пропитывание древесины клепки водой, а полное и равномерное пропитывание клепки водой обеспечивает долговечность труб.

В лаборатории деревянных труб Всесоюзного института водоснабжения были проделаны опыты с трубами, собранными из клепок с тем и другим расположением годичных колец, причем выяснилось, что для сосны и ели расположение годичных колец почти не влияет на пропитывание клепки водой и размеры утечки. У ели же при различном расположении годичных колец выступление капель при первоначальном гидравлическом давлении, а также и дальнейшее пропитывание водой и набухание клепки шло совершенно одинаково.

Вообще в нашей практике мы не следим за расположением годичных колец пиломатериала, так как наши лабораторные исследования не дали основания судить о преимуществах того или иного расположения их, а твердых указаний в заграничной литературе по этому вопросу не имеется. Вместе с тем введение одного из названных требований в технические условия для пиломатериалов, идущих на изготовление деревянных труб, чрезвычайно затруднило бы выборку этого материала для производства.

В большинстве случаев для изготовления деревянных клепочных труб идут мягкие смолистые породы. В З. Европе употребляются: сосна, ель, пихта, лиственница. У нас: сосна, ель, лиственница. В Америке для этих целей употребляются и вышеперечисленные породы и, кроме того, кипарис, а также специально американские породы, Douglas fir и red wood.

Институт прикладной ботаники рекомендовал испытать для этой цели ольху. Ольха известна, как дерево, прекрасно поддающееся обработке и хорошо сохраняющееся в воде. Как известно, Венеция построена на ольховых сваях, так же как и мосты через Дунай, воздвигнутые еще во времена Траяна.

ТАБЛИЦА 3.

Название породы	Содержание смолы в м ³ древес. в кг	Удельный вес
Сосна	18,7 — 19,6	0,506 — 0,463
Ель	3,5 — 6,6	0,400 — 0,412
Лиственница	17,4 — 18,8	0,626 — 0,463
Пихта	3,1 — 8,2	0,373 — 0,423
Американские породы.		
Кипарис	—	0,60
Сосна длиннохвойная	— 6,1	— 700
Сосна Веймутова	16,7 — 21,1	0,343 — 0,386
Дугласова сосна	— 9,2	— 0,476
Красное дерево	—	—

Нами были поставлены опыты с трубами, сделанными из ольхи. Трубы эти, подвергнутые давлению, показали, что ольховая клепка очень хорошо и равномерно пропитывается водой, причем она и пропитывается и разбухает быстрее и равномернее, чем сосна или ель. Отрицательные

свойства ольхи состоят в том, что ее сердцевина имеет рыхлое, быстро разрушающееся строение и большие размеры. Серцевина эта при выделке клепки должна безусловно удаляться. Это обстоятельство сильно влияет на выход клепки из ольховых брусков, что вместе с кривизной стволов ольхи и наличием сучков делают ее экономически невыгодной для производства деревянных труб.

В таблице 3 приведены данные о смолистости и удельном весе различных пород, идущих на изготовление деревянных труб.

Чтобы закончить эту часть, касающуюся дерева, приводим некоторые таблицы, характеризующие свойства древесных пород, употребляющихся для производства деревянных труб.

ТАБЛИЦА 4.

Порода дерева	Влажность	Величина разбухания в % (в средн.)		Величина разбухания при полн. нас. водой %		Увеличение веса от разбухания %
	Свеже-сруб. %	Вдоль волокон	Поперек вол. и по радиусу	Вдоль волокон	Поперек вол. и по радиусу	
Сосна	40	0,12	4,50	0,12	5,70	75
Ель	45	0,08	6,20	0,08	6,20	70—170
Лиственница	26	0,08	6,30	0,08	6,30	80—120

ТАБЛИЦА 5.

П о р о д а	Вес 1 м³ древесины в кг			Средний вес кг
	Свеже-сруб.	Возд.-сух.	Искусств. сушка	
Сосна	900	650	480	760
Ель	900	400—600	430	600
Лиственница	800	620	440	650
Амер. сосна	—	780—1 030	—	900
То же	—	700	—	800

Среднее значение для временного сопротивления (в кг/см²) для доброкачественного, свободного от сучков воздушно-сухого леса (табл. 6).

Средние значения временного сопротивления воздушно-сухого леса (хвойного) (табл. 7). Твердость древесины (табл. 8).

Зависимость между удельным весом и прочностью (по Нордлингеру) (табл. 9). Влажность свежесрубленной древесины в процентах на различной высоте ствола (табл. 10). Зависимость между сопротивлением сжатию и шириной годовичных слоев (проф. Янка, Австрия) (табл. 11).

Долговечность различных пород (Песочкин) (табл. 12)

ТАБЛИЦА 6.

Порода	Модуль упру- гости	Растя- жение кг	Сжатие кг	Изгиб кг	Скалывание		Безоп. предел упругости
					вдоль вол.	поп. вол.	
Сосна . . .	Для растяжения	720—790	230—302	500	61	210	Для раст. 0,8
Ель	105 000—130 000	600—750	280—440	560	67	219	Для сжатия 0,4
Лиственница	Для сжатия 100 000—118 000	710—960	330—500	600	72	247	Изгиб 0,5 кв.

ТАБЛИЦА 7.

Род напряжения		кг/см ²
Растяжение		730
Сжатие		330
Изгиб		550
Скалывание вдоль волокон . .		65
Скалывание поперек волокон .		230
Сжатие поперек волокон . . .		40—70

ТАБЛИЦА 8.

Порода	Объемн. вес возд.-сух. дерева	Влаж- ность %	Твердость кг/см ²		
			В торц. плоск.	В радиальн. плоск.	В танг. плоск.
Сосна	0,526	12,5	344	231	237
Ель	0,419	13,5	281	160	182
Листв.	0,605	14,4	396	328	337

ТАБЛИЦА 9.

Порода	Уд. вес	Сопротивление в кг/см ²			
		Растяж.	Изгиб	Сжатие	Скручив.
Сосна	0,551	1065	973	444	51,4
Ель	0,420	734	688	363	52,6

ТАБЛИЦА 10.

Высота м	Содержание влажности	
	Сосна	Ель
1,5	35,2	37,2
7,7	36,2	36,7
10,8	40,0	40,1
13,9	45,2	45,8
17,0	51,6	51,3
20,1	56,4	53,6
23,2	58,6	58,6
26,3	—	61,6

ТАБЛИЦА 11.

Средн. ширина годичн. слоев	Уд. вес сух. дер.	Сопр. сжатию кг/см ²
0,8	42	405
1	41,6	400
2	39,6	374
3	37,8	348
4	36,5	322
5	35,7	306

ТАБЛИЦА 12.

Порода	Уд. вес	Долговечность лет		
		на чистом воздухе	в воде	в совершенно сух. месте
Сосна полусухая . . .	0,55 — 0,65	85	100	90
Ель полусухая . . .	0,5 — 0,6	75	50	75
Листвен. полусухая .	0,57	85	80	80

Ниже помещены диаграммы (рис. 11—15), характеризующие механические свойства древесины.¹

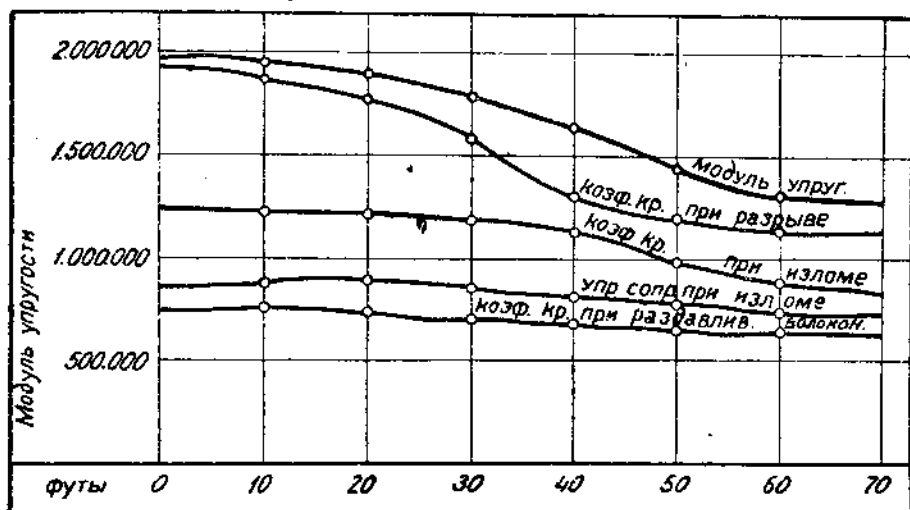


Рис. 11. Изменение крепости от расположения образца на высоте ствола. Длиннохвойная сосна (*Pinus silvestris*).

В дальнейшем, в главе, заключающей в себе расчет прочности деревянных труб, видно, что весьма важно знать те усилия, которые возникают в дереве от сил разбухания, а также сопротивление мокрого дерева, смятого поперек волокон.

¹ Так как диаграммы взяты из американских источников, то усилия обозначены в фунтах.

У нас, насколько известно автору, никогда не ставилось таких опытов и только в самое последнее время подобного рода испытания проводились автором в лаборатории Всесоюзного института водоснабжения.

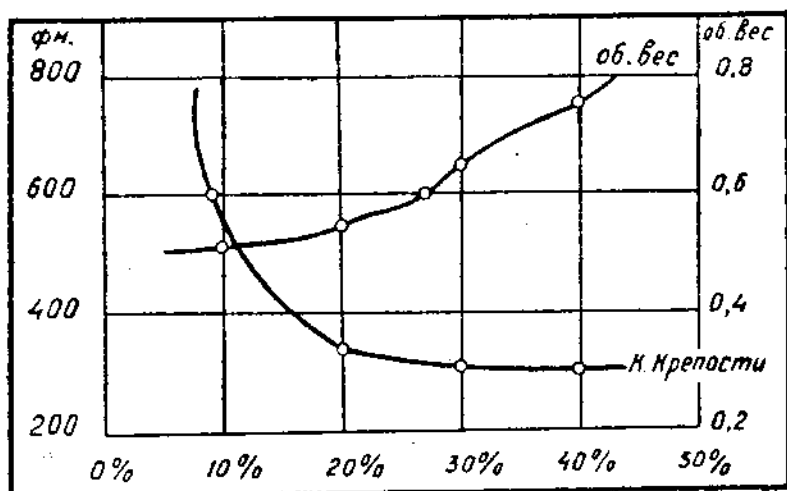


Рис. 12. Изменение коэффициента прочности при раздавливании и объемного веса в зависимости от влажности.

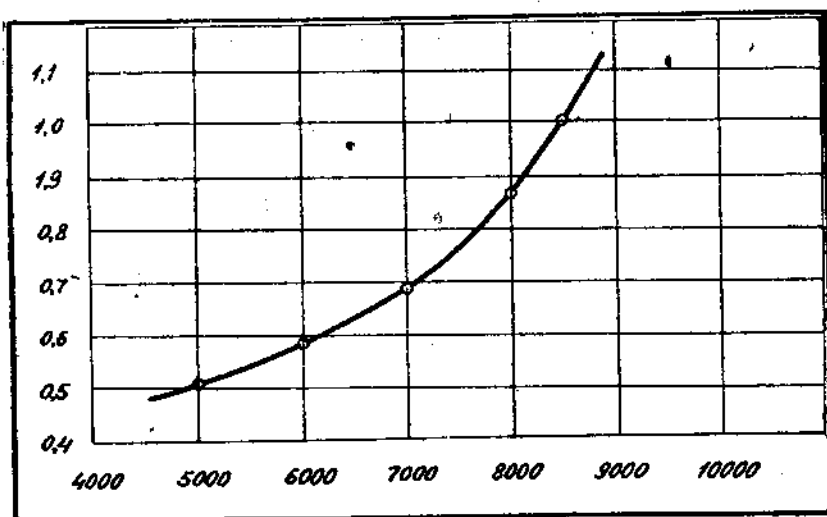


Рис. 13. Соотношение между прочностью при раздавливании параллельно волокнам и объемным весом при влажности 14%.

Некоторые результаты этих опытов приведены в гл. 15 настоящего труда и более подробно в сборнике Лен. отд. Института водоснабжения за 1932 г., посвященного деревянным трубам.

За границей такие опыты были произведены Шведским водяным строительным бюро в лаборатории испытания материалов высшей технической школы в Стокгольме.

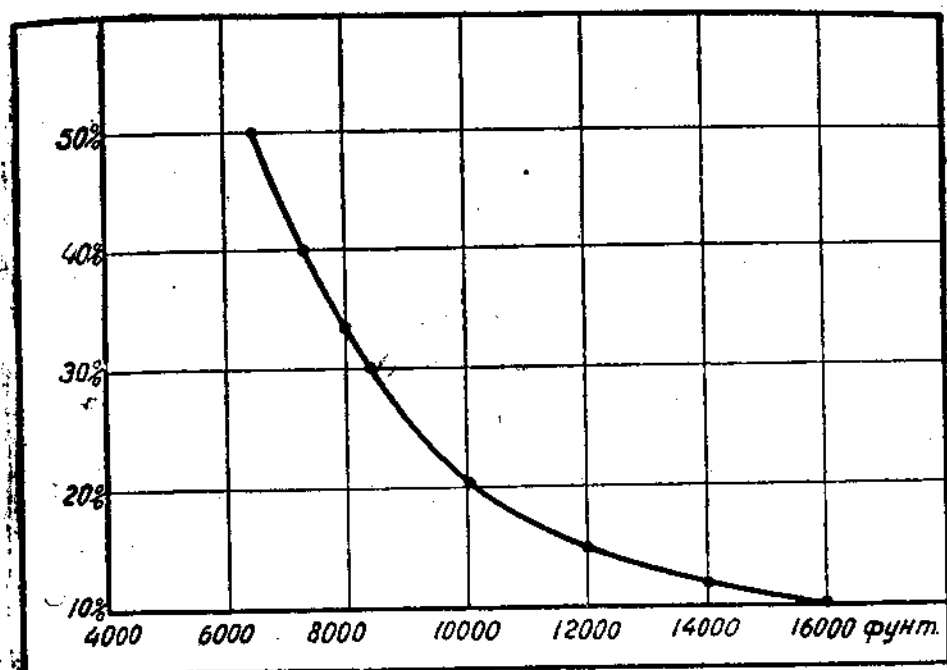


Рис. 14. Изменение прочности на излом в зависимости от содержания влаги (длинохвойная сосна).

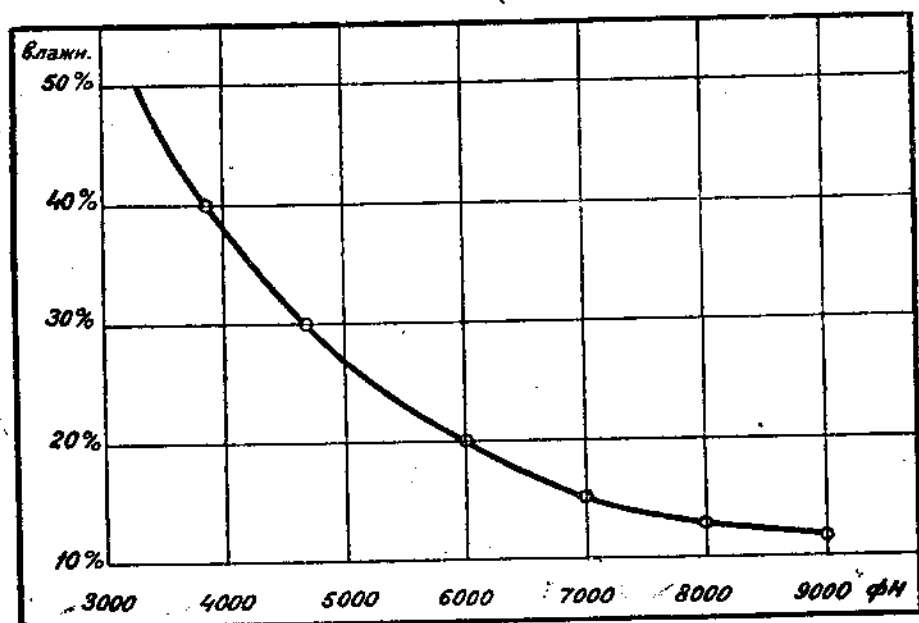


Рис. 15. Изменение прочности на раздавливание параллельно волокнам в зависимости от влажности.

Пробный кубик напитанного водой соснового дерева размерами $20 \times 20 \times 20$ см был подвергнут увеличивающемуся давлению при одновременном отсчете сжатия. В результате испытаний было найдено следующее:

1) модуль упругости дерева при сжатии поперек волокон — 1000 кг/см^2 ;

2) предел пропорциональности кругло — 15 кг/см^2 ;

3) предел разрушения при 35% давления кругло — 35 кг/см^2 .

Разрушение вследствие давления началось при 13 кг/см^2 , а при давлении 20 кг/см^2 дерево было совершенно разрушено. Это указывает на чрезвычайно незначительную сопротивляемость пропитанного водой дерева сжатию поперек волокон, составляющую примерно 15% силы давления параллельно волокнам.

Шведский инженер Samsioe нашел для двух 45 см клепок сечением 3×6 , поставленных на высокое ребро, сжатых поперек волокон, предел пропорциональности около 40 кг/см^2 и предел разрушения 400 кг/см^2 ; таким образом получились значения большие, чем указано выше.

Инж. Samsioe разработал также вопрос, производит ли долго длящееся течение сколько-нибудь значительное влияние на качество пропитанного водой дерева. Он нашел при этом, что уже при непродолжительной пропитке водой дерева в течение около 7-ми дней происходит заметное ослабление крепости дерева. Дерево делается как будто *мягким*. Дальнейшее же продолжение действия воды не оказывает больше особенно вредного влияния.

Инж. Samsioe испытал также силу разбухания дерева при пропитке его водой, причем оказалось, что при препятствии разбуханию напряжение от сил разбухания составляет кругло 10 кг/см^2 независимо от имеющегося начального напряжения.

Испытание качества испытуемого дерева давлением параллельно волокнам дало от 230 до 270 кг/см^2 .

В Америке D. Henpy также производил подобного рода опыты со смятием дерева.

Для испытания брались образцы толщиной $1\frac{13}{16}$ " (46 мм) и шириной $5\frac{13}{16}$ " (148 мм). Образцы были выбраны разнообразными в смысле правильности расположения волокон: одни из них имели прямое расположение волокон, другие косое и третьи искривленное. Образцы были искусственно высушены, так что один линейный фут образца вышеназванных размеров в сухом состоянии весил 1,67 ф. (0,76 кг), а после намокания в воде 2,10 ф. (0,95 кг).

На широкую сторону испытуемого образца накладывалась проволока перпендикулярно направлению волокон и вдавливалась.

Вдавливание проволоки или бандажей происходило постепенно с измерением площади смятия и наблюдением за разрушением волокон древесины.

Таблица 13 дает наибольшие нагрузки и соответствующие величины площадей смятия перед разрушением волокон.

Замечено, что величина площади смятия обыкновенно равна приблизительно радиусу бандаж или проволоки, как и принято в американских и наших расчетах.

Направление и положение годовичных колец в древесине влияет на величину крайнего сминающего усилия в пределах от 60 до 100% в ту или другую сторону в зависимости от искривленности волокон.

ТАБЛИЦА 13.

№ по пор.	Наименование наблюдаемых величин	Диаметр бандажей мм	Прямые волокна		Косые волокна		Искривленные волокна	
			сух.	сыр.	сух.	сыр.	сух.	сыр.
1	Ширина смятия мм Давлен. кг/см Давлен. кг/см	6,35 ($\frac{1}{4}$ ")	3,97 56,6 141,96	3,175 49,5 156,12	— — —	2,78 51,1 182,98	3,175 31,8 100,24	3,97 31,8 80,15
2	Ширина смятия мм Давлен. кг/см Давлен. кг/см ²		4,76 73,8 154,9	5,56 73,8 130,8	4,76 56,6 117,2	4,76 56,6 117,2	3,97 32,0 80,6	4,37 32,0 97,8
3	Ширина смятия мм Давлен. кг/см Давлен. кг/см ²		6,35 91,3 143,6	6,35 73,8 116,2	6,35 73,8 116,2	6,35 82,0 129,1	6,35 47,5 74,8	6,35 40,6 72,9
4	Ширина смятия мм Давлен. кг/см Давлен. кг/см ²	15,87 ($\frac{5}{8}$ ")	7,94 90,7 114,2	7,94 90,7 114,2	7,94 81,9 103,0	6,35 79,7 139,4	7,14 56,4 78,9	8,73 71,2 82,0
5	Ширина смятия мм Давлен. кг/см Давлен. кг/см ²		7,94 99,3 124,9	7,94 99,3 124,9	9,52 90,4 94,8	7,14 81,8 114,4	9,52 73,9 77,4	9,52 73,9 77,4
	Ширина смятия мм Давлен. кг/см Давлен. кг/см ²		11,11 124,8 112,1	11,11 124,8 112,1	11,91 107,3 90,0	11,11 107,3 96,6	11,11 73,8 66,4	11,11 81,5 73,2

Диагональное направление дает промежуточные значения усилий смятия.

Из опытов выяснилось, что сопротивляющееся смятию усилие на 1 см² медленно растет с увеличением диаметра бандажа.

Это объясняется тем, что вдавленность при смятии получается не только от сминающих усилий, но и от расслаивания волокон под давлением, пропорциональным размеру проволоки. D. Henpy считает, что между допускаемым и временным сопротивлением клепки на смятие разница очень невелика.

В нижеследующей таблице приведены безопасные усилия смятия для различных бандажей по опытам D. Henpy.

ТАБЛИЦА 14.

Диам. бандажа		Ширина смятия сминаемой площади мм	Безопасные нагр. кг	
мм	дм		на см ² площади смятия кг	на лин. см. длины бандажа кг
9,52	$\frac{3}{8}$	4,76	52,3	24,9
11,11	$\frac{7}{16}$	5,55	49,0	27,2
12,7	$\frac{1}{2}$	6,35	46,2	29,4
15,87	$\frac{5}{8}$	7,98	44,8	35,0
19,05	$\frac{3}{4}$	9,57	43,4	41,3
22,22	$\frac{7}{8}$	11,11	42,0	45,6

Изменение напряжений смятия в клепке красного дерева при насыщении ее водой.

№№ исп. обр.	Направление волокон	Нормальные размеры мм	Давление в сжатом сечении кг/см ²	Вес при длине 30 см кг	
				перед опытом	после опыта
27	Прям.	63,5 × 300	3,5 — 5,4 (20) ¹	0,97	1,38
28	"	63,5 × 300	12 — 13,1 (15)	0,96	1,48
29	"	63,5 × 300	1,9 — 4,2 (17)	0,98	1,36
9	"	38 × 250	2,1 — 2,8 (12)	0,98	1,40
10	"	38 × 250	13,8 — 12,9 (21)	0,97	1,37
11	"	38 × 250	34,4 — 11,3 (27)	0,97	1,50
4	"	38 × 300	3,1 — 11,3 (15)	0,85	1,51
8	Кос.	63,5 × 300	33 — 12,2 (32)		
12	"	38 × 250	2,2 — 7,3 (17)		
13	"	38 × 250	2,0 — 3,7 (18)		
15	Искр.	38 × 250	9,8 — 7,8 (12)		
16	"	38 × 250	1,7 — 5,5 (14)		
17	"	38 × 250	15,2 — 9,2 (14)		
10"	"	27 × 250	16,7 — 9,9 (22)		
труба	"	27 × 125	17,8 — 10,8 (24)		
10"	"	27 × 125	5,2 — 7,6 (14)		
труба	"	27 × 125	25,4 — 10,1 (21)		
	"	27 × 125	3,6 — 8,1 (21)		
	"	27 × 125	24,3 — 13,4 (18)		
	"	27 × 125	23,3 — 11,7 (21)		
	"	27 × 125	28,8 — 17,1 (1)		
	"	27 × 125	17,1 — 11,6 (33)		
	"	27 × 125	19,7 — 19,4 (9)		

Клепка „Oregon fir“ при насыщении и высушивании

18	Прям.	38 × 250	35,7 — 21,4 (17) ²	1,29	1,73
19	"	38 × 250	21,4 — 8,5 (40)	1,26	1,69
20	"	38 × 250	3,6 — 12,8 (14)	1,28	1,25
2	Кос.	38 × 250	5,2 — 8,5 (9)		
6	"	38 × 300	9,5 — 11,4 (8)		
	"	38 × 250	6,2 — 10,9 (2)		
	"	38 × 250	10,9 — 6,3 (20)		
	"	38 × 250	0,5 — 5,2 (16)		
	"	38 × 250	9,1 — 2,4 (12)		
	"	38 × 250	1,9 — 6,4 (9)		
	"	38 × 250	19,2 — 9,0 (19) ³		
	"	38 × 250	20,4 — 10,6 (25)		
	"	38 × 250	8,5 — 6,1 (10)		
	"	38 × 250	6,1 — 2,4 (5)		

¹ Числа в скобках показывают продолжительность опыта в днях.

² Между первым и вторым опытом испытуемый образец помещался на воздух и в воду и при уменьшении давления болт подвигивался.

³ Испытуемый отрезок дал прогиб в центре, равный 1,8 мм.

№ исп. обр.	Направление волокон	Нормальные размеры мм	Давление в сжатом сечении кг/см ²	Вес при длине 30 см кг	
				перед опытом	после опыта
21	Кос.	38 × 250	9,9 — 2,4 (8) 2,4 — 6,1 (13)	1,29	1,57
22	"	38 × 250	3,8 — 4,8 (9) 10,9 — 6,9 (7) ¹	1,21	1,27
23	"	38 × 250	10,5 — 6,9 (6) 4,8 — 5,3 (7)	1,37	1,49
24	Искр.	38 × 250	4,8 — 16,7 (14) 4,3 — 12,0 (12) ²	1,48	1,73
25	"	38 × 250	19,9 — 23,0 (5) 6,7 — 20,6 (7)	1,36	1,37
26	"	38 × 250	20,6 — 0,9 (15) 8,6 — 2,4 (6)	1,35	1,72
18" труба	—	35 × 300	10,4 — 18,8 (14) 12,2 — 10,7 (13)	1,15	1,77
18" труба	—	35 × 300	0,5 — 6,6 (17) 2,3 — 8,4 (8)	1,41	1,91
			8,4 — 6,8 (23)		

Далее интересно также усилие разбухания дерева. Для определения этого усилия D. Неппу поставил ряд опытов, которые дали различные результаты вследствие разнообразного характера древесины.

Испытуемые образцы брались длиной от 25 до 30 см., шириной 147 мм (5 1/2") и толщиной от 38 до 63,5 мм (от 1 1/2 до 2 1/2"). Образцы помещались между двумя железными пластинками, которые стягивались болтами, проходящими сквозь отверстия, сделанные в образце, болт затягивался до натяжения 2000 — 3200 кг и в таком виде испытуемый образец погружался в воду.

Затем образцы вынимались, и натяжение ослаблялось или увеличивалось подвинчиванием гаек.

Из результатов опытов, сведенных в таблице 15, можно вывести следующие заключения: образцы с искривленными волокнами показывают большие усилия разбухания и напряжения сжатия по сравнению с образцами, имеющими прямые и косые волокна; это указывает на то, что для труб высокого давления, нужно выбирать клепку с прямыми волокнами.

Результаты опытов с елью (Oregon fir) показали, что переменное намачивание и высушивание требуют постоянной подтяжки бандажей для предотвращения уменьшения давления. Однако видно также, что на сухом воздухе усилия разбухания уменьшаются, но не уничтожаются полностью.

¹ Прогиб в центре испытуемого образца = 0,5 мм.

² Прогиб 1,5 мм.

Таким образом результаты шведских опытов дают напряжение разбухания дерева кругло 10 кг/см². Американские опыты D. Неппу и А. Swikard'a дают напряжение разбухания около 9 кг/см².

У нас, как выше сказано, такие опыты специально для определения напряжений разбухания в трубах проводились в Ленинградском отделении Всесоюзного института водоснабжения. Некоторые результаты их помещены в главе 15 настоящего труда.

Следующим материалом, идущим на изготовление деревянных труб, является проволока, которая употребляется для звеновых труб.

Она навивается на трубу спиралью при сборке ее с натяжением до 1500 кг/см² и служит для скрепления клепок трубы и для восприятия внутреннего давления.

Проволока употребляется обыкновенно железная оцинкованная. Можно пользоваться и неоцинкованной проволокой, но тогда нужно обратить внимание, во избежание быстрого ее разрушения, на создание прочной предохранительной асфальтовой рубашки (см. главу 14).

За границей употребляют также для особо ответственных установок медную и алюминиевую проволоку, что, конечно, повышает качество труб, но вместе с тем и удорожает их.

Вопрос о проволоке был бы разрешен с применением нержавеющей проволоки, производство которой налаживается на одном из заводов Союза.

При применении простой неоцинкованной проволоки, предохранительную рубашку нужно делать из вязкой, богатой асфальтом массы.

При применении жидкой битумной массы, необходимо употребление оцинкованной или какой-либо другой нержавеющей проволоки.

Для обмотки звеновых труб употребляется оцинкованная железная проволока следующих калибров:

ТАБЛИЦА 16.

№ калибра	Толщина мм	Вес 100 п м кг	В одном кг метров
1	7,5	34,70	2,80
2	7,0	30,2	3,33
3	6,5	26,0	3,85
4	6,0	22,2	4,50
5	5,60	18,20	5,55
6	4,90	15,00	6,75
7	4,57	12,70	7,90
8	4,19	10,80	9,40
9	3,76	8,70	11,50
10	3,40	6,90	14,50
11	3,05	5,80	17,25
12	2,8	4,71	21,44
12 1/2	2,5	3,75	26,66

Проволока, идущая для обмотки деревянных труб, должна удовлетворять примерно следующим условиям:

1) Проволока должна быть выделана из железа высшего качества и иметь правильную цилиндрическую форму с круглым сечением, одинакового, по всей длине проволоки, диаметра. Изменения в величине диаметра как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения до-

пускаются не более 0,10 мм. Диаметр проволоки должен измеряться калиброметром.

2) Поверхность проволоки должна быть совершенно гладкой, без раковин, трещин и пленок.

3) В изломе проволока должна представлять волокнистое строение и плотную массу матового, светло-серого цвета без черных точек и блесток.

4) Проволока должна выдерживать механические испытания на изгиб, скручивание, накручивание и разрыв.

А. Изгиб.

Проволока должна выдерживать, не ломаясь, не расслаиваясь и не пружинясь, количество изгибов под прямым углом не менее:

Диаметр мм	Число изгибов
3	10
4	8
5	6
6	4

считая за один изгиб перевод из вертикального положения в горизонтальное и обратно. При этом изгибы должны производиться последовательно в обе стороны от вертикального положения. Радиус закругления шкв тисков должен быть равен 5 мм.

Б. Скручивание.

Конец проволоки длиной 15 см должен выдерживать без излома и расслоения число оборотов не меньше:

Диам. пров. мм	Число оборотов
3	14
4	12
5	10
6	8

В. Разрыв.

Проволока не должна разрываться при грузе меньшем:

Диам. пров. мм	Груз кг
3	280
4	500
5	785
6	1 130

при удлинении не ниже 15%, причем расчетная длина образца должна иметь длину 10-кратного диаметра, а полная длина должна быть около 15 см.

5) Цинк должен плотно и ровно лежать на проволоке и при накручивании проволоки на стержень диаметром в 5 раз большем диаметра проволоки не должен трескаться или отслаиваться.

6) Для определения плотности слоя цинка, конец оцинкованной проволоки погружается четыре раза в раствор, состоящий из одной части по весу медного купороса и пяти частей воды. Конец проволоки нужно держать в растворе по 1 минуте, причем при удовлетворительной оцинковке проволока не должна краснеть. Перед этой операцией испытуемый конец проволоки моется в бензине, а после каждого отдельного

погружения в раствор медного купороса моется водой и вытирается насухо тряпкой.

Для бандажей деревянных клепочных труб непрерывного типа, а также для некоторых типов муфт к трубам звеновым, в качестве арматуры, скрепляющей клепки труб и воспринимающей внутреннее давление воды, служит круглое сортовое железо диаметром от 9,5 мм до 25 мм ($\frac{3}{8}$ " — 1").

Употреблялось в некоторых случаях и полосовое железо, но оно оказалось неудобным, потому что нижняя, прилегающая к трубе, сторона совершенно недоступна осмотру и потому наиболее подвержена разрушению от ржавления. Между тем у круглого бандажа, прилегающего к трубе, недоступна лишь небольшая часть, не более величины, равной радиусу бандажа, что, конечно, дает ему преимущество перед полосовым железом.

Для изготовления бандажей употребляется литое железо, которое должно удовлетворять следующим требованиям.

Временное сопротивление на разрыв должно равняться 4000 кг/см². Предел упругости должен составлять около $\frac{1}{2}$ временного сопротивления.

При испытании на разрыв образца длиной 20 см удлинение должно быть около 22%.

При навивке образца на стержень такого же диаметра, образец не должен давать никаких трещин.

С точки зрения химического состава железа американская практика требует, чтобы количество фосфора не превосходило 0,06%.

Для укрепления бандажей круглого железа на трубе употребляются башмаки различных типов, описание которых помещено ниже в главе «Детали конструкций». Башмаки употребляются чугунные, из ковкого или серого чугуна и железные штампованные. Первоначально для башмаков брался исключительно обыкновенный серый чугун. Теперь за границей почти исключительно применяются башмаки ковкого чугуна. Материал, из которого они изготавливаются, должен иметь допускаемое напряжение на растяжение не менее 1500 кг/см². Отливка должна быть хорошо и аккуратно исполнена и при ударе давать чистый звук.

У нас, в виду трудности получения ковкого чугуна, употребляется почти исключительно серый чугун (мягкий, литейный, серый чугун) марки 0 или 00. Особых недостатков в смысле прочности отливки из серого чугуна не имеют при достаточных, взятых по расчету размерах но вес отливок, по сравнению с такими же из ковкого чугуна, получается больше, следовательно затрачивается большее количество металла.

Временные технические условия на материал, идущий на изготовление деревянных труб, приложены в конце настоящего труда.

5. Спецификация частей деревянных труб.

При проектировании деревянных трубопроводов как непрерывного типа, так и звеновых, толщина стенок трубы, т. е. толщина клепки, диаметр бандажей в непрерывных трубах и диаметр проволоки в трубах звеновых, а также расстояние между бандажами или расстояние между витками проволоки (шаг спирали), должны быть проверены расчетом в отношении прочности, принимая во внимание те требования, кои предъявляются к этим частям трубопроводов и о которых подробно говорится на стр. 131. В дальнейшем мы приводим расчет каждого из этих элементов в отдельности.

ТАБЛИЦА 17.

Американские спецификации (трубы непрерывные).

Диам. трубы в мм	Толщина клепки в мм		Число кле- пок по окр.		Размер досок в мм		Диаметр бандажей в мм (дм)	Число баш- маков по окр.	Наиболь- шее рас- стояние между бандаж. мм
	Норм.	Наи- боль- шая	Норм.	Макс.	Норм.	Макс.			
300	35	41	13	13	51×102	51×102	9,5 ($\frac{3}{8}$ ")	1	250
350	35	40	15	15	51×102		9,5 ($\frac{3}{8}$ ")	1	250
400	36,5	40	17	17	51×102		11,1 ($\frac{7}{16}$ ")	1	250
450	36,5	40	18	19	51×102	51×102	11,1 ($\frac{7}{16}$ ")	1	250
500	36,5	40	20	20	51×102	51×102	11,1 ($\frac{7}{16}$ ")	1	250
550	36,5	40	22	22	51×102	51×102	11,1 ($\frac{7}{16}$ ")	1	250
600	36,5	40	23	24	—	51×102	11,1 ($\frac{7}{16}$ ")	1	250
650	37	43	17	17	51×152	51×152	11,1 ($\frac{7}{16}$ ")	1	250
700	37	43	18	18	51×152	51×152	11,1 ($\frac{7}{16}$ ")	1	250
750	37	43	19	19	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
800	37	43	20	20	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
850	37	43	21	21	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
900	40	41	22	22	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
950	40	41	23	23	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
1 000	40	41	24	25	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
1 050	41	43	26	26	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
1 100	41	43	27	27	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
1 150	41	43	28	28	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
1 200	41	43	29	29	51×152	51×152	12,7 ($\frac{1}{2}$ ")	1	250
1 250	41	43	30	30	51×152	51×152	13—16 ($\frac{5}{8}$ ")	1	250
1 300	41	43	31	31	51×152	51×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	1	250
1 350	63,5	68	33	34	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 400	63,5	68	34	35	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 450	63,5	68	36	36	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 500	63,5	68	37	37	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 550	63,5	68	38	38	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 600	63,5	68	39	39	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 650	63,5	68	40	40	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 700	63,5	68	41	41	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 750	63,5	68	42	42	76×152	76×152	16 ($\frac{5}{8}$ ")	2	250
1 800	89	94	44	45	102×152	102×152	16—19	2	200—250
1 850	89	94	46	46	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
1 900	89	94	47	47	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
1 950	89	94	48	48	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 000	89	94	49	49	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 050	89	94	50	50	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 100	89	94	51	51	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 150	89	94	52	52	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 200	89	94	53	54	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 250	89	94	55	55	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 300	89	94	56	56	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 350	89	94	57	57	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	250
2 400	92	94	58	58	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	200
2 700	92	94	65	65	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	200
3 000	92	94	71	72	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	200
3 300	92	94	78	78	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	200
3 600	92	95	85	85	102×152	102×152	19 ($\frac{3}{4}$ ")	2	200—150

Американская спецификация для эвеновых (машинно-обмоточных) труб.

Диаметр трубы мм	Толщина клетки мм	№ про- волоки	Расстояние в мм между витками проволоки для различных давлений, выраженных в метрах вод. столба.																
			7,5	15	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	82,5	90	97,5	105	112,5	120	
Лучшие сорта дерева																			
50	22	12	89	89	80	46	36,5	30	27	24	21	19	17,5	16	14	13	13	11	9,5
75	22	12	89	78	52	35	32	25	22	19	17,5	16	14	13	11	11	9,5	8	8
100	22	12	89	70	47	35	29	24	21	17,5	16	14	13	11	11	9,5	9,5	8	8
125	22	12	89	60	41	80	24	21	17,5	16	13	13	11	9,5	9,5	8	8	8	8
150	22	10	89	82,5	54	41	31	28	24	21	17,5	16	14	13	13	11	11	9,5	9,5
200	24	8	89	89	80	46	36,5	32	27	22	21	19	17,5	16	14	13	13	11	9,5
250	24	8	89	71	47	36,5	29	24	21	17,5	16	14	13	13	11	9,5	9,5	8	8
300	24	8	89	50	38	30	24	22	17,5	14	13	11	11	9,5	9,5	8	8	8	8
350	29	8	89	51	33	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
400	29	6	89	—	—	—	29	24	21	17,5	16	14	13	11	11	9,5	9,5	8	8
450	29	4	89	63,5	38	32	25	21	17,5	16	19	17,5	16	14	13	11	11	11	11
500	29	6	89	54	35	27	22	17,5	16	13	16	14	13	13	11	9,5	9,5	9,5	9,5
		4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		6	89	51	29	25	22	16	14	13	14	13	13	11	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
		4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Диаметр прутья в мм	Толщина каски в мм	№ про- волоки	Расстояние в мм между витками проволоки для различных давлений, выраженных в метрах вод. столба															
			7,5	15	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	82,5	90	97,5	105	112,5	120
Лучшие сорта дерева																		
550	29	6	89	44	41	22	17,5	14	13	11	—	13	—	—	—	8	8	—
600	29	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13	11	9,5	9,5	—	—	8
600	29	6	76	60	25	21	16	13	11	9,5	—	—	—	—	—	8	—	6
600	29	4	—	—	—	—	—	—	—	—	13	11	9,5	9,5	—	8	—	—
Худшие сорта дерева																		
50	25	8	102	102	102	89	60	51	43	38	33	30	27	24	22	21	19	17,5
75	25	8	102	102	74	52	51	41	35	32	27	25	22	21	19	17,5	16	16
100	29	6	102	102	92	70	57	46	40	35	0	28	25	22	21	19	17,5	17,5
125	29	6	102	102	87	65	52	51	36,5	32	29	25	24	21	19	17,5	17,5	16
150	29	4	102	102	95	71	57	47	41	35	32	29	25	24	22	21	19	19
200	32	4	102	102	95	90,5	66	56	38	33	30	27	24	22	21	19	17,5	16
250	32	4	102	102	87	65	52	51	36,5	32	29	25	24	21	19	17,5	17,5	16
300	32	2	102	102	98	75	69	49	41	36,5	32	29	27	24	22	21	19	17,5
350	35	2	102	102	95	90,5	54	44	38	33	30	27	25	22	21	19	17,5	17,5
400	35	1	102	102	92	70	68	46	40	35	30	28	25	24	21	19	19	17,5
450	35	1	102	102	82,5	62	49	41	35	30	27	24	22	21	19	17,5	16	16
500	38	1	102	102	73	56	44	38	32	27	24	22	21	19	17,5	16	14	14
550	38	1	102	102	66	51	40	33	29	25	22	21	19	17,5	16	14	13	13
600	38	1	102	102	62	46	38	30	25	22	21	19	17,5	16	14	13	13	11

Однако, американская, немецкая и наша практика настолько освоила эти элементы, настолько вникла в сущность их обработки, что выработала специальные спецификации в зависимости от диаметров трубы. Эти спецификации позволяют для любого диаметра трубы заранее установить как толщину и ширину клепки, так и диаметр бандажей или проволоки, так что расчет прочности трубы сводится к определению расстояния между бандажами, тогда как остальные величины считаются принятыми.

ТАБЛИЦА 19.

Внутр. диам. мм	Толщина клепки мм	Внутр. диам. мм	Толщина клепки мм
100	25	800	36
100	40	800	46
200	25	1 000	36
200	40	1 000	46
300	25	1 200	36
300	40	1 200	46
400	35	1 400	36
400	45	1 400	46
500	35	1 600	42
500	45	1 600	52
600	36	2 000	42
600	40	2 000	52

ТАБЛИЦА 20.

№№ по порядку	Диам. трубы мм	Сечение досок мм	Число клепок по окружности шт.	Колич. пиломатер. на 1 п. м	
				м	м³
1	100	30 × 80	6	6	0,014
2	150	30 × 80	8	8	0,019
3	200	40 × 90	10	10	0,036
4	250	40 × 100	10	10	0,040
5	300	40 × 100	12	12	0,048
6	350	40 × 120	11	11	0,053
7	400	40 × 130	12	12	0,0625
8	450	40 × 130	13	15	0,0675
9	500	40 × 130	15	15	0,078
10	600	40 × 130	18	18	0,094
11	700	40 × 140	19	19	0,107
12	800	40 × 150	20	20	0,12
13	900	50 × 150	22	22	0,165
14	1 000	50 × 150	24	24	0,180
15	1 100	50 × 150	26	26	0,195
16	1 200	50 × 150	29	29	0,22
17	1 300	60 × 150	31	31	0,28
18	1 400	60 × 150	33	33	0,300
19	1 500	70 × 170	36	36	0,36
20	1 600	70 × 170	33	33	0,405
21	1 700	70 × 170	36	36	0,43
22	1 800	70 × 170	37	37	0,455
23	1 900	70 × 170	40	40	0,475
24	2 000	70 × 180	42	42	0,576
25	2 500	80 × 180	49	49	0,710
26	3 000	90 × 200	52	52	0,94

Правда, на данные, приводимые ниже, нельзя смотреть, как на непреложный закон, — в каждом отдельном случае можно допустить колебания как в выборе размеров брусков, так и в выборе диаметра бандажей, но во всяком случае для предварительных ориентировочных подсчетов данные таблиц 17 и 18 несомненно принесут пользу.

Приводим тоже немецкие спецификации (H Robovsky) (табл. 19). Далее приводим наши спецификации, составленные на основании опыта, причем все данные американских спецификаций (главным образом толщина клепки), вошедшие в наши, были подвергнуты соответствующим испытаниям (табл. 20).

ТАБЛИЦА 21.

№ по порядку	Диам. трубы мм	Сечение досок мм	Число клепок по окружности шт.	Колич. пиломатер. на 1 п. м трубы	
				п. м	м³
1	100	25 × 70	6	6	0,012
2	150	25 × 70	8	8	0,016
3	200	25 × 70	10	8	0,025
4	250	30 × 90	11	11	0,030
5	300	30 × 90	13	13	0,035
6	350	30 × 100	14	14	0,042
7	400	30 × 100	15	15	0,045
8	450	30 × 100	17	17	0,051
9	500	30 × 110	17	17	0,056
10	600	35 × 130	19	19	0,080
11	700	35 × 130	21	21	0,095
12	800	35 × 140	21	21	0,103
13	900	40 × 150	22	22	0,132
14	1 000	40 × 150	24	24	0,144
15	1 100	40 × 150	26	26	0,156
16	1 200	50 × 150	29	29	0,218
17	1 300	50 × 150	31	31	0,232
18	1 400	50 × 150	33	33	0,248
19	1 500	50 × 150	35	35	0,263
20	1 600	60 × 150	38	38	0,342
21	1 700	60 × 160	38	38	0,364
22	1 800	60 × 160	40	40	0,384
23	1 900	70 × 170	40	40	0,475
24	2 000	70 × 170	42	42	0,500
25	2 500	70 × 180	48	48	0,605
26	3 000	80 × 200	52	52	0,832

Приведенные в таблице 20 спецификации применяются нами сейчас, в период, когда мы только-что вышли из стадии опытов широкого масштаба. Теперь уже выяснилась возможность при надлежащем качестве леса и в надлежащих условиях снизить толщину стенок трубы. Это не только возможно, но, в некоторых случаях, и полезно, так как замечено, что при небольших напорах порядка 2 — 3 атмосферы клепка труб большого диаметра не пропитывается насквозь водой, вследствие чего понижается долговечность труб. На одном из обследованных трубопроводов при диаметре трубы 1800 мм, толщине клепки 67 мм и напоре 2,0 атмосфер, выяснилось, что стенки трубы пропитывались водой только на 40 мм. Это показывает, что клепка могла

быть в этом случае сделана из более тонкого леса. В этом отношении немцы смелее американцев и если эти последние принимают, например, для трубы диаметром 2000 мм толщину клепки, от 89 до 94 мм, то немцы берут для того же диаметра трубы толщину клепки 42 — 52 мм. Мы берем толщину клепки для этого случая примерно 65 мм (брусок 70 мм).

При материале хорошего качества и снижении толщины клепки можно принять спецификацию на пиломатериал для клепок (табл. 21).

Повторяем, размеры клепки, указанные в таблице 21, можно применять исключительно при материале очень хорошего качества.

Таблица 21 а дает ориентировочный вес проволоки на 1 п. м звеновых труб разных диаметров и для разных напоров при допускаемом напряжении проволоки на разрыв 1200 кг/см².

ТАБЛИЦА 21а.

№ по порядку	Диаметр трубы мм	Вес проволоки в кг на 1 п м трубы для напоров в атм.					
		1	2	3	4	5	6
1	100	1,06	1,24	1,38	1,57	1,61	2,09
2	150	1,52	1,83	2,33	2,53	2,86	3,50
3	200	2,08	2,40	3,26	3,83	4,51	5,41
4	250	2,54	3,47	4,34	5,22	6,07	6,93
5	300	3,60	5,11	6,00	7,26	8,64	10,51
6	350	5,22	5,85	7,06	8,27	9,71	11,15
7	400	6,21	7,50	9,45	11,43	13,97	16,56
8	450	0,70	9,00	11,65	14,31	17,05	19,80
9	500	7,13	10,62	11,23	15,94	17,70	23,58

Таблица 22 дает нормальные диаметры проволоки для того или иного диаметра трубы и напора.

ТАБЛИЦА 22.

№ по пор.	Диам. трубы мм	№ калибра проволоки	Диаметр проволоки
1	100	9	3,76
2	150	9	3,76
3	200	8	4,19
4	250	7	4,57
5	300	7	4,57
6	350	6	4,90
7	400	6	4,90
8	450	5	5,60
9	500	5	5,60

ТАБЛИЦА 23.

№ по пор.	Диам. трубы мм	Напор атм.	№ 11	№ 10	№ 9	№ 8	№ 7	№ 6	№ 5
			3,05 мм	3,4 мм	3,76 мм	4,19 мм	4,57 мм	4,90 мм	5,60 мм
1	100	1	35	38	46	57	—	—	—
		2	29	32	39	49	—	—	—
		3	25	28	34	42	—	—	—
		4	22	25	30	38	—	—	—
		5	19	22	27	33	—	—	—
		6	17	19	23	29	—	—	—
		7	14	16	20	25	—	—	—
		8	13	14	17	22	—	—	—
		9	11	13	15	19	—	—	—
		10	10	11	14	17	—	—	—
2	150	1	28	35	42	52	—	—	—
		2	22	27	34	42	—	—	—
		3	19	23	28	35	—	—	—
		4	16	20	25	31	—	—	—
		5	14	18	22	28	—	—	—
		6	12	15	18	23	—	—	—
		7	10	13	16	20	—	—	—
		8	9	11	14	17	—	—	—
		9	8	10	12	15	—	—	—
		10	7	9	11	14	—	—	—
3	200	1	26	32	39	47	57	67	—
		2	20	25	34	37	45	52	—
		3	16	22	25	30	36	42	—
		4	14	17	21	26	31	35	—
		5	12	15	18	23	27	31	—
		6	10	12	15	19	22	26	—
		7	9	11	13	16	20	22	—
		8	8	9	11	14	17	20	—
		9	—	—	10	12	15	17	—
		10	—	—	9	11	14	16	—
4	250	1	—	30	36	45	52	61	80
		2	—	22	27	34	39	45	60
		3	—	18	22	27	32	36	48
		4	—	15	18	22	26	30	40
		5	—	13	16	19	22	26	34
		6	—	11	13	16	20	23	30
		7	—	9	11	14	17	19	25
		8	—	—	10	12	15	17	22
		9	—	—	9	10	13	15	20
		10	—	—	—	9	12	13	18
5	300	1	—	25	31	38	46	58	77
		2	—	19	23	27	34	42	55
		3	—	15	18	23	27	33	44
		4	—	12	15	19	22	27	36
		5	—	10	13	16	19	23	30
		6	—	9	11	13	16	20	26
		7	—	—	9	12	14	17	22
		8	—	—	—	8	12	15	19
		9	—	—	—	—	11	13	17
		10	—	—	—	—	10	12	15

№ по пор.	Диам. трубы мм	Напор атм.	№ 11	№ 10	№ 9	№ 8	№ 7	№ 6	№ 5
			3,05 мм	3,4 мм	3,76 мм	4,19 мм	4,57 мм	4,90 мм	5,60 мм
6	350	1	—	24	29	36	43	55	72
		2	—	17	21	26	31	39	51
		3	—	14	17	20	24	32	39
		4	—	11	14	17	20	24	32
		5	—	10	12	14	17	20	27
		6	—	—	10	12	14	18	22
		7	—	—	—	10	12	16	19
		8	—	—	—	—	11	14	17
7	400	1	—	21	25	32	38	44	58
		2	—	15	18	23	27	35	42
		3	—	12	14	18	21	27	33
		4	—	10	12	15	18	22	27
		5	—	—	10	13	15	19	23
		6	—	—	—	11	13	16	19
		7	—	—	—	—	11	14	16
		8	—	—	—	—	—	—	—
8	450	1	—	20	24	30	36	46	55
		2	—	14	17	21	26	32	39
		3	—	11	13	16	20	25	30
		4	—	—	—	13	16	20	25
		5	—	—	—	12	14	18	21
		6	—	—	—	10	12	15	18
		7	—	—	—	—	—	—	—
		8	—	—	—	—	—	—	—
9	500	1	—	19	23	29	35	44	53
		2	—	13	13	20	24	30	37
		3	—	11	14	17	20	26	29
		4	—	—	11	13	16	20	23
		5	—	—	—	11	13	16	19
		6	—	—	—	—	11	13	16
		7	—	—	—	—	—	—	—
		8	—	—	—	—	—	—	—

Бывают случаи, когда приходится употреблять не тот калибр проволоки, который можно назвать для данного диаметра, нормальным а какой-либо другой.

В таблице 23 помещены данные о шаге обмотки (в миллиметрах) для разных диаметров труб, разных напоров и разных калибров проволоки.

Для бандажей непрерывных труб употребляется круглое железо, диаметром от 9 мм до 25 мм, а в некоторых случаях и до 32 мм. Бандажи эти затягиваются на трубе помощью башмаков, описание коих помещено ниже.

Диаметры бандажей, шаг бандажей, число бандажей на 1 п. м трубы, а также ориентировочный вес бандажей и башмаков для труб диаметром от 350 мм до 3000 мм для наиболее часто встречающихся напоров приведены в таблице 24 (при допуске напряжении железа на разрыв — 1000 кг/см²).

ТАБЛИЦА 24.

№ по пор.	Диам. трубы	Напор атм.	Диам. бандаж	Шаг бандаж	Число бандажей на 1 пог. м	Вес бандажей на 1 п. м.	Число башмаков	Вес башм.	Вес на 1 п. м
1	350	1	9	182	5,5	4,62	5,5	0,4	2,20
		2	9	105	10,0	8,40	10	0,4	4,00
		3	9	80	12,5	10,50	12,5	0,4	5,00
		4	12,5	125	8	12,30	8	0,5	4,00
		5	12,5	107	9,5	15,40	9,5	0,5	4,75
2	400	1	9	133	7,5	6,52	7,5	0,5	3,75
		2	9	91	11	9,57	11	0,5	5,50
		3	9	71	14	12,20	14	0,5	7,00
		4	12,5	118	8,5	13,50	8,5	0,6	5,10
		5	12,5	111	9	14,32	9	0,6	5,40
3	500	1	9	111	9	9,09	9	0,6	5,40
		2	9	77	13	13,10	13	0,6	7,80
		3	12,5	118	8,5	16,75	8,5	0,7	5,95
		4	12,5	95	10,5	20,80	10,5	0,7	7,35
		5	12,5	80	12,5	24,60	12,5	0,7	8,75
4	600	1	9	100	10,0	13,50	10	0,7	7,00
		2	13	134	7,5	18,60	7,5	0,8	6,00
		3	13	105	9,5	23,68	9,5	0,8	7,60
		4	13	83	12,0	29,80	12	0,8	9,00
		5	16	111	9,0	34,00	9	0,8	7,20
5	700	1	9	95	10,5	15,90	10,5	0,8	8,40
		2	13	125	8,0	22,10	8	0,9	7,20
		3	13	91	11,0	34,00	11	0,9	9,90
		4	13	74	13,5	37,00	13,5	0,9	12,15
		5	16	100	10,0	41,60	10	1,00	10,00
6	800	1	13	182	5,5	16,72	5,5	0,9	4,95
		2	13	111	9,0	27,40	9,0	0,9	8,10
		3	13	77	13,0	39,52	13,0	0,9	11,70
		4	16	105	9,5	43,70	9,5	1,0	9,50
		5	16	87	11,0	50,60	10,0	1,0	11,00
7	900	1	13	160	6,25	21,10	6,25	1,0	6,25
		2	13	103	9,25	31,20	9,25	1,0	9,25
		3	13	74	13,5	42,20	13,5	1,0	13,50
		4	16	95	10,5	52,00	10,5	1,1	11,55
		5	16	78	12,75	58,10	12,75	1,1	14,02
8	1000	1	13	154	6,5	24,70	6,5	1,0	6,5
		2	13	95	10,5	40,00	10,5	1,0	10,5
		3	16	110	9,0	51,70	9,0	1,15	10,35
		4	16	87	11,5	66,30	11,5	1,15	13,23
		5	16	71,5	14,0	80,50	14,0	1,20	16,80
9	1100	1	13	143	7	28,80	7	1,10	7,70
		2	13	87	11,5	47,50	11,5	1,10	12,65
		3	16	100	10	62,00	10	1,20	12,00
		4	16	80	12,5	72,50	12,5	1,20	15,00
		5	19	91	11	97,00	11	1,30	14,30
10	1200	1	13	118	8,50	37,40	8,5	1,20	10,20
		2	13	77	13,0	57,30	13,0	1,20	15,60
		3	16	89	11,25	74,75	11,75	1,30	14,62
		4	19	100	10,0	85,70	10,0	1,40	14,00
		5	19	84	12,0	103,00	12,0	1,40	16,80

№ по пор.	Диам. трубы мм	Напор атм.	Диам. бандаж	Шаг бандаж	Число бандаж на 1 п. м.	Вес бандаж на 1 п. м	Число бапмаков	Вес бапм.	Вес на 1 п. м
11	1 300	1	13	111	9	45,00	18	1,30	23,40
		2	16	114	8,75	66,00	17,5	1,40	24,50
		3	16	83,5	12	90,50	24	1,40	33,60
		4	19	91	11	117,80	22	1,50	33,00
		5	22	105	9,5	137,0	19	1,60	30,40
12	1 400	1	13	100	10	53,00	20	1,40	28,00
		2	16	105	9,5	76,00	19	1,50	28,50
		3	16	80	12,5	100,00	25	1,50	37,50
		4	19	86	11,5	131,30	23	1,60	36,90
		5	22	100	10	153,00	20	1,70	34,00
13	1 500	1	13	105	10,5	60,00	21	1,50	31,50
		2	16	95	10,5	90,00	21	1,60	33,60
		3	16	71	14	120,00	28	1,60	44,60
		4	19	80	12,5	152,00	25	1,70	42,50
		5	22	91	11	180,00	22	1,80	39,60
14	1 600	1	16	148	6,75	61,20	13,5	1,70	23,00
		2	16	93,5	10,75	97,50	21,5	1,70	36,50
		3	19	95,5	10,5	135,00	21,0	1,80	38,80
		4	19	75,5	13,25	171,00	26,5	1,80	47,60
		5	22	83,5	12	208,00	24	1,90	45,60
15	1 700	1	16	143	7,00	67,30	14	1,80	25,20
		2	16	89	11,25	108,00	22,5	1,80	40,50
		3	19	91	11,00	149,50	22	1,90	43,70
		4	19	71,5	14,00	190,00	28	1,90	53,20
		5	22	78,5	12,75	233,00	25,5	2,00	51,00
16	1 800	1	16	138	7,25	73,50	14,5	1,90	27,80
		2	16	85	11,75	119,0	23,5	1,90	44,70
		3	19	85	11,75	168,0	23,5	2,00	47,00
		4	22	91	11	211,5	22	2,10	46,10
		5	22	75,5	13,25	254,0	26,5	2,10	55,60
17	1 900	1	16	133	7,5	79,00	15	2,00	30,00
		2	16	81,5	12,25	128,50	24,5	2,00	49,00
		3	19	81,5	12,25	184,0	24,5	2,10	51,50
		4	22	86	11,5	232,0	23	2,15	49,50
		5	22	71,5	14	283,0	28	2,15	60,20
18	2 000	1	16	129	7,75	85,5	15,5	2,10	32,60
		2	19	111	9,0	139,0	18,0	2,15	38,70
		3	19	78,5	12,75	197,5	23,5	2,15	54,90
		4	22	83,5	12,0	252,0	24,0	2,20	53,00
		5	22	91	11,0	288	22,0	2,20	48,50
19	2 500	1	16	111	9	121,2	18	2,25	40,50
		2	19	91	11	212,1	22	2,30	50,60
		3	22	89	11,25	280,0	22,50	2,40	54,00
		4	25	93	10,75	323,0	21,50	2,50	53,70
20	3 000	1	19	129	7,75	177,2	15,50	2,50	38,90
		2	22	105	9,5	292,0	19,0	2,60	47,50
		3	25	97,5	10,25	380,0	20,50	2,70	51,20

Примечание. Начиная с диаметра 1400 мм, каждый бандаж состоит из двух частей. Вес бапмаков приблизительный.

Данными табл. 24 можно пользоваться лишь для предварительных ориентировочных подсчетов.

6. Детали конструкции деревянных труб.

В главе 3 было указано, что деревянные клепочные трубы состоят из отдельных клепок, собираемых в цилиндры и скрепляемых спирально намотанной проволокой или отдельными бандажами.

Клепки для звеновых труб обрабатываются с внешней и внутренней стороны в соответствии с тем диаметром трубы, для которой они предназначены. Кромки клепок обрабатываются так, чтобы скос их поверхностей соответствовал определенному радиусу. Теоретические размеры клепки можно определить в зависимости от диаметра трубы и ширины материала клепок. Данные о ширине берутся по соответствующей спецификации, тогда теоретические размеры клепки будут следующие (рис. 16).

Диаметр трубы — D .

Толщина клепки — t .

Число клепок по окружности — n .

Центр. угол $\alpha = \frac{360}{n}$.

Тогда:

$$a = D \sin \frac{\alpha}{2}.$$

$$c = (D + 2t) \sin \frac{\alpha}{2}.$$

$$f = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right).$$

$$b = t + f.$$

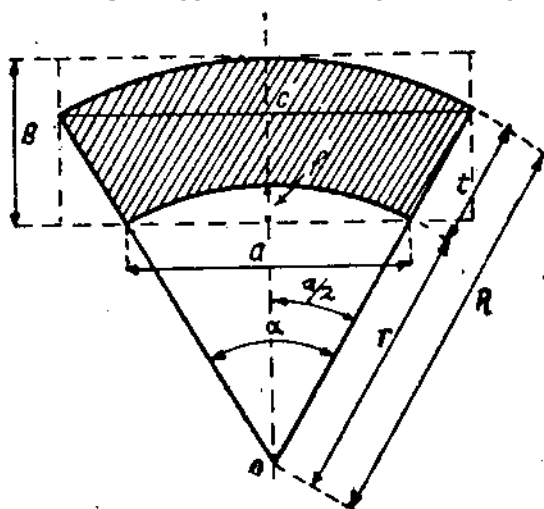


Рис. 16. К определению теоретических размеров клепки.

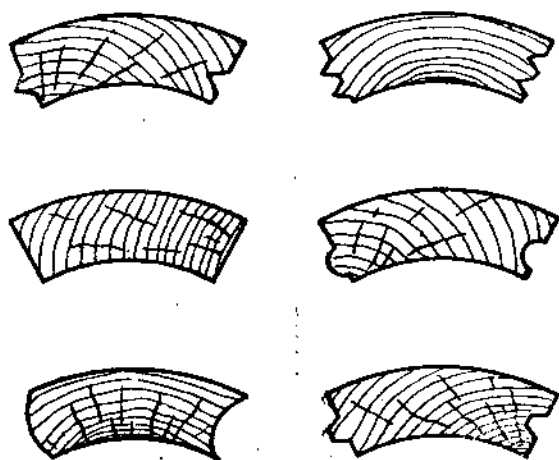


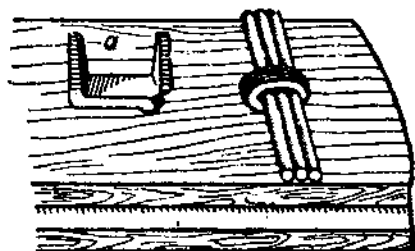
Рис. 17. Формы шпунтов клепок.

При изготовлении клепок нужна самая тщательная работа. Правильная обработка клепок с наружной стороны дает правильную внешнюю окружность, а, следовательно, будет обеспечено плотное прилегание проволоки или бандажей к поверхности трубы. Гладкая обработка

внутренней поверхности клепок нужна из гидравлических соображений для обеспечения наименьшего коэффициента трения, а правильная обработка кромок необходима для создания плотных швов, что, в свою очередь, придает и самой трубе необходимую плотность.

Кромки клепок, предназначенных для изготовления звеновых труб, обязательно снабжаются пазом и гребнем. Это требование исходит не

столько из соображений уплотнения швов, хотя некоторую роль в этом отношении паз и гребень и играют, сколько, главным образом, из производственных условий,—паз и гребень служат как направляющие при сборке труб и обеспечивают правильность сборки. Формы шпунтов применяются самые разнообразные (рис. 17). Во всяком случае, в смысле производства, нужно выбирать наиболее простой шпунт и при этом такой, который представлял бы наименьшую опасность, с точки зрения скалывания его и какой-либо другой порчи во время манипуляций с клепками. С этой точки зрения хорош полукруглый шпунт (рис. 17). Он удобен в работе и прочен, так как не скалывается и не сми-



нается при перемещении и манипуляциях с клепкой во время работы. В этом шпунте гребень располагается относительно радиальной боковой поверхности так, чтобы угол, образованный касательной к гребню в точке его пересечения с боковой поверхностью, был больше 90° .

Желательно, чтобы гребень и паз были расположены в нижней половине сечения клепки и чтобы гребень был чуть больше паза. Тогда во время натяжения проволоки гребень вдавливается в древесину и дает плотное соединение.

Арматурой звеновых труб является проволока. Она наматывается на трубу спирально, причем шаг спирали определяется расчетом. В начале обмотки конец проволоки закрепляется на трубе так, чтобы следующие витки прижимали названный конец к трубе. Несколько начальных



Рис. 18. Закрепление проволоки на звеновой трубе.

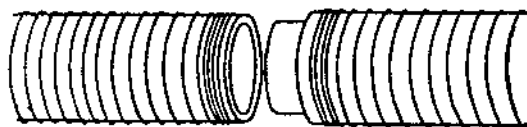


Рис. 19. Соединение звеновой трубы вставкой.

витков (не меньше трех) наматываются плотно друг к другу и закрепляются или скобочками из оцинкованной проволоки или специальными закрепами (рис. 18). Концы скобок не должны входить в стенки трубы больше, чем на $\frac{2}{3}$ толщины клепки. Проволока на другом конце трубы закрепляется такими же скобочками или закрепами. При обрыве проволоки во время обмотки, или при окончании, во время обмотки, бухты проволоки, концы ее закрепляются так же, как и при начале или конце обмотки. Возможно применить сварку концов проволоки с обязательной оцинковкой сваренного места. Можно также в месте окончания проволоки сделать, для соединения концов ее, телеграфную скрутку.

Соединения отдельных звеньев труб между собою осуществляются одним из следующих способов.

Простое соединение вставкой одного конца трубы в другой (рис. 19). В этом случае один конец трубы затачивается снаружи, другой изнутри так, чтобы трубы плотно входили друг в друга помощью ударов по концу или давлением домкратом. Длина заточки 75 мм. Для труб диаметром больше 300 мм за границей делают заточки длиной 100 и 125 мм. Заточки могут быть сделаны или цилиндрические, или конические

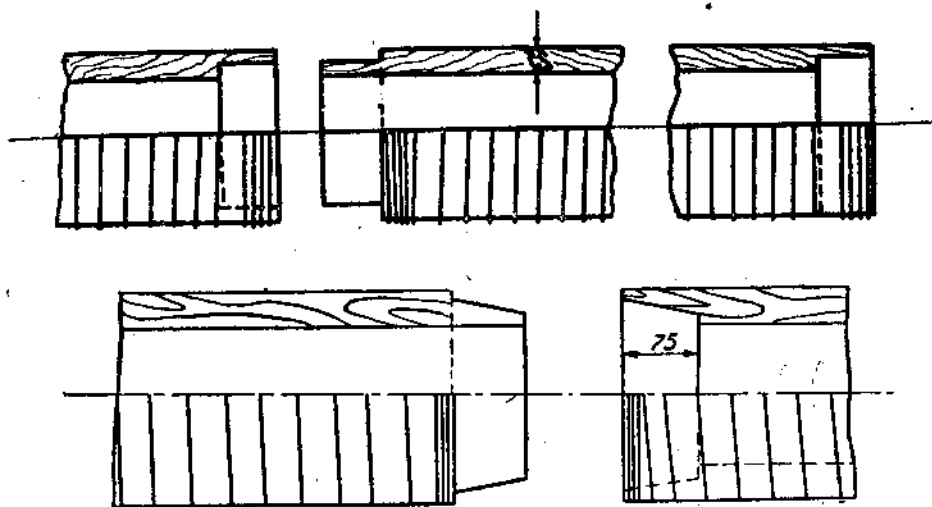


Рис. 20. Заточка концов труб.

(рис. 19 и 20). Этот тип соединений применяется для небольших давлений (не выше 4 — 5 атм).

Для больших давлений такое соединение может быть усилено железным бандажем из полосового или круглого железа, затягиваемого в первом случае болтами, а во втором чугунным башмаком (рис. 21). Далее применяется соединение деревянными муфтами, которые могут

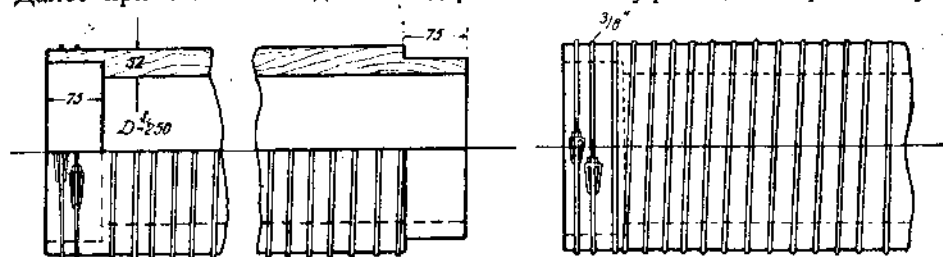


Рис. 21. Соединение звеной трубы вставкой с дополнительным бандажом.

быть двух видов. Муфта, показанная на рис. 22, состоит из отрезка трубы длиной 150 мм, обмотанной проволокой на подобие обмотки трубы, причем обмотка делается с шагом вдвое меньшим, чем на самой трубе. При этом как соединяемые концы труб, так и внутреннюю поверхность муфты можно сделать либо цилиндрической, либо конической. Муфта, изображенная на рис. 23, разборная. Она состоит из отдельных клепок, которые собираются поверх концов соединяемых звеньев.

Клепки затягиваются бандажами. Для больших давлений, 7 — 8 и выше атмосфер, применяются муфты железные (рис. 24), а также чугунные или двойные железные (рис. 25).

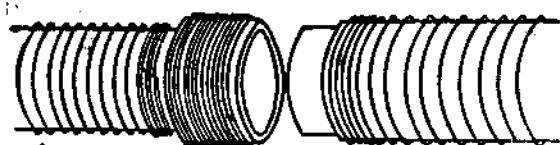


Рис. 22. Соединение звеновой трубы помощью постоянной муфты.

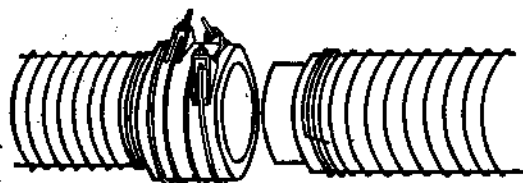


Рис. 23. Соединение звеновых труб помощью разборной муфты.

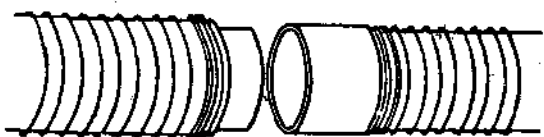


Рис. 24. Соединение звеновых труб железной муфтой.

Соединение помощью заточек хорошо тем, что в этом случае стенки вполне пропитываются водой. Муфтовое соединение дает большую плотность стыка. При разборной муфте очень удобно разобрать трубопровод и сменить во время ремонта звено. Недостаток деревянных муфтовых соединений тот, что муфты плохо пропитываются водой, загнивают быстрее, чем сами трубы, и тогда могут заразить гнилью и трубы. Для большей долговечности их нужно пропитывать каким-либо антисептиком или делать исключительно из лиственницы, так как это дерево хорошо противостоит гниению даже в условиях переменного действия влаги.

Железные муфты дают плотное соединение, но являются вместе с тем слабым местом труб, так как подвержены ржавлению. Их нужно

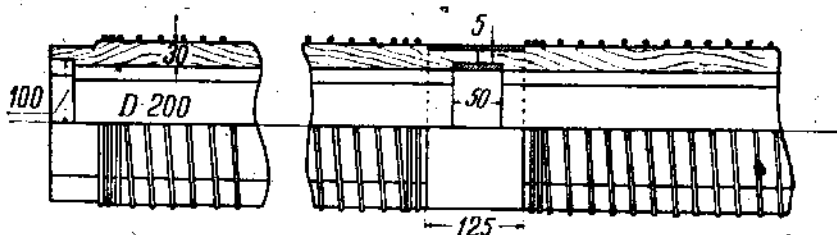


Рис. 25. Соединение звеновых труб помощью двойной металлической муфты.

предохранять от ржавления какой-либо окраской. Чугунные муфты меньше подвержены ржавлению, чем железные, но удорожают трубы.



Рис. 26. Патрубок для соединения деревянной звеновой трубы с чугунной.

Соединение деревянных труб с трубами железными или чугунными осуществляется путем специальных фасонных частей.

На рис. 26 изображен патрубок для соединения деревянной трубы с чугунной. В этом случае на конец деревянной трубы надевается железное кольцо и уже по нему производится обычное уплотнение прядью,

заливкой и зачеканкой свинцом. Можно производить заливку свинцом прямо по дереву. (рис. 27). Свинец стынет очень быстро, дерево не обугливается, и получается надежный стык. Можно производить такое соедине-

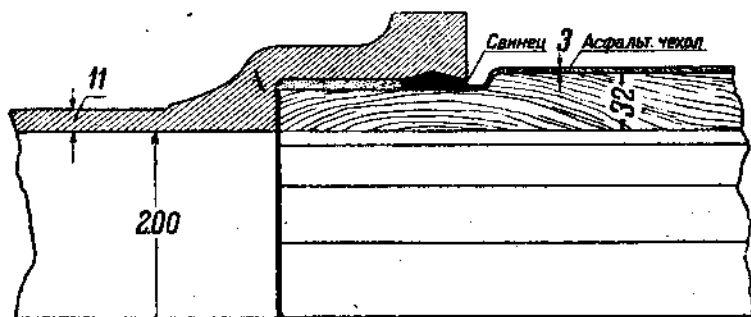


Рис. 27. Способ заливки свинцом по дереву.

ние, пользуясь в качестве материала для заливки не свинцом, а жирным раствором цемента. Наконец, для небольших давлений можно конец деревянной трубы вогнать в раструб без какого-либо дополнительного уплотнения. В этом случае уплотнение стыка происходит исключительно за счет разбухания дерева. При установке тройников, отводов, крестовин и т. п. можно пользоваться или специальными отливками (по схеме, изображенной на рис. 28), или нормальными фасонными частями. В последнем случае для соединения деревянной трубы с нормальной фасонной частью необходимо иметь специальный переходный патрубок (рис. 26), у которого одна раструбная часть сделана для присоединения к деревянной трубе, а другой конец с нормальным раструбом или буртом присоединяется к нормальной фасонной части. Такое присоединение

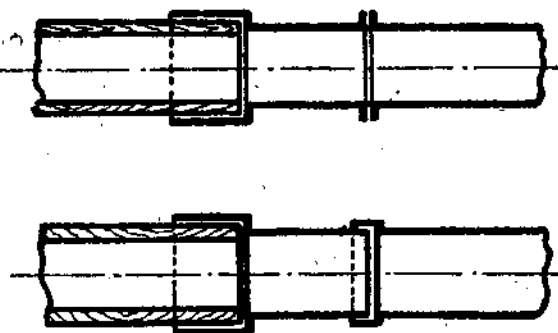


Рис. 28. Соединение помощью специальной фасонной части.

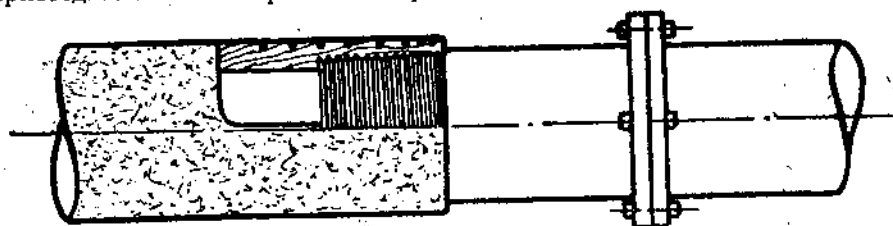


Рис. 29. Соединение деревянной трубы с железной.

очень удобно в том отношении, что нормальные фасонные части всегда имеются на складах, следовательно, отпадает нужда в изготовлении специальных отливок (отводов, тройников и пр.) и связанном с этим делом



Рис. 30. Соединение деревянной трубы с железной.

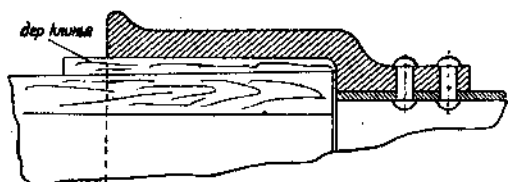


Рис. 31. Соединение с уплотненными деревянными клиньями.

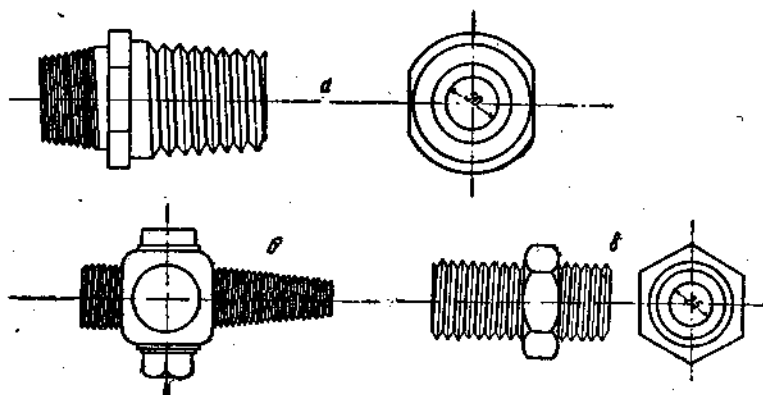


Рис. 32. Присоединение металлической трубы к деревянной помощью нипеля.

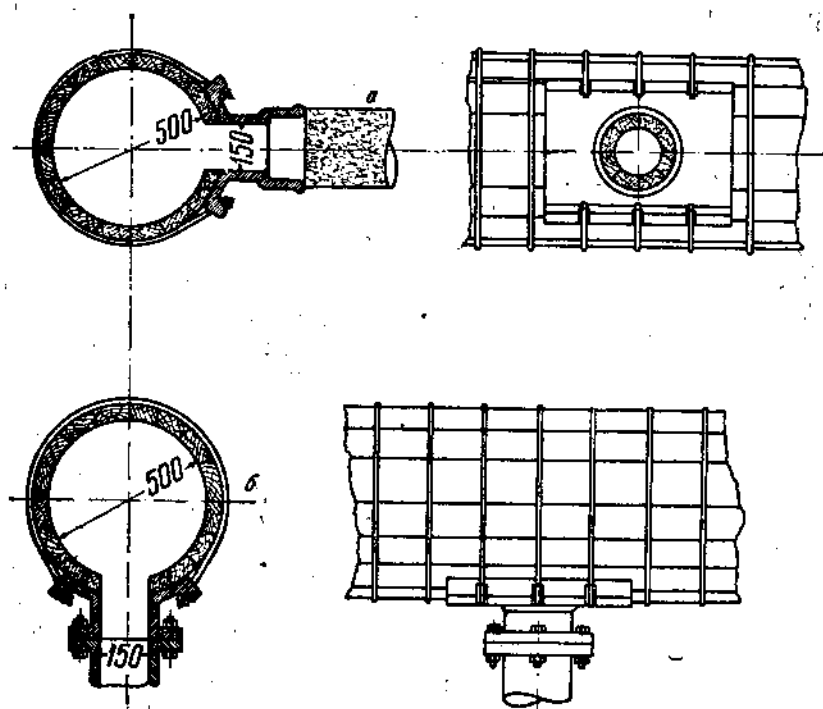


Рис. 33. Присоединение металлической трубы к деревянной помощью седла.

изготовлении специальных чертежей, моделей и пр., а нужно иметь лишь патрубки для каждого диаметра трубы, помощью которых можно перейти к любой фасонной части. Недостатком специального патрубка является то, что при этом способе требуется больше чугуна.

Соединение деревянной трубы с железной может быть произведено по указанному на рис. 29 способу. Оно состоит из патрубка, на одном конце которого имеется фланец или муфта, а на другом резьба. Нарезанный конец патрубка ввинчивается в деревянную трубу. Можно также осуществить соединение, как указано на рис. 30. В этом случае в деревянную трубу вставляется железное кольцо, которое сбалчивается с кольцом из углового железа, надеваемого на внешнюю окружность трубы. Таким образом получается фланец, который соединяется с фланцем железной трубы.

Встречается соединение, изображенное на рис. 31, когда к железной трубе прибалчивается или приклепывается фасонное литое кольцо, деревянная труба вставляется в него так, чтобы оставался зазор, и в этот зазор по всей окружности трубы забиваются деревянные клинья.

Присоединение металлических труб небольших диаметров (до 75 мм) к деревянным трубам можно осуществлять помощью ввертывания в стенку деревянной трубы специальных нипелей (рис. 32). В этом случае витки проволоки на звеновой трубе раздвигаются, просверливается отверстие буром, а затем ввинчивается нипель. Такое присоединение можно произвести даже под напором. В этом случае отверстие просверливается не на полную толщину стенки, затем ввинчивается нипель с вентиляем, концом которого оставшаяся часть древесины клепки и выдавливается внутрь трубы. Присоединение какого-либо ответвления к деревянной трубе можно произвести также помощью седелки (рис. 33). Седелка отливается из чугуна и закрепляется на трубе помощью бандажей. Седелку на звеновой трубе можно укрепить также в процессе изготовления трубы на заводе (рис. 34). В этом случае специальная отливка со штырями устанавливается на внешней поверхности трубы и прикрепляется витками обмотки.

Установка гидранта также может быть осуществлена помощью седелки (рис. 35).

На рис. 36 изображены различные фасонные части, применяющиеся на деревянных трубах.

Одним из достоинств деревянных труб является то, что их можно укладывать на закруглениях без применения фасонных частей (рис. 37). Конечно, радиусы закругления в этом случае должны быть достаточно велики.

Малые радиусы закруглений при укладке трубопроводов нежелательны, во-первых, с гидравлической точки зрения, так как они значительно увеличивают сопротивление движению жидкости, и, во-вторых, при малых радиусах закруглений трудно достичь необходимой плотности стыков, следствием чего является утечка. Укладка труб на закруглениях с малыми радиусами требует точной и аккуратной работы, а потому и дополнительной рабочей силы, что, конечно, удорожает укладку трубопровода. Во время эксплуатации трубопровода и ремонта его, места с крутыми закруглениями также создают известные затруднения.

Необходимо избегать одновременного закругления на одном и том же участке как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, хотя примеры таких укладок в Америке имеются (рис. 38).



Рис. 34. Седелка, укрепляемая на деревянной трубе в процессе ее изготовления.

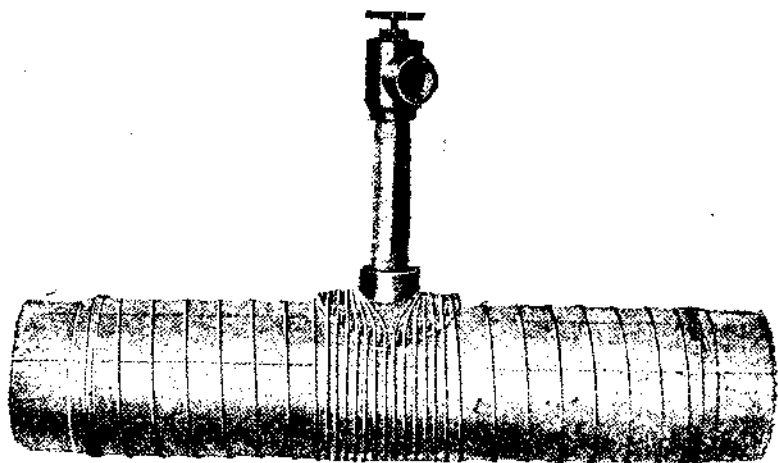


Рис. 35. Установка гидранта.

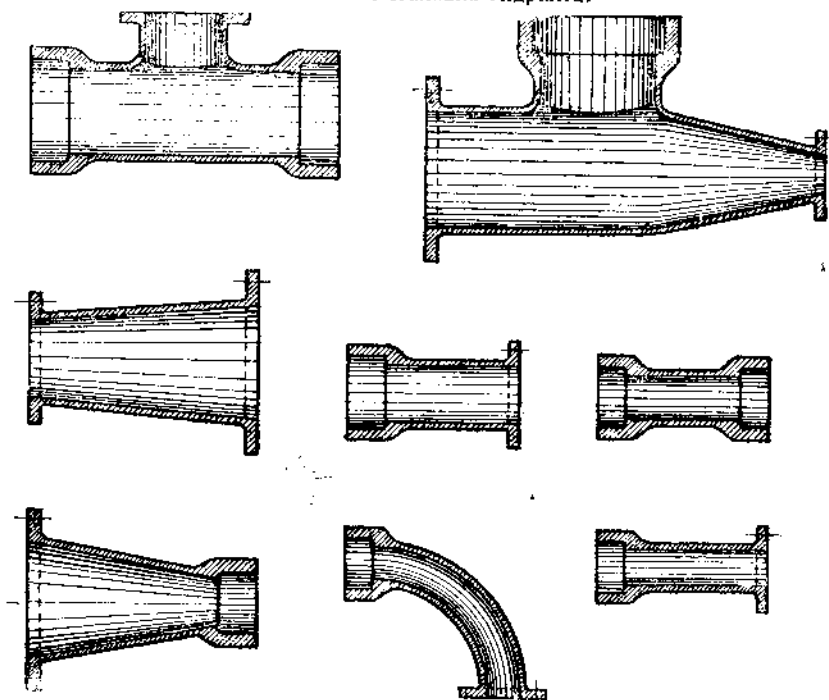


Рис. 36. Различные фасонные части для деревянных труб.

Для достижения необходимой плотности соединений нужно, чтобы между кривыми участками трубопровода, независимо от расположения кривых в той или иной плоскости, располагались на некоторую длину, прямые вставки.

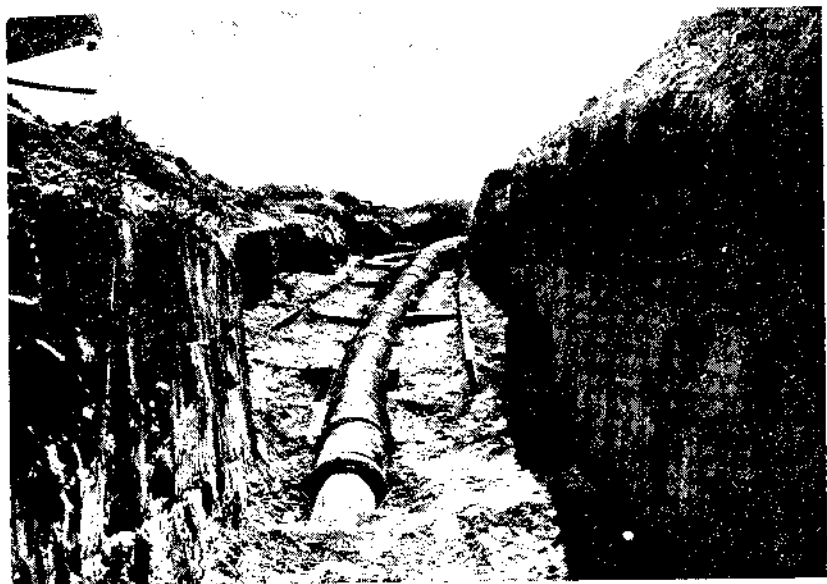


Рис. 37. Закругление деревянного трубопровода из звеновых труб.

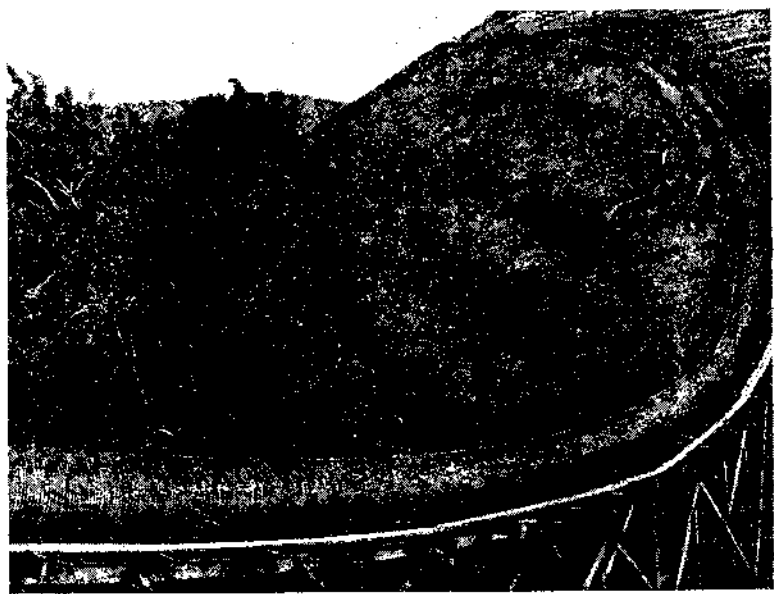


Рис. 38. Закругление в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Наименьшие радиусы закруглений для звеновых труб разных диаметров приведены в нижеследующей таблице.

ТАБЛИЦА 25

Длина звена в м	Внутренний диаметр трубы в мм								
	50	75	100	125	150	200	250	300	350
Наименьший радиус закругления в м (открытие стыка 3,17 мм— $\frac{1}{8}$ ")									
0,6	19	24	29	34	40	49	59	69	79
0,9	29	36	44	51	59	74	88	103	118
1,2	38	48	59	68	79	98	118	138	157
1,5	48	60	74	86	99	123	147	173	197
1,8	58	72	89	103	119	148	176	207	236
Наименьший радиус закругления в м (открытие стыка 6,35 мм— $\frac{1}{4}$ ")									
0,6	10	12	15	17	20	25	30	35	40
0,9	15	18	22	26	30	37	44	52	59
1,2	19	24	30	34	40	49	59	69	79
1,5	24	30	37	43	50	62	74	87	99
1,8	29	36	45	52	60	74	88	104	118
Наименьший радиус закругления в м (открытие стыка 9,5 мм— $\frac{3}{8}$ ")									
0,6	7	8	10	11	13	16,5	20	23	26
0,9	10	12	15	17	20	25	30	35	40
1,2	13	16	20	23	28	33	39	46	52,5
1,5	16	20	25	28,5	33	41	49	58	66
1,8	19	24	30	34	40	49	59	69	79

Продолжение.

Длина звена в м	Внутренний диаметр трубы в мм								
	400	450	500	550	600	650	700	750	800
Наименьший радиус закругления в м (открытие стыка 3,17 мм— $\frac{1}{8}$ ")									
0,6	89	98	109	118	128	137	148	157	167
0,9	133	148	169	177	192	206	221	236	250
1,2	178	197	217	236	256	276	295	314	334
1,5	222	246	271,5	295,5	319,5	343,5	369	393	417
1,8	266	295	326	355	383	412	443	472	501
Наименьший радиус закругления в м (открытие стыка 6,35 мм— $\frac{1}{2}$ ")									
0,6	45	49	55	59	64	69	74	79	84
0,9	61,5	74	84,5	88,5	96	103	110,5	118	125
1,2	89	98,5	108,5	118	128	137,5	147,5	157	167
1,5	111	123	136	148	160	172	184,5	196,5	208,5
1,8	133	147,5	163	177,5	191,5	206	221,5	236	250,8
Наименьший радиус закругления в м (открытие стыка 9,5 мм— $\frac{3}{8}$ ")									
0,6	30	33	36	40	43	46	49	52,5	56
0,9	45	49	55	59	64	69	74	79	84
1,2	59	66	73	79	85	92	98	105	111
1,5	74	82	91	99	106,5	115	122	131	139
1,8	89	98,5	108,5	118	128	137,5	147,5	157	167

При этом нужно сказать, что открытие стыка 9,5 мм и соответствующие радиусы закруглений можно применять для труб с давлением 1,5—2,5 атм., открытие стыка 6,35 мм для труб с давлением 2,5 — 6 атм. и открытие стыка 3,1 мм для труб с давлением от 6 до 10 атм.

Для трубопроводов диаметром от 350 мм и до 500 мм на ряду со звеновыми трубами можно применять и трубы непрерывного типа. За границей звеновые трубы делаются диаметром до 800 мм. У нас же трубы диаметром выше 500 мм делаются исключительно непрерывными.

Для изготовления непрерывных труб употребляются клепки такого же сечения, как и для звеновых труб (рис. 17). Шпунт для труб диаметром выше 700 мм обычно не применяется, так как при таком диаметре уже возможно во время сборки трубы проникнуть внутрь трубы и постукиванием по ней выправить неправильно поставленные или запавшие внутрь клепки, так что отпадает необходимость в устройстве в клепке гребня и паза, служащих, главным образом, как выше указано, для правильного направления клепки при сборке трубы.

Как выше сказано, непрерывные трубы (рис. 39) отличаются от звеновых следующими признаками: 1) они не имеют звеньев определенной длины и, таким образом, стыки по длине трубы делаются не между отдельными звеньями, а между отдельными клепками, т. е. труба образуется непрерывным присоединением одной клепки к другой; 2) арматура этих труб состоит не из спирально наматываемой на трубу проволоки,

а из отдельных бандажей, которые ставятся на трубу на определенном друг от друга расстоянии и затягиваются башмаками особого типа и 3) эти трубы собираются на месте работ.

Как и в звеновых трубах, клепки непрерывных труб обрабатываются со всех четырех сторон по определенному шаблону, зависящему от диаметра трубы.

Торцы клепок обрезаются точно под прямым углом к кромке и пласти клепки и снабжаются прорезом, идущим в нижней части толщины клепки, считая за нижнюю часть сторону, обращенную внутрь трубы. Толщина и глубина прореза зависят от того, какой язычок вставляется в этот прорез для торцевого соединения клепок.

Соединения торцов клепок делаются по одному из следующих спо-

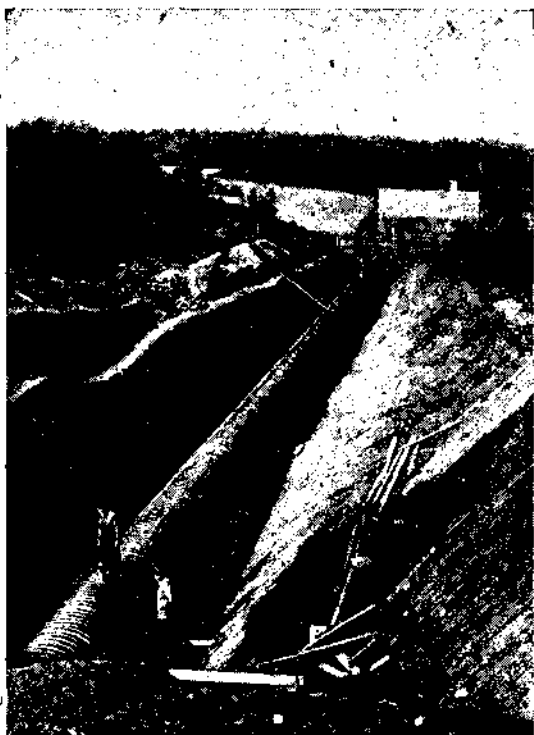


Рис. 39. Непрерывная деревянная труба.

собою (рис. 40). Соединение деревянным язычком (рис. 40 а) дает плотное соединение, язычок не портится от времени, но требует при сборке большой внимательности и точности. Деревянные язычки делаются из какой-либо твердой породы (дуб, бук, самшит) и имеют следующие размеры: толщину 6—7 мм, длину 80 мм и ширину на 1—1½ мм шире соединяемой клепки. В соответствии с размерами язычка и размеры прорезов на торцах клепки должны иметь толщину 6—7 мм и глубину 40 мм. Направление слоев в деревянных язычках должно, конечно, совпадать с направлением слоев к клепке.

В качестве соединительных язычков применяются также железные или стальные пластинки (рис. 40 б) размерами: толщиной 2—3 мм, длиной 50—60 мм и шириной на 1½—2 мм шире ширины клепки. Стальные или железные пластинки должны быть оцинкованы. Соответственно им прорезы на торцах клепки должны иметь толщину 2—3 мм и глубину

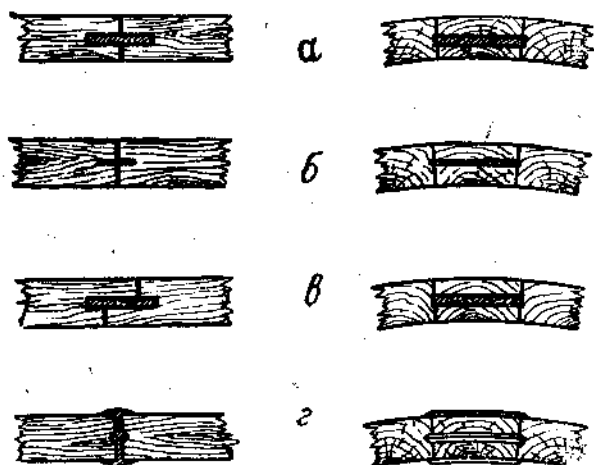


Рис. 40. Соединение торцов клепок в непрерывных трубах.

25—30 мм. Этот стык более прост в работе, чем деревянный, не требует такого внимания при сборке труб, но может проржаветь, в особенности, если применить неоцинкованное железо. Такие же стыки с деревянными или металлическими язычками могут быть устроены при соединении торцов досок не впритык, а в полдерева (рис. 40 в).

И деревянные, и металлические язычки, как сказано выше, делаются несколько шире соединяемых клепок для

того, чтобы выступающие части язычков вминались в соединяемые клепки при затягивании трубы бандажми и, таким образом, давали плотное соединение.

Далее в Америке применяется стыковое соединение, предложенное Kelsey (рис. 40 г) в 1912 г. При употреблении этого стыка прорезов на торцах клепок не делается, а необходимая плотность стыка достигается помощью особой фасонной вставки, сделанной из ковкого чугуна. Эта вставка не портит торцов клепок и перекрывает стык как с внутренней, так и с наружной стороны. У нас пока стык Kelsey не применяется, так как разместить заказы на ковкий чугун очень трудно.

Соединение типа Kelsey особенно рекомендуется употреблять в тех случаях, когда труба предназначена для всасывания или при вакууме, так как названная конструкция передает усилия, коим подвергается соединение, на все четыре смежные клепки, а также предохраняет концы клепок от растрескивания. При глубоком заложении трубы также следует предпочесть соединение Kelsey. В Америке имеются также случаи применения соединительных язычков, сделанных из папье-маше.

Из таблицы 26 видно ориентировочное количество язычков, идущее

на 1 п. м трубы для труб разного диаметра, при разных длинах отдельных клепок и при ширине досок, указанных в таблице 20.

ТАБЛИЦА 26

№ по пор.	Диаметр трубы	Колич. язычков при длине досок в метрах					
		2	3	4	5	6	6,5
1	350	5,5	4	3	2,5	2	2
2	400	6	4	3	2,5	2	2
3	450	6,5	4,5	4	2,5	2	2
4	500	7,5	5	4	3,5	3	2,5
5	600	9	6	4,5	3	3	3
6	700	9,5	6,5	4,5	4	3,5	3
7	800	10	6	5	4	3	3
8	900	11,5	8	6	5	4	4
9	1 000	12,5	8,5	6	5	4	4
10	1 100	13,5	9	7	5,5	4,5	4,5
11	1 200	15,5	10	7,5	6	5	5
12	1 300	16	11	8	6,5	5,5	5,5
13	1 400	17,5	12	9	7	6	6
14	1 500	16	11	8	6,5	5,5	5,5
15	1 600	17	11	8,5	7	6	6
16	1 700	18	12	9	7	6	6
17	1 800	19	13	9,5	8	7,5	7,5
18	1 900	20	13	10	8	8,5	8,5
19	2 000	21	14	10,5	8,5	7	7
20	2 500	24,5	16	12,5	10	8	8
21	3 000	26	17	13	10,5	9	9

Бандажи деревянных труб делаются из круглого железа (рис. 41). Полосовое железо, опыт применения которого был сделан при начале введения деревянных труб в строительную практику, оказалось неудачным, так как нижняя, прилегающая к трубе, часть такого бандажа трудно доступна осмотру, а потому наиболее подвержена опасности ржавления. В бандажах же из круглого железа только небольшая часть прилегает к трубе. Для труб диаметром до 1400 мм конец бандажа снабжается полусферической головкой заклепочного типа, а другой конец нарезкой. Головка может быть сделана и какого-либо другого типа (квадратная, цилиндрическая и др.). Перед нарезкой конец бандажа обсаживается, и на утолщенном конце делается нарезка с таким расчетом, чтобы наименьший диаметр нарезанной части был не меньше диаметра всего бандажа. В противном случае, т. е. когда нарезка сделана на необсаженном предварительно пруте железа, в этом месте получается ослабленное сечение и тогда расчет нужно вести по сечению netto. Длина нарезки на бандаже 150 — 175 мм (рис. 41). Для труб диаметром больше 1400 мм употребляются бандажи, состоящие из двух частей. Обыкновенные бандажи в этом случае неудобны вследствие того, что согнутый уже бандаж приходится разгибать при постановке на трубу, а это вызывает большие затруднения в работе, и кроме того трудно производить надлежащую затяжку трубы большого диаметра одной гайкой. При употреблении двойного бандажа одна часть его снабжается только головками по обоим концам, а другая только нарезкой тоже по обоим концам.

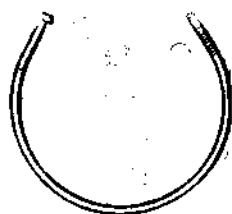


Рис. 41. Железный бандаж для непрерывной трубы.

Бандажи перед укладкой их в дело покрываются асфальтовым лаком или суриком на олифе. Количество бандажей, т. е. расстояние между ними, зависит от внутреннего давления и определяется расчетом. Расстояние между бандажами меньше 25 см, в крайнем случае 30 см, не делается по конструктивным соображениям, хотя бы по расчету их и можно было поставить реже. В американской практике было много случаев, когда в трубе при редко поставленных бандажах открывалась течь, которую ничем нельзя было остановить.

Бандажи затягиваются на трубе помощью башмаков специального типа. Одним из наиболее употребительных башмаков является американский башмак системы Adams'a (рис. 42а), отливаемый из чугуна. Лучшее отливать башмаки из ковкого чугуна. У нас же употребляется большей частью обыкновенный серый чугун, зато размеры их, а следовательно, и вес получается больший. В нижний прозор башмака вставляется конец бандажа, снабженный головкой, бандаж охватывает всю

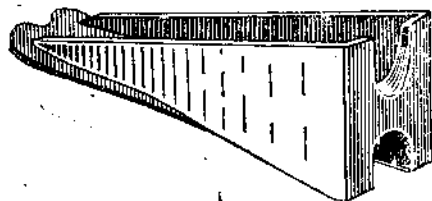


Рис. 42а. Башмак системы Adams'a.

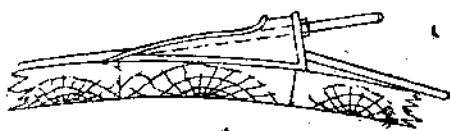


Рис. 42б. Башмак с закрыт. верхн. прозором.



Рис. 42в. Башмак для бандажа с нарезками на обоих концах.

трубу по окружности, конец, снабженный нарезкой, ложится на верхний прозор и затягивается гайкой. При двойных бандажах концы, снабженные головками, закрепляются также в нижних прозорах, а снабженные нарезкой ложатся в верхние прозоры и затягиваются гайками. Под гайки должны быть обязательно подложены шайбы.

Несколько иной тип башмака (рис. 42б), в котором верхний прозор закрыт, также получил значительное распространение. Он более удобен в том отношении, что здесь устранена опасность соскакивания бандажа, а это может случиться, когда для изготовления бандажей взято недостаточно мягкое, сталистое железо, которое имеет тенденцию пружинить. Но неудобства в этом башмаке тоже имеются, так как при сборке трубы, в особенности в начальной стадии ее, трудно вставить нарезанный конец бандажа в отверстие, иной раз приходится иметь известный процент (примерно 1%) более длинных и с более длинной нарезкой бандажей для первоначальной затяжки трубы.

Другой тип чугунного башмака изображен на рис. 42в.

За последнее время в целях экономии чугуна появились предложения на способы закрепления и затяжки бандажей помощью обработки соответствующим образом одного из концов бандажей.

Рис. 43а изображает тип такого соединения, сделанный в виде скрутки нескольких витков бандажа вокруг собственного диаметра (предложение Савинкова). Соединение этого типа неудобно, так как, во-первых, всегда будет налицо опасность разгибания шейки первого, находящегося на конце бандажа, витка, во-вторых, витки разрушают древесину клепки во время за-

тяжки, а это недопустимо, так как помимо нарушения в этом месте механической прочности клепки доказано, что в местах разрушения в первую очередь появляется гниль, которая распространяется и на окружающую древесину. Можно, конечно, избежать этого путем применения подкладок, но это усложнит и удорожит работу. Второй предложенный тип закрепления бандажей (предложение Романовского) образуется путем отштамповывания конца бандаж в виде фигурной части, изображенной на рис. 43б. Это соединение еще не испытано и трудно судить о его целесообразности.

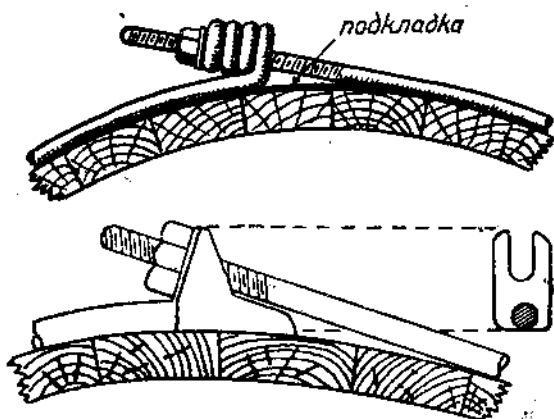


Рис. 43 а-б. Различные типы башмаков.

Вообще же до сего времени наиболее распространен вследствие своей целесообразности и компактности башмак Adams'a (рис. 42а). В наших условиях наиболее целесообразным по видимому является применение железных штампованных башмаков, вполне оправдавших себя на деле.

В трубах непрерывного типа при надлежащем качестве леса допускаемый напор зависит от возможности установить наибольшее количество бандажей, воспринимающих, как известно, внутреннее давление. Возможность же установить наибольшее количество бандажей, т. е. разместить их с наименьшим расстоянием друг от друга, зависит от размещения башмаков по окружности трубы и от их размеров. Башмаки при установке

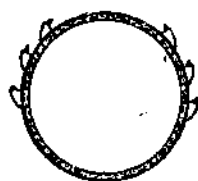
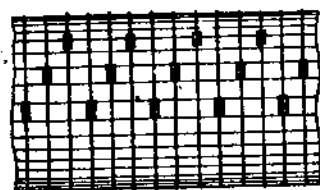


Рис. 44. Схема расположения башмаков на непрерывной трубе.

их на трубе обыкновенно группируются по три, так что один башмак ставится, примерно, против горизонтального диаметра, один выше и один ниже, как показано на рис. 44. Это расположение башмаков позволит установить 2 рядом расположенные бандаж так, что половина ширины

башмака плюс диаметр бандаж определит минимальное расстояние между бандажами, а следовательно, и максимальный напор, который можно дать трубе по соображениям прочности ее.

Из таблицы 27 видны наименьшие расстояния между бандажами непрерывных труб при употреблении башмака Adams'a.

На рис. 45 изображен график, пользуясь которым можно приблизительно определить наименьшие расстояния от центра до центра бандажей разного диаметра от 9 мм до 25 мм с башмаками надлежащих размеров и бандажей, снабженных головками.

При увеличении давления обычно уменьшают шаг бандажей и таким образом используют металл наиболее целесообразно. Это обстоятельство

ТАБЛИЦА 27.

№ по порядку	Диаметр трубы мм	Диаметр бандажа мм	Наименьшее рас- стояние между бандажами мм
1	350	13	29
2	400	13	29
3	500	16	35
4	600	16	35
5	700	16	35
6	800	19	42
7	900	19	42
8	1 000	22	47
9	1 100	22	47
10	1 200	22	47
11	1 300	25	53
12	1 400	25	53
13	1 500	25	53
14	1 600	25	53
15	1 700	25	53
16	1 800	25	53
17	1 900	25	53
18	2 000	25	53
19	2 500	32	67
20	3 000	32	67

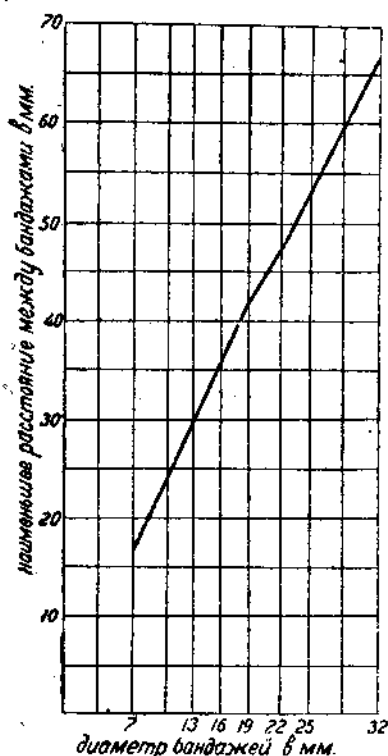


Рис. 45. График для определения наименьшего возможного расстояния между бандажами.

составляет одно из преимуществ труб деревянных перед теми типами их, в которых металл должен воспринимать повышение давления или посредством повышения процентного содержания его или должен иметь определенную минимальную толщину для обеспечения прочности, а поэтому не может быть так экономично использован, как в деревянных трубах. Это достоинство деревянных труб особенно сказывается по отношению к деревянным трубам больших диаметров с низкими напорами.

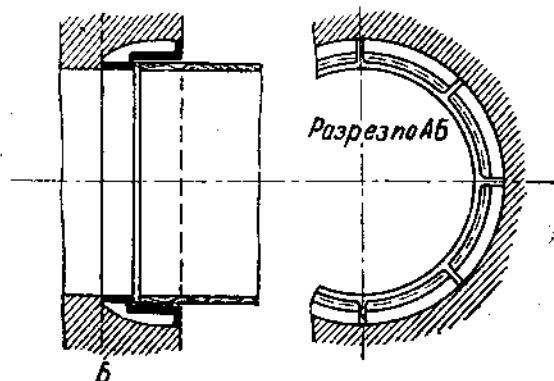


Рис. 46. Соединение деревянной трубы с бетоном помощью чугунных частей.

Ориентировочный вес бандажей, башмаков и клепок для разных диаметров труб и для разных напоров можно взять из таблицы 24, приведенной в главе 5.

Для соединения деревянных труб с трубами из других материалов, с колодцами, напорными бассейнами, а также установка на них вентиляей, лазов, вантузов, и пр. производится помощью специальных фасонных частей. Чаще всего деревянные трубы непрерывного типа приходится присоединять к бетонным бассейнам и соединять с железными трубами.

Для соединения с бетоном наиболее простым способом является непосредственная заделка деревянной трубы в бетон. В этом случае конец трубы снабжается какой-либо эластичной прокладкой, чтобы при разбухании трубы эта прокладка принимала на себя силы разбухания и препятствовала образованию волосных трещин в бетоне. Подобное соединение лучше делать помощью специальной чугунной части, заделываемой в бетон (рис. 46).

Другое соединение указано на рис. 47 и также состоит из чугунного кольца, заделываемого в бетон. Деревянная труба входит в чугунное кольцо и уплотняется конопаткой.

Можно соединить деревянную трубу с бетоном, заделав в него предварительно железный патрубок и дальше соединив деревянную трубу с железной одним из нижеописанных способов.

На рис. 48 изображено соединение, при котором к железной трубе прибалчивается фасонное чугунное кольцо. Зазор между внутренней поверхностью кольца и внешней поверхностью деревянной трубы конопатится паклей, затем заливается свинцом и зачеканивается.

Сальниковое соединение, неоднократно применявшееся в нашей практике с хорошими результатами, изображено на рис. 49. В этом случае чугунное фасонное кольцо прибалчивается к железной трубе, деревянная труба присоединяется к железной, как указано на рис. 49, причем на деревянную трубу предварительно надевается нажимное кольцо, зазор между кольцом и трубой заполняется и уплотняется набивкой из пакли или какого-либо другого подходящего материала и зажимается нажимным кольцом, прикрепляемым к основной фасонной части болтами.

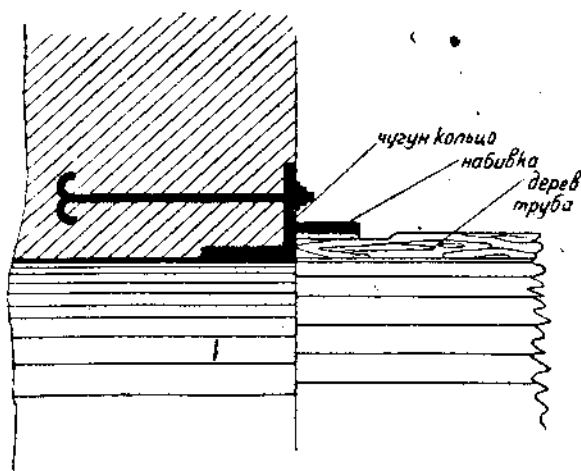


Рис. 47. Другой тип соединения деревянной трубы с бетоном.

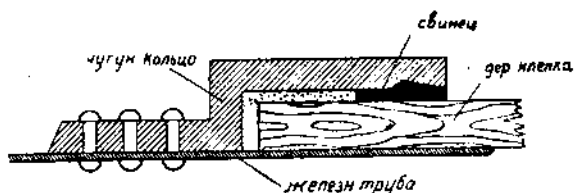


Рис. 48. Соединение деревянной трубы с железной помощью чугунного фасонного кольца с заливкой свинцом.

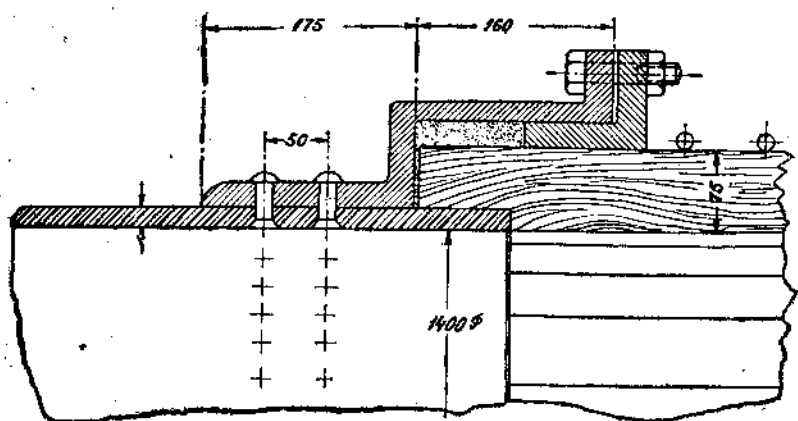


Рис. 49. Сальниковое соединение помощью чугунных колец.

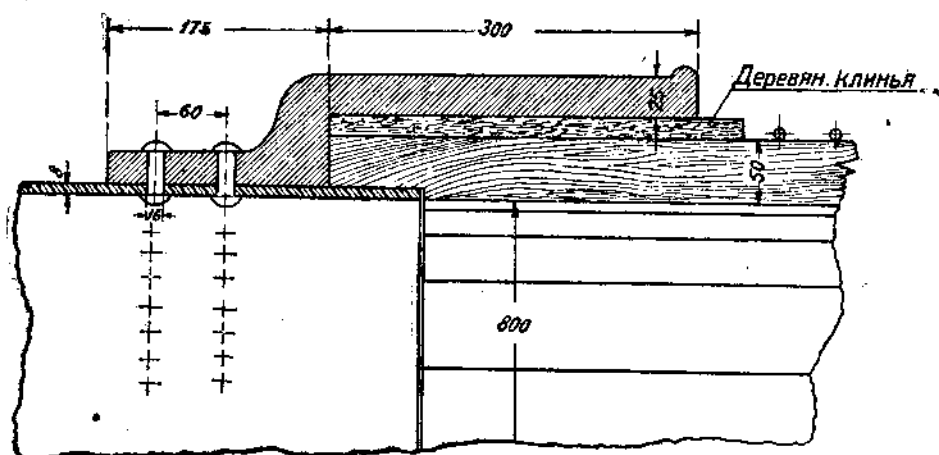


Рис. 50. Соединение с заклиниванием деревянными клиньями.

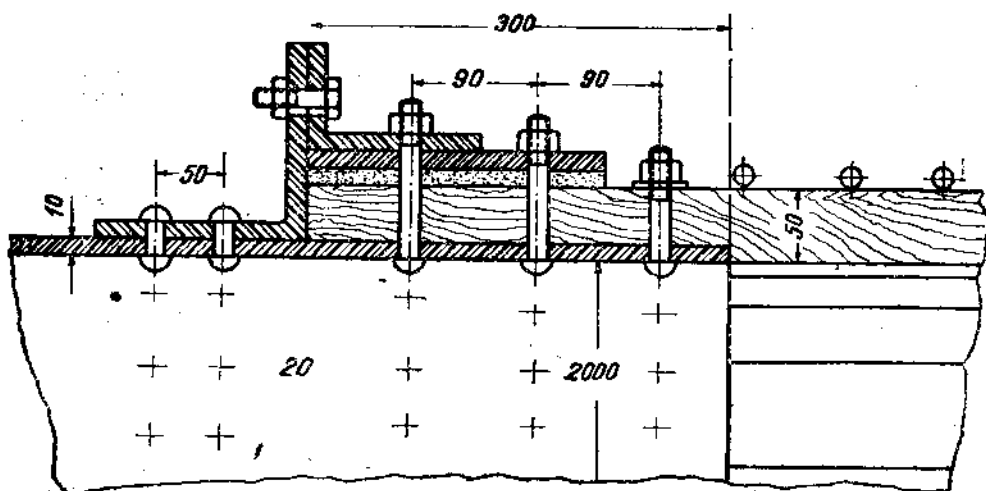


Рис. 51. Соединение деревянной трубы с железной помощью колец из фасонного железа.

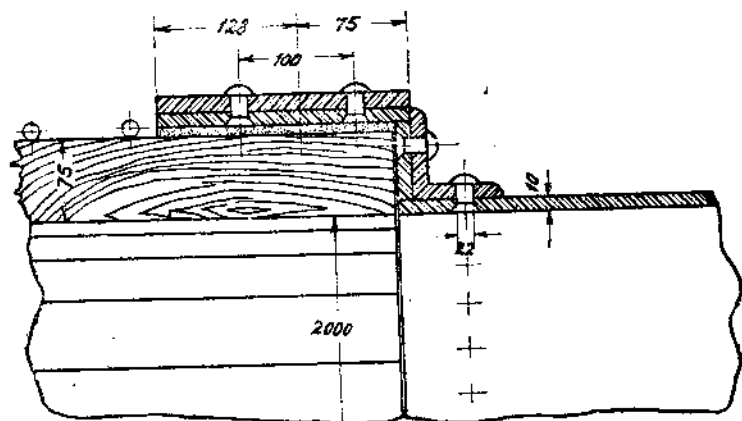


Рис. 52. Соединение деревянной трубы с железной помощью колец из полосового железа и одного кольца из углового железа.

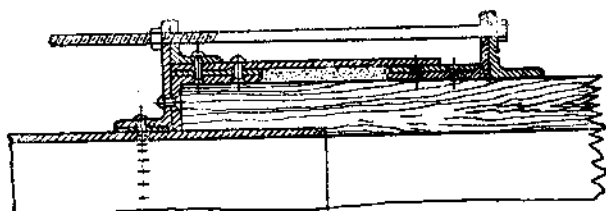


Рис. 53. Сальниковое железное соединение.

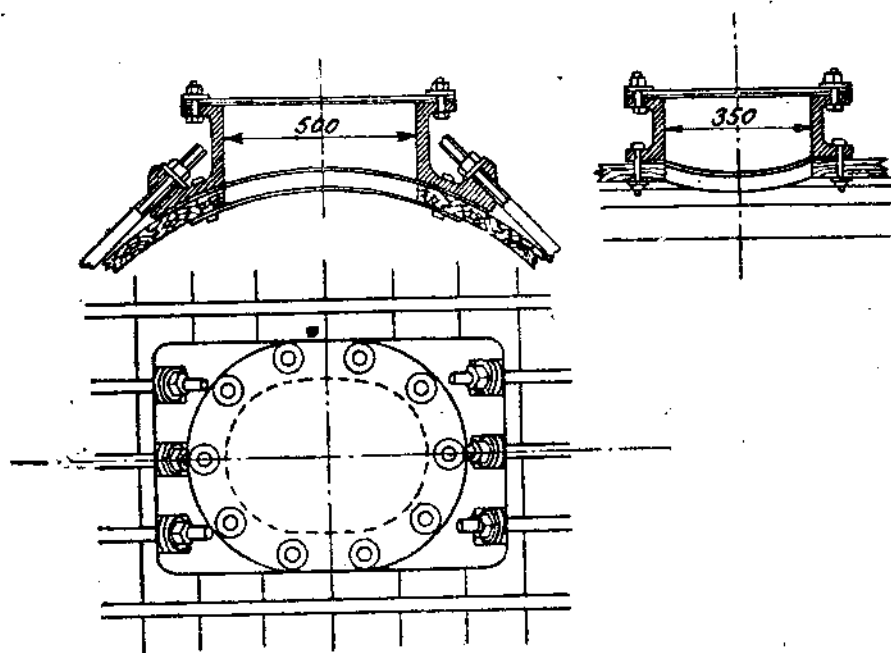


Рис. 54. Седелка для лаза.

На рис. 50 показано соединение, состоящее из фасонного чугунного кольца, прибалчиваемого к железной трубе. Уплотнение достигается путем заклинивания зазора между кольцом и трубой деревянными клиньями.

Можно исполнить соединение деревянной трубы с железной помощью колец, сделанных из полосового и углового железа (рис. 51 и 52). Особых пояснений эти соединения не требуют. Сальниковое соединение из железных частей показано на рис. 53. В этом соединении имеется нажимное кольцо, представляющее конструкцию из углового и полосового железа, соединяющегося посредством болтов с основным приклепанным к железной трубе кольцом.

Лазы, выпуска, вантузы и пр. присоединяются к деревянным трубам посредством седелок, закрепляемых на трубе при помощи бандажей, причем седелки имеют для этой цели специальные приливы по краям, имеющие вид башмаков обычного типа для установки бандажей (рис. 54).

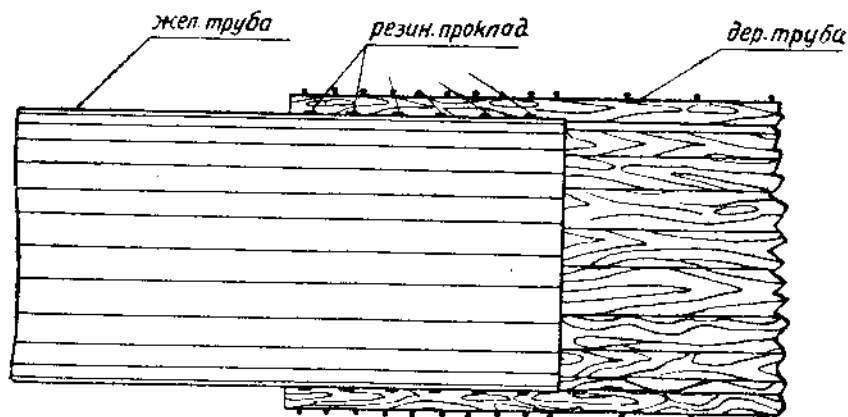


Рис. 55. Соединение помощью железного патрубка с резиновой прокладкой.

В Америке пользуется большим распространением следующий способ соединения деревянной трубы с железной (рис. 55). Конец металлической трубы снабжается желобками, в которых помещаются резиновые кольца. На эти кольца укладываются клепки деревянной трубы и затягиваются помощью бандажей обычного типа. Перекрытие металлической трубы деревянной должно быть произведено на длине не меньше 500 мм.

Таким же образом осуществляется вставка в линию деревянного трубопровода железного колена.

Соединение деревянной трубы с деревянной же, что приходится иногда производить при стыке труб одного диаметра, имеющих разное число клепок по окружности, можно осуществить путем вставки внутрь трубы в месте соединения ее железного патрубка с толщиной стенок 4—8 мм и постановкой на наружной части трубы деревянной муфты, скрепленной бандажами. Длина муфты 1—2 м.

Непрерывные трубы позволяют производить плавные закругления, не прибегая к каким-либо фасонным частям. Это обстоятельство является большим достоинством деревянных труб, так как позволяет укладывать трубу, в случае, если она идет по поверхности земли, не прибегая к сооружению эстакад и прочих устройств, а следуя складкам местности.

У Etcheverry ¹ дается такая эмпирическая формула для определения минимального радиуса закруглений непрерывных труб:

$$R_{\min} = \text{от } 4 \text{ до } 5 (D + 4t^2),$$

где R — наименьший радиус закругления в футах;

D — диаметр трубы в футах;

t — толщина клепки в дюймах.

Радиусы закруглений, получающиеся по этой формуле, малы, поэтому ею нужно пользоваться с большой осторожностью.

В нижеследующей таблице приведены американские данные о наименьших радиусах закруглений непрерывных труб.

ТАБЛИЦА 28.

№№ по пор.	Диаметр трубы мм	Наим. радиус закр. м	№№ по пор.	Диаметр трубы мм	Наим. радиус закр. м	№№ по пор.	Диаметр трубы мм	Наим. радиус закр. м
1	300	18	17	1 100	66	33	1 900	135
2	350	21	18	1 150	69	34	1 950	141
3	400	24	19	1 200	72	35	2 000	144
4	450	27	20	1 250	75	36	2 050	147
5	500	30	21	1 350	78	37	2 100	150
6	550	33	22	1 350	81	38	2 150	153
7	600	36	23	1 400	84	39	2 200	158
8	650	39	24	1 450	87	40	2 250	162
9	700	42	25	1 500	90	41	2 300	166
10	750	45	26	1 550	93	42	2 350	169
11	800	48	27	1 600	96	43	2 400	173
12	850	51	28	1 650	99	44	2 700	225
13	900	54	29	1 700	102	45	3 000	324
14	950	57	30	1 750	105	46		
15	1 000	60	31	1 800	109	47		
16	1 050	63	32	1 850	132	48		

Вообще наименьший радиус закруглений зависит помимо диаметра трубы еще и от толщины клепок, из которых сделана труба.

Нижеследующая таблица (29) дает наименьшие и экономические радиусы закруглений непрерывных труб в зависимости от диаметра трубы и толщины клепки.

Из таблицы 28 видно, что для непрерывных труб малых диаметров наименьший радиус закругления равен 60 диаметрам. Отношение это растет с увеличением диаметра трубы и для трубы, диаметром 3000 мм радиус закругления берется равным 108 диаметрам трубы.

Немецкий автор Н. Rabovsky считает, что отношение наименьшего радиуса к диаметру, равное 60-ти, мало, и рекомендует в целях большей плотности швов увеличить это отношение и брать за минимальный радиус закругления — радиус, равный 90 диаметрам. Действительно, малые радиусы затрудняют работу при укладке и требуют в этих местах особенно тщательной сборки трубопроводов, хотя в практике автора были случаи укладки трубопроводов, с весьма небольшим радиусом закругления (трубо-

¹ Etcheverry. Irrigation and Engineering.

провода Акбашской гидроустановки имеют закругление в вертикальной плоскости с радиусом несколько большим 20 м при диаметре трубы 1,0 м, т. е. отношение радиуса закругления к диаметру равно 20).

ТАБЛИЦА 29.

№№ по порядку	Диаметр трубы мм	Толщина клепки					
		40 мм		65 мм		87 мм	
		Наим. радиус м	Эконом. радиус м	Наим. радиус м	Эконом. радиус м	Наим. радиус м	Эконом. радиус м
1	500	18	25	—	—	—	—
2	600	21	30	—	—	—	—
3	750	26	37,5	—	—	—	—
4	900	31,5	45	45	67,5	—	—
5	1 050	37	52,5	52,5	79	—	—
6	1 200	42	60	60	90	—	—
7	1 350	47	67,5	67,5	101	—	—
8	1 500	52,5	75	75	119,5	—	—
9	1 650	—	—	82,5	124	—	—
10	1 800	—	—	90	135	135	180
11	2 100	—	—	105	157,5	157,5	210
12	2 400	—	—	120	180	180	240
13	3 000	—	—	—	—	225	300
14	3 600	—	—	—	—	270	360

7. Способы изготовления деревянных труб.

Трубы звенового типа, как раньше указано, изготавливаются целиком на заводе и в готовом виде поступают на место работ. Для непрерывных труб на заводе изготавливается клепка, соединительные язычки и арматура, состоящая из железных бандажей и железных же штампованных или чугунных башмаков. Вообще завод деревянных труб, независимый от других заводов, должен состоять из следующих отдельных цехов и устройств:

- 1) склад круглого леса,
- 2) лесопильный цех,
- 3) биржа пиломатериала,
- 4) сушило,
- 5) склад сухого леса,
- 6) сортировочный цех,
- 7) цех по изготовлению труб,
- 8) пропиточный цех,
- 9) асфальтировочный цех,
- 10) цех для изготовления бандажей,
- 11) литейный цех,
- 12) ремонтно-слесарный цех,
- 13) склад готовых изделий,
- 14) испытательная станция.

У нас существует тенденция устраивать заводы деревянных труб при существующих лесопильных заводах, а изготовление чугунного литья сдавать на сторону. В этом случае из намеченной схемы выпадают: склад круглого леса, лесопильный цех и литейный цех. При этом технологический процесс изготовления деревянных труб представляется в следующем виде (рис. 56).

Пиломатериал необходимой для производства деревянных труб толщины и ширины поступает с лесопильного завода на биржу. Там

он проветривается и идет в сушило. Возможно, что некоторая часть досок поступит на завод шире, чем требуется. Эти доски поступают на продольную пилу для распиловки их. Распиливать доски необходимо именно до сушила, так как в противном случае пришлось бы сушить и те отходы, которые получаются в результате распиловки,

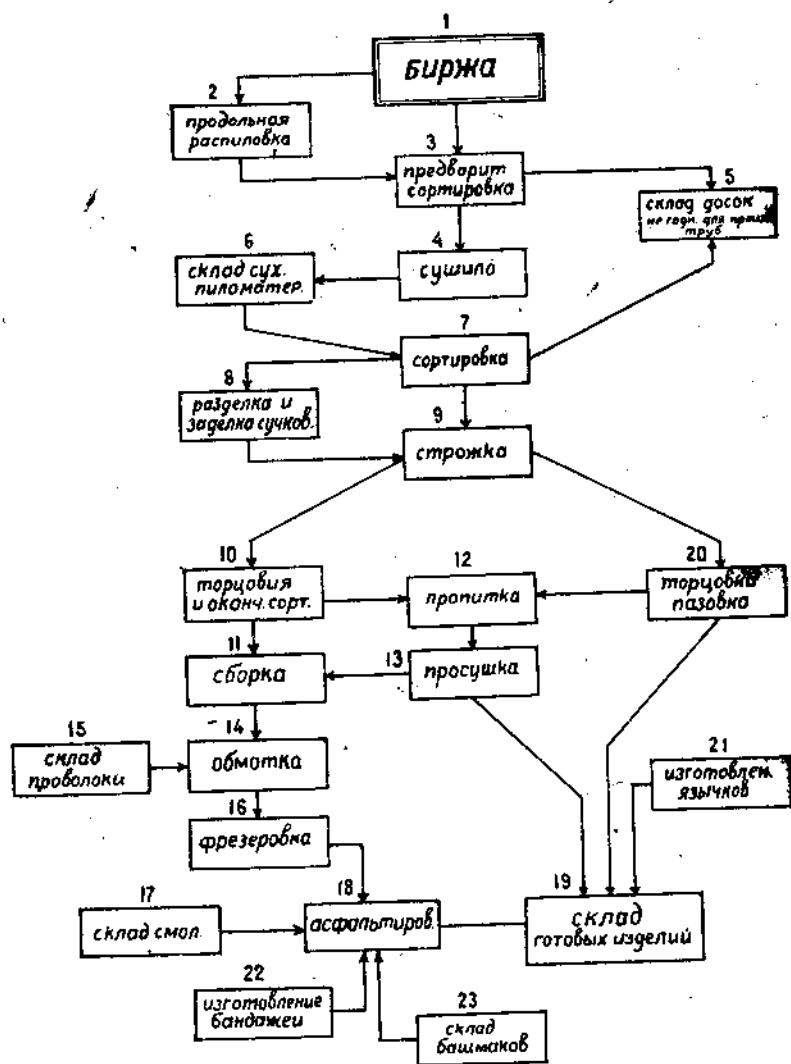


Рис. 56. Схема технологического процесса изготовления деревянных труб.

а кроме того часто приходится распиливать широкий материал на две, три части, а узкие доски всегда дают меньше брака во время сушки, чем широкие, сушка которых требует большей осторожности, иначе возможно появление трещин и коробление.

После сушила доски идут на склад сухого пиломатериала, где остывают и выдерживаются 2 — 3 дня, прежде чем поступить в дальнейшую

обработку. Этот склад можно устроить на колесах, т. е. загруженные вагонетки с сухим материалом задерживаются на известное время под навесом и затем уже поступают в работу. Из склада доски подвозят на тех же вагонетках в сортировочную, где производится сортировка досок по их качеству и заделка сучков. При этом нужно сказать, что еще раньше, до сушки, доски должны быть рассортированы так, чтобы материал с большими, выпадающими сучками шел отдельно, а материал здоровый с вросшими в древесину сучками сушился отдельно, из сушила же после склада сухого пиломатериала шел в строжку, минуя сортировочную. Этим не только устраняется лишняя работа по сортировке всего материала после сушила, но достигается и то, что материал худшего качества, ослабленный несколько заделкой сучков, может идти на изготовление труб с менее ответственным назначением, тогда как первосортный материал пойдет на ответственную работу. Незначительное количество брака, получающееся после сушки, если таковая ведется нормально, выбрасывается перед строжкой и идет в склад пиломатериала негодного для производства труб. На этот же склад поступает выбракованный материал из сортировочной.

По техническим условиям доски для изготовления труб могут быть разной длины, начиная от 2,5 м и выше до 6,5 м с градацией через 0,5 м. Фактически трубы будут получаться несколько меньшей длины, так как некоторая часть длины уйдет на оторцевку. Кроме того торцевка необходима, так как в кромке клепки может быть обнаружен уже после строжки сучок, который не был ранее замечен и который нельзя никак удалить, кроме вырезывания его. Эту операцию можно проделать на поперечной пиле, маятниковой или балансирной. Итак, с одной стороны для торцовки клепки на определенную длину, а с другой стороны для окончательного удаления обнаруженных после строжки дефектов, вся клепка после строжки поступает на торцевку.

Заделку сучков можно производить также и после строжки, но лучше всего конечно брать такой пиломатериал, который не имел бы больших и выпадающих сучков, подлежащих или вырезке или заделке.

После торцовки клепка сортируется по длине и идет в сборку, где она собирается в трубу и схватывается временными хомутами. Собранные таким образом трубы поступают на обмоточные станки. На обмоточных станках труба армируется, т. е. обматывается спирально проволокой с определенным натяжением и определенным шагом в зависимости от того давления, на которое труба рассчитана. После этой операции концы труб нужно заточить для возможности осуществить соединение их. Для этого обмотанная труба передается к станку для названной обточки, причем вид обточки зависит от того, какого типа соединение применяется.

После заточки концов трубы остается еще одна операция — покрытие трубы предохраняющей рубашкой, которая состоит из смеси битумных веществ. Для этого после обточки труба поступает к ванне, содержащей расплавленную смесь нужных битумных веществ, и покрывается или помощью обмазки ее названной смесью, или путем погружения в ванну. После ванны труба прокатывается по сухому песку, опилкам или каким-либо измельченным волокнистым веществам, затем второй раз погружается в ванну или обмазывается и второй раз прокатывается по опилкам, песку и т. п. После этого труба направляется на склад готовых изделий. Для обмотки труб со склада поступает проволока.

Весь описанный выше процесс относится к изготовлению звеновых труб. Процесс изготовления непрерывных труб, начиная с поступления пиломатериала на биржу и до получения клепки такой же как и для звеновых труб. После же строгального станка, на котором изготавливается клепка, она торцуется и на торцах делаются прорезы для вставки соединительных язычков. Готовая клепка идет на склад готовых изделий. Язычки и бандажи изготавливаются отдельно, причем бандажи, а также башмаки, если они поступают на завод, а не прямо на место постройки, проходят через асфальтировку, где и покрываются асфальтовым лаком или каким-либо другим, предохраняющим от ржавления, составом.

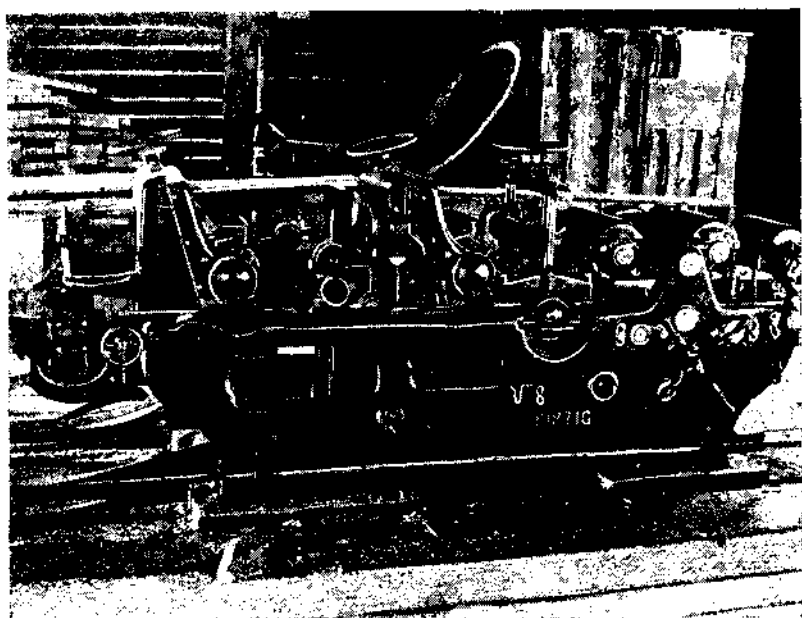


Рис. 57. Строгальный станок, применяемый для изготовления клепки.

Если всю клепку или часть ее предполагается креозотировать или пропитывать каким-либо другим антисептиком, то клепка или часть ее после оторцовки идет в пропиточное устройство, а затем, после просушки, для дальнейших операций.

Из вышесказанного видно, что технологический процесс изготовления деревянных труб несложен как по самому процессу, так и по оборудованию, необходимому для производства.

Не останавливаясь на лесопильном цехе, сушилах и пр., так как все это достаточно известно специалистам, работающим в данной области, и не представляет ничего нового с точки зрения применения названных цехов к производству деревянных труб, остановимся подробнее на тех станках, которые употребляются специально для описываемого производства.

Основным станком является станок для изготовления клепки. Для этой цели приспособляется обыкновенный 4-сторонний строгальный станок.

Станки эти в большинстве случаев иностранного производства: Bolinder, Kirchner, Veronius и пр. В настоящее время из наших заводов такие станки выпускает Воронежский машиностроительный завод и Ярославский механический комбинат. Один из таких станков фирмы Kirchner изображен на рис. 57.

По Песоцкому¹ скорость подачи этих станков, т. е. производительность их от 5-ти до 20-ти м в минуту. В настоящее время за границей строятся строгальные станки с подачей 60 и более м в минуту. Для производства деревянных труб нужна чистая строжка, поэтому нужно всегда иметь в виду соотношение между скоростью вращения ножевых валов, количеством ножей на валу и скоростью подачи. Мощность, потребляемая этим станком, от 6-ти лош. сил до 35 лош. сил в зависимости от скорости подачи, пород леса и пр. В среднем для усло-

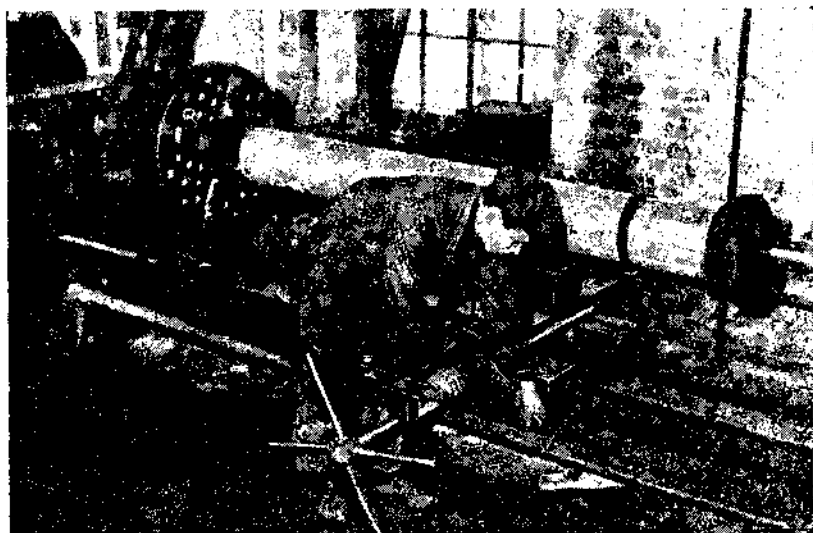


Рис. 58. Обмоточный станок.

вий, присущих производству деревянных труб, требующуюся мощность строгального станка можно принять равной 13 — 20 лош. сил.

Вообще по Песоцкому расход полезной мощности для снятия 1 м³ в час сосновой древесины определяется по формуле:

$$P = 2,5 + \frac{28}{h} \text{ л. с.},$$

где h — высота сострагиваемого слоя в мм.

Полный расход мощности для раздробления (снятия) v м³ древесины в час получается по формуле

$$N = 1,27 + P \cdot v \text{ л. с.}$$

Для обмотки труб у нас применяется станок системы автора настоящего труда. Станок этот удобен тем, что для производства можно перекоп-

¹ Н. Песоцкий, Лесопильное дело.

струировать любой большой токарный станок по металлу уже непригодный для работы по прямому назначению, и вместе с тем он вполне достигает цели.

Вкратце, станок состоит из следующих частей (рис. 58): станины токарного станка с суппортом и самоходом передней и задней бабок. К супорту приделан натяжной аппарат для проволоки. Труба, собранная и закрепленная временными хомутами, зажимается между бабками станины на планшайбах, на трубе закрепляется пропущенная через натяжной аппарат проволока и труба, приведенная во вращение, наматывает на себя проволоку с заранее отрегулированным натяжением. Тот или иной шаг обмотки достигается помощью соответствующего подбора шестеренок.

Производительность такого станка в 8 час. раб. день 100—110 п. м труб среднего диаметра, 200 мм со средним расчетным напором 4 атм. Требуемая мощность 5—7 лощ. сил.



Рис. 59. Фрезерно-обточный станок.

В самом начале производства у нас деревянных труб обточка концов труб совершалась на этом же станке, для чего на станине обмоточного станка был смонтирован фрезер, посаженный на вал мотора (рис. 59).¹ Но впоследствии было найдено более удобным отделить операцию фрезеровки от обмотки и был сконструирован основанный на этом же принципе станок, но помещенный отдельно. Станок этот (рис. 59) состоит из мотора на подставке, причем на вал мотора посажена круглая пила, служащая для оторцовки труб и фрезер или бабка с ножками, служащая для заточки труб. Труба помещается в люнет, в котором центрируется. Вместе с тем в этом люнете трубе можно дать вращение механическим путем или вручную. Установив трубу и подведя к ней мотор с пилой и фрезами, пользуясь специальными ходовыми винтами, дающими площадку, на которой расположен мотор, как поступательное, так и боковое движение, оторцовывают трубу и делают обточку ее концов для соединения труб между собою по одному из способов, описанных в гл. 6.

¹ Патентная брошюра № 5749.

Чтобы не переворачивать трубу при обточке второго ее конца, что неудобно в особенности с трубами больших диаметров, желательно такой станок иметь с двумя головками, тогда можно не переворачивая трубу, а только передвигая ее, обработать как один, так и другой конец. Можно даже, имея одну головку передвижную, одновременно обработать оба конца трубы.

Производительность станка с одной головкой, требующей 2 л. с., в 8-часовой рабочий день для труб разного диаметра примерно ниже-следующая:

ТАБЛИЦА 30.

№№ по пор.	Диам. трубы	Производ. труб шт	№№ по пор.	Диам. трубы	Производ. труб шт.
1	100	85	6	350	60
2	150	75	7	400	55
3	200	70	8	450	45
4	250	68	9	500	35
5	300	62			



Рис. 60. Асфальтировка деревянных труб.

За границей существуют специальные станки для фрезеровки деревянных труб (фирма Gebrüder Schmalz — Германия), мы же до последнего времени пользуемся станком вышеописанной конструкции, которая дает результаты достаточно удовлетворительные. Кроме того она проста. Станок такой конструкции может быть сделан любой слесарной мастерской.

Более подробные сведения о станках для производства деревянных труб можно найти в статье инж. М. Г. Кучера (Сборник лен. отд. Института водоснабжения за 1932 г., посвященный деревянным трубам).

Устройство для покрытия труб предохранительной рубашкой, употребляемое у нас, тоже несложно и состоит из ванны, наполняемой

надлежащей смесью битумных веществ. Состав разогревается помощью пара, подведенного в ванну посредством труб, проложенных в самой ванне (змесвика). Далее отфрезерованная труба покрывается разогретым составом или путем погружения ее в ванну или путем обмазки трубы составом помощью щеток. В первом случае концы труб необходимо закрыть шайбами во избежание попадания состава внутрь трубы. Во втором случае труба помещается над ванной и обмазка ее идет, как показано на рис. 60. После этой операции труба прокатывается по площадке с насыпанным на ней сухим мелким песком или опилками. В случае обкатки трубы по песку он, как сказано выше, должен быть сухим, а потому удобно, чтобы в песке также проходили трубы парового отопления, которые сушили бы песок.

Существует предположение построить этот процесс на другом принципе, а именно, установить устройство на подобие применяющейся в настоящее время в строительном деле окраски пневматическим путем. Тогда труба, получающая поступательное и вращательное движение, покрывается смесью, выбрызгиваемой из форсунки, за ней помещается пескоструйка, которая покрывает трубу песком.

Во всяком случае, техническая мысль должна сейчас работать в целях механизации этого процесса.

В таком виде, как она существует сейчас, производительность асфальтировочной установки для труб разного диаметра нижеследующая:

ТАБЛИЦА 31.

№№ по пор.	Диаметр трубы мм	Производит. п. м	№№ по пор.	Диаметр трубы мм	Производит. п. м
1	100	250	6	350	110
2	150	205	7	400	95
3	200	155	8	450	85
4	250	138	9	500	75
5	300	125			

Таким образом, как видно из вышеизложенного, оборудование производства деревянных труб несложно. Требуется лишь 4 вида станков: 1) 4-сторонний строгальный, 2) обмоточный, 3) фрезерный и 4) установка для покрытия труб предохранительным составом.

Кроме того нужны еще вспомогательные станки: маятниковые или балансирные пилы, сверлильные станки, точильные и пр., типы коих общеизвестны и не имеют ничего, что применялось бы исключительно для производства деревянных труб.

Что касается станков для производства труб непрерывных, то клепка изготавливается на таком же 4-стороннем строгальном станке, как и клепка звеных труб.

Для торцевки клепки и прореза на торцах пазов для вставки язычков применяется так называемый торцевально-пазовальный станок, сконструированный на заводе деревянных труб в Ленинграде (рис. 61).

Станок состоит из двух площадок, на которых смонтированы две циркульные пилы: одна расположена вертикально, а другая горизонтально. Между этими площадками находится каретка, которую можно передвигать в горизонтальном направлении. На каретку кладется клепка,

подлежащая обработке, и укрепляется посредством особого зажима, и затем рабочий, давая каретке движение вперед, торцует клепку на вертикальной пиле и делает в торце паз помощью горизонтальной пилы. Для обработки второго конца клепки она перемещается по каретке так, чтобы второй конец придвинулся к пилам второй площадки, и таким же образом торцуют второй конец и делают паз.

Производительность станка в среднем 320 клепок за 8-часовой рабочий день при 2-х рабочих. Мощность, требуемая каждой рабочей площадкой станка, 2 л. с. или, следовательно, на весь станок 4 л. с.

Если для соединения торцов непрерывных труб применяются деревянные язычки, то для их изготовления нужно иметь станок для продольной распиловки досок, пропускной станок для строжки и станок для поперечной распиловки, причем для этой операции можно поставить ленточную пилу. Станки эти как в смысле типов, так и в смысле производительности требуемой мощности, общеизвестны, поэтому описание

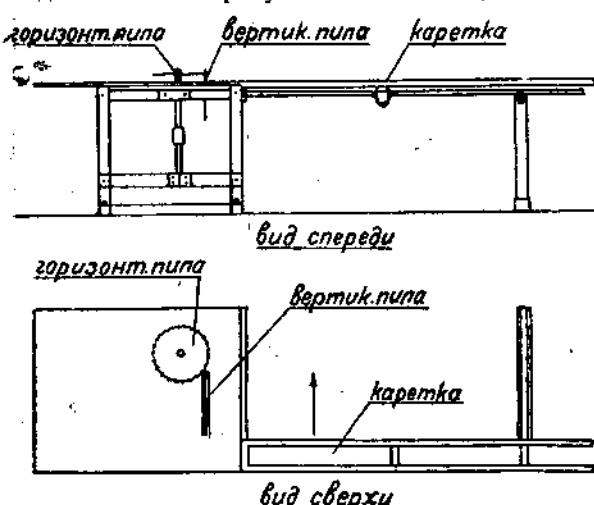


Рис. 61. Торцевый пазовальный станок (схема).

их в настоящем труде не приводится.

Производство деревянных труб, само по себе простое, имеет ту особенность по сравнению с любым другим деревообделочным производством, что в дальнейшем изделия предназначены для воды, находящейся под напором, порой очень значительным, поэтому-то предъявляются такие сравнительно строгие требования к материалам, идущим на изготовление труб, и поэтому особое внимание производствен-

ников должно быть обращено на тщательную, точную и аккуратную обработку и точную пригонку всех деталей труб.

Клепка труб должна быть гладко выстругана со всех четырех сторон. Действительно, если допустить негладкую строжку с внутренней стороны клепки, обращенной внутрь трубы, то это увеличит в дальнейшем коэффициент шероховатости, т. е. понизит гидравлические свойства трубы. Если допустить негладкую острожку с наружной стороны клепки, то это, во-первых, может вызвать неправильное прилегание к поверхности трубы арматуры, состоящей из проволоки или круглого железа, что в свою очередь поведет к тому, что в некоторых местах арматура вонзится в древесину, а в некоторых нет, и получится неправильное распределение напряжений как в клепке, так и в арматуре, а, во-вторых, при различных изгибах клепки в местах таких изгибов в первую очередь обнаруживается загнивание.

Кромки клепок также должны быть точно прифугованы во избежание появления течи. Кромки клепок звеновых труб снабжаются пазом и гребнем для правильности сборки их.

Клепку непрерывных труб небольших диаметров также обыкновенно снабжают гребнем и пазом. При этом нужно следить, чтобы прорез для вставки язычка не приходился на гребень и паз, а был ниже их. При сушке доски иной раз усыхают неравномерно, бывает также и при распиловке их некоторая неправильность, так что они получаются тоньше. При обработке таких досок в верхней грани клепки получается непрострожка. Незначительная непрострожка как по глубине, так и по длине не влияет на качество трубы и может быть допущена. Форма шпунта на кромках клепки не играет существенной роли, важно только, чтобы шпунт имел форму, наименее подверженную скалыванию и порче при манипуляциях с клепкой во время сборки труб.

Особенно серьезное внимание нужно обращать на заточку концов труб. Стыки вообще являются самым слабым местом звеновых труб, поэтому эти части труб при их изготовлении должны быть выполнены особенно тщательно. При изготовлении простого стыкового соединения помощью заточек снаружи и изнутри трубы лучше применять коническую заточку. Нужно следить за тем, чтобы заточка была гладкая, нельзя допускать, чтобы получались канавки на заточке по швам трубы, являющиеся следствием вырывания в этих местах части древесины. Иногда это является следствием чересчур быстрого вращения трубы в люнете или недостаточного количества оборотов бабки с ножами, насаженной на вал мотора.

Вообще количество оборотов мотора желательно иметь не меньше 3000 в минуту. При изготовлении заточек как внутренней, так и наружной — они должны проверяться металлическим шаблоном, причем наружная коническая заточка должна входить во внутреннюю заточку на другом конце трубы на величину не больше $\frac{1}{3}$ длины всей заточки. Полное вхождение заточек друг в друга должно быть достигнуто на месте работ при укладке труб или ударами или давлением домкратом.

При применении муфт, как деревянных, так и металлических, производится с обоих концов труб наружная заточка, которая также должна быть выполнена точно и аккуратно, следя за тем, чтобы не было недостатков, упомянутых выше.

При изготовлении труб в диаметрах их допускаются отступления от заданного диаметра 5 мм в ту или другую сторону. В заточках концов таких допусков делать нельзя, так как в этом случае никогда нельзя быть уверенным в плотности стыка.

При настоящем качестве материала, поступающего для изготовления деревянных труб, часто приходится вырезать из клепки различные дефекты, так что получается короткая клепка, а, следовательно, и короткие трубы. Кроме того, вообще по техническим условиям для изготовления деревянных труб допускается материал длиной, начиная от 2,5 м. Короткие звенья труб, вообще говоря, необходимы лишь на закруглениях (гл. 6). На прямых участках они ухудшают качество трубопровода, собранного из таких звеньев, так как получается большое количество стыков, что, как выше указано, является слабым местом деревянных звеновых труб. Кроме того они удорожают укладку, увеличивают процент испорченных труб во время транспорта их, так как наиболее часто встречающаяся при этом поломка во время транспорта труб приходится на долю стыковых соединений.

Для производства короткие звенья также невыгодны, так как требуют больше рабочей силы при сборке, обмотке и асфальтировке.

Количество проволоки для коротких звеньев также несколько больше, чем при длинных, так как некоторое дополнительное количество ее уходит при закреплении концов при начале и конце обмотки трубы.

Все это говорит за то, что изготовления коротких звеньев нужно всячески¹ избегать.

Можно в отдельных звеньях деревянных труб допустить составную клепку, соединяя ее торцы так же, как в непрерывных трубах, т. е. помощью вставки в заранее сделанные на торцах прорезы соединительных язычков. Тогда можно делать длинные трубы, причем желательно, чтобы в этом случае составная клепка находилась между двумя цельными.

Опыты, произведенные с такими трубами в лаборатории Ленинградского отделения Всесоюзного института водоснабжения, дали удовлетворительные результаты. Конечно, в этом случае торцевые соединения клепок должны быть сделаны очень тщательно.

Для увеличения выхода годных для производства досок в связи с тем, что по техническим условиям допускается некоторый процент пиломатериала с большими и выпадающими сучками, необходимо на каждом заводе, изготавливающем деревянные трубы, поставить заделку сучков пробками. Последние должны быть сделаны так, чтобы направление слоев в пробке совпадало с направлением слоев в клепке трубы. В противном случае при торцевом направлении слоев в пробке через нее будет происходить течь. Материал, идущий на изготовление пробки, должен быть более сухой, чем материал клепки. Пробки необходимо делать с легким конусом, обращенным широким концом к внутренней поверхности трубы. Можно допустить высверливание сучков не на полную толщину доски и тогда заделывать сучки и не коническими пробками, но с обязательным расположением слоев в пробках, как указано выше. Трубы с клепкой, заделанной пробками, подвергались испытаниям в лаборатории Ленинградского отделения Института водоснабжения и на заводе деревянных труб в Ленинграде, причем дали удовлетворительные результаты, в особенности для невысоких давлений до 4—5 атмосфер.

Сборка звеновых труб не требует особых пояснений. В настоящее время сборка труб производится вручную, причем клепки кладутся на подставки и вокруг кружала, поставленного на нижнюю клепку и имеющего определенный диаметр, укладываются клепки. Собранный таким образом цилиндр схватывается временными шарнирными хомутами особого вида, позволяющими в дальнейшем при обмотке трубы ударом молотка по защелке снять хомут во время обмотки трубы, не останавливая станка.¹

Как сказано выше, арматурой деревянных звеновых труб является железная оцинкованная проволока, которая наматывается на трубу спирально на специальном станке. Собранный и скрепленный временными хомутами труба зажимается между бабками обмоточного станка. Проволока закрепляется на трубе помощью скобок или специальных крепов (гл. 6), и затем несколько витков наматываются так, чтобы они прилегали друг к другу и уже потом спирали дается шаг, соответствующий расчетному давлению. При этом, повторяем, нужно следить, чтобы острые концы скобок или крепов не проникали в тело трубы больше, чем на $\frac{2}{3}$ толщины клепки.

¹ Патентная брошюра № 5749.

В начале обмотки конец проволоки закрепляется так (рис. 62), чтобы начальные витки обмотки шли поверх этого конца, прижимая его к поверхности трубы. Конец обмотки закрепляется такими же скобками или крепежами, как и начальный конец. Такое же закрепление применяется в тех случаях, когда бухта проволоки закончилась где-нибудь на середине обмотки. В этих случаях можно применить такую сварку концов проволоки, но нужно непременно после этого оцинковать место сварки, так как цинк при сварке сторае, обнажая железо и создавая слабое место обмотки в смысле сопротивления разрушению от ржавчины.

В местах окончания бухты проволоки или обрыва ее можно применить такую телеграфную скрутку.

В начале производства деревянных труб звеновые трубы значительных диаметров (от 300 мм и выше) обматывались на станке на оси. При этом достигалась возможность на этом же станке произвести и заточку концов трубы. Опыт, однако, показал, как уже говорилось выше, что лучше отделить операцию заточки концов, а все трубы, независимо от их диаметров, ставить на обмоточный станок без оси.

В случае соединения звеньев труб при помощи деревянных муфт, описанных в главе 6, и если, при этом, применяются муфты не разборные, а постоянные с проволоочной обмоткой, шаг этой обмотки на муфтах делается вдвое меньшим, чем на самой трубе. Во всем прочем изготовление этого рода муфт не представляет разницы по сравнению с изготовлением труб.

Покрытие труб смолистыми веществами — процесс простой и никаких пояснений не требует.

Возможно не покрывать всю трубу в процессе работы предохраняющим составом, а окрашивать ее смолой уже на месте работ. В этом случае нужно покрывать проволоку обмотки каким-либо эластичным лаком или предохранять ее какой-нибудь просмоленной материей. Такой способ имеет свои преимущества, так как позволяет во время испытания трубопровода обнаружить все дефекты труб, их характер и, в большинстве случаев, устранить их.

Клепка непрерывных труб изготавливается так же, как и клепка звеновых труб, и должна удовлетворять таким же условиям.

В непрерывных трубах так же, как и в звеновых, нужно особенно тщательно следить за изготовлением стыков. Особенностью непрерывных труб является то, что стыки имеют место не между отдельными звеньями, а у каждой клепки. Типы стыковых соединений клепки описаны в гл. 6.

Во всех этих стыках, за исключением стыка Kelsey, в прорезы на торцах клепок вставляется соответствующий язычок. Прорез должен быть исполнен очень тщательно, так как малейшее отклонение может испортить трубопровод, — появится течь, которую очень трудно устранить.

Прорезы для вставки язычков должны делаться в нижней половине толщины клепки. Никким образом нельзя допускать косою расположения



Рис. 62. Схема закрепления проволоки на звеновой трубе.

прореза, так как в этом случае бывает почти невозможным осуществить плотный стык. Нужно также следить, чтобы прорезы были одинаковой глубины, так как в противном случае также почти неизбежна течь в стыке.

Если прорезы сделаны на разной высоте торца клепки, то это создаст неровности как с внутренней, так и с внешней стороны трубы. Неровности с внутренней стороны ухудшают гидравлические свойства трубы, а выступающая часть торцов с наружной стороны наиболее подвержена гниению, так что прорезы должны быть строго на одной высоте торца для всех клепок, предназначенных для одного и того же трубопровода.

Также тщательно и аккуратно должны быть исполнены соединительные язычки, будь то язычки металлические или деревянные. При этом в деревянных язычках, которые обыкновенно делаются из какой-либо твердой породы, по преимуществу дуба, направление слоев должно, конечно, совпадать с направлением слоев соединяемых клепок.

Обычно на заводах деревянных труб в наших условиях отсутствует литейный цех, так что башмаки для скрепления бандажей отливаются на стороне. Нужно только, чтобы башмаки были изготовлены заводом согласно чертежам, и следить за тем, чтобы они были правильно отлиты из надлежащего материала согласно техническим требованиям, о которых говорилось выше в гл. 4. Башмаки должны быть окрашены асфальтовым лаком или каким-либо другим составом, предохраняющим от ржавчины.

Бандажи для непрерывных труб изготавливаются обыкновенно на заводе. При изготовлении бандажей нужно произвести следующие операции: 1) разрезать железо на нужную длину, 2) отковать головку, 3) осадить конец бандажа, предназначенный для нарезки, 4) сделать на конце нарезку, 5) выгнуть бандаж по кругу определенного диаметра, соответствующего диаметру трубы и 6) выкрасить бандаж.

Резка железа производится на обыкновенных ножницах ручных или приводных в зависимости от оборудования завода.

Отковку головки можно производить как ручным способом, так и на ковочной машине. При ручном способе отковки головок употребляются специальные матрицы, форма которых зависит от формы головки. Один кузнец с молотобойцем делают таких головок до 200 шт. в 8-часовой рабочий день.

Обсадку концов бандажей под нарезку можно производить лишь на ковочной машине, в противном случае обсадку не производят, но тогда нужно рассчитывать бандажи по сечению netto, что увеличивает количество железа.

Нарезку производят на болторезках. На болторезке обычного типа можно сделать около 200 — 300 нарезок в 8-часовой рабочий день (для железа 19 мм) при длине нарезки 175 — 200 мм.

Бандажи изгибаются по кругу нужного диаметра или ручным способом на подобие гнутья арматуры для железобетонных работ, или на вальцовом станке того или иного типа, при котором прут железа обминается роликом по окружности нужного диаметра. При гнутье бандажей вручную производительность одного рабочего в 8-часовой рабочий день видна из таб. 32.

Все соображения, приведенные в настоящей главе, легли в основу временных технических условий для производства деревянных труб, которые и помещены в конце книги.

ТАБЛИЦА 32.

№№ по порядку	Диаметр бандажей мм	Производит. шт.
1	9	600
2	12,5	450
3	16	300
4	19	225

При проектировании заводов или цехов деревянных труб нужно обращать серьезное внимание на удаление отходов, получающихся на строгальных станках в виде стружек и на торцевальных станках в виде обрезков.

ТАБЛИЦА 33.

№№ по пор.	Диаметр трубы мм	Количество отходов м³	Вес кг	% отхода по отношению к доскам до обработки
1	100	0,005	2,40	30 — 36
2	150	0,0067	2,74	30 — 36
3	200	0,012	5,75	32
4	250	0,011	5,28	29,5
5	300	0,015	7,20	28 — 31
6	350	0,014	6,72	26 — 27
7	400	0,018	8,65	29
8	450	0,021	10,01	31
9	500	0,020	9,70	28
10	600	0,024	11,50	25
11	700	0,028	13,40	26
12	800	0,026	12,50	22
13	900	0,039	18,70	22 — 24
14	1 000	0,032	15,40	18
15	1 100	0,031	14,90	16
16	1 200	0,042	20,20	16
17	1 300	0,046	22,20	16
18	1 400	0,050	24,00	16
19	1 500	0,060	28,80	16
20	1 600	0,062	29,80	13
21	1 700	0,064	30,70	13 — 16
22	1 800	0,057	27,40	13
23	1 900	0,070	33,60	13 — 15
24	2 000	0,082	39,40	13 — 15
25	2 500	0,100	48,00	13 — 14
26	3 000	0,120	57,30	12 — 13

Удаление отходов может быть или механическое или пневматическое. Наиболее рационально пневматическое удаление стружек, так как при нем достигаются две цели: во-первых, наиболее чисто удаляются все отходы, так что пропадает даже надобность в подметании цеха, а, во-вторых, такое удаление наиболее целесообразно с точки зрения гигиены и пожарной безопасности. При строжке сухого леса в большом количестве получается мелкая древесная пыль, которая, попадая в легкие рабочего,

чрезвычайно вредно отражается на его здоровье. То же самое нужно сказать и про глаза рабочего. Древесная пыль, если ее рассматривать под микроскопом, имеет рваные острые края, благодаря которым она плотно пристает к слизистой оболочке и, попав в легкие, с трудом отхаркивается. Кроме того древесная пыль, пропитавшись смазочным маслом, представляет большую опасность в пожарном отношении.

Какая бы система удаления отходов, механическая или пневматическая, ни была применена для проектирования, нужны данные о количестве отходов со строгальных станков и их весе. Поэтому даем ориентировочные данные о количестве отходов (табл. 33), не останавливаясь на рассмотрении самой системы их удаления так как этот вопрос представляет специальную область техники и рассмотрение его значительно увеличило бы объем настоящего труда.

Данные табл. 33 подсчитаны на 1 п. м трубы, причем кубатура отходов считается в плотной древесине. По объему разрыхленной древесины (стружек) это будет примерно в 4 раза больше. Вес 1 м³ сухого дерева принят равным 480 кг.

Для сопоставления интересно привести немецкие данные о количестве отходов, получающихся при производстве деревянных труб в процентном отношении.

ТАБЛИЦА 34.

№№ по порядку	Диаметр трубы	% отхода	№№ по порядку	Диаметр трубы	% отхода
1	100	30,5	7	800	17
2	200	26	8	1 000	16
3	300	24	9	1 200	16
4	400	21	10	1 400	15
5	500	18	11	1 600	14
6	600	18	12	2 000	12,5

Количество отходов, получающееся при торцевке клепок и вырезывании из них поврежденных мест (дефектов строжки, сучков на кромках и пр.), зависит от качества поставляемого для производства материала. При хорошем качестве материала на эти обрезки должно идти не больше 3% материала, фактически же сейчас при материале не достаточно хорошего качества их получается до 10 и выше процентов.

От фрезерных станков получается отходов примерно 1%.¹

Приведенные выше соображения относительно количества отходов производства, их вида и веса могут служить как данные при проектировании устройств, имеющих назначение удаления отходов, а также для проектирования паросилового хозяйства завода.

Небезынтересно отметить, что теплотворная способность стружек, получающихся в качестве отходов при изготовлении клепки, была определена в лаборатории ленинградского Технологического института и дала цифру 4000 калорий.

Таким образом видно, что калорийность отходов очень высока; это объясняется сухостью поступающего для обработки материала.

¹ Считая за средний диаметр трубы 200 мм и среднюю длину звена 4,00 м.

8. Опоры деревянных труб.

Деревянные трубы могут быть уложены как по поверхности земли, так и ниже ее поверхности, т. е. засыпаны. Существуют примеры, когда трубы укладываются в землю лишь до горизонтального диаметра, т. е. укладываются в выемку и засыпаются до половины. Такой способ укладки

рекомендовать нельзя, так как в таком состоянии деревянные трубы наиболее быстро загнивают, причем гниение в первую очередь замечается как раз на линии засыпки. Вообще же труба должна быть уложена так, чтобы она либо была со всех сторон доступна для осмотра и своевременного устранения тех или иных дефектов, либо совершенно засыпана и притом таким грунтом, чтобы возможность доступа к ней воздуха, а, следовательно, развитие аэробных бактерий, была наименьшей.

При подземной прокладке звеновых труб и непрерывных небольших диаметров опоры не нужны. Можно в этих случаях употреблять лишь подкладки. В засыпанных трубах больших диаметров применяются иногда седлообразные опоры, но тогда они служат не столько для передачи

и распределения давления трубы на грунт, сколько для восприятия боковых усилий, возникающих в трубе вследствие суммарного действия засыпки и веса воды в ней, когда труба наполнена водою доверху, а давления еще нет. Появляющиеся при этом усилия стремятся сплющить трубу и раздуть ее в стороны. Эти усилия, если их нельзя воспринять арматурой, воспринимаются соответственным образом сконструированными опорами. Для непрерывных труб большого диаметра необходимы седлообразные

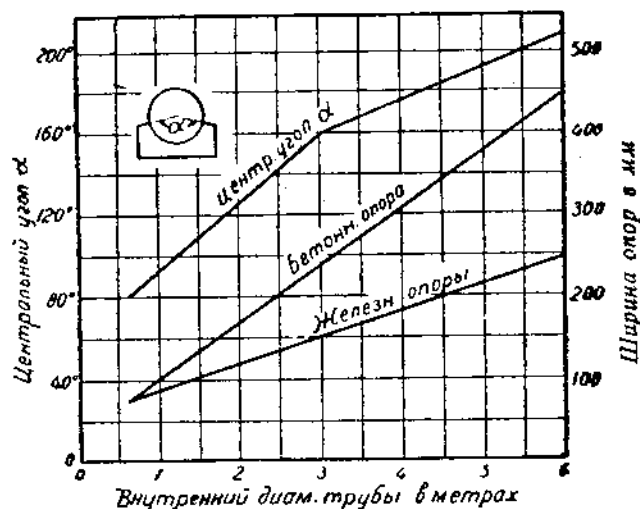
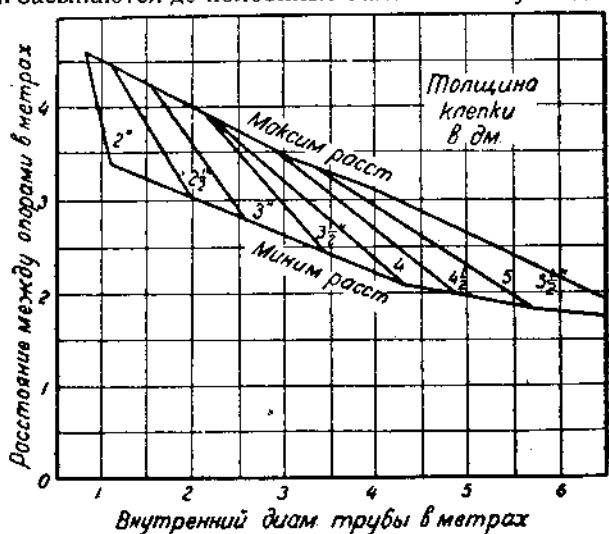


Рис. 63 и 64. Графики для определения элементов опор.

опоры, имеющие очертания, соответствующие наружному диаметру бандажа.

Нагрузка, приходящаяся на опоры от веса самой трубы, веса наполняющей ее воды, а также веса приходящейся на трубу засыпки в случае, если труба идет ниже поверхности грунта, подсчитываются обычным способом. Расстояния между опорами берутся из практических соображений. Американцы считают это расстояние от 2 до 3,65 м. У Creager

(W. Creager and J. Justin Hydroelectric handbook) имеются графики, позволяющие определить расстояние между опорами, ширину опор и угол охвата трубы опорами в зависимости от диаметра трубы и толщины клепки (см. рис. 63 и 64). На рис. 63 приведены как максимальные допускаемые расстояния между опорами, так и нормальные расстояния для того или иного диаметра трубы. Площадь соприкосновения между опорой и трубой должна быть не меньше, чем это требуется из расчета на смятие дерева под бандажом.

Конструкция опор, при которых они охватывают трубу до горизонтального диаметра, в значительной степени увеличивает способность трубы противостоять внешнему давлению, ударам и вакууму.

С увеличением диаметра трубы повышается также возможность сплющивания трубы. Вследствие этого, чем больше диаметр трубы, тем большая часть опоры должна охватывать трубу. На рис. 64 линия, изображающая центральный угол α , дает часть окружности трубы, которая должна быть охвачена опорой.

Следовательно, с увеличением диаметра трубы должна увеличиваться как ширина опоры, так и угол охвата α . В тех случаях, где расстояния между опорами слишком велико, труба может сплющиться и провиснуть между опорами.

Кроме того, должно быть обращено соответствующее внимание на род грунта, чтобы обеспечить опоры, а следовательно и трубу от оседания. Правда, в этом отношении деревянные трубы имеют преимущество перед другими трубами в том, что они эластичны и выдерживают некоторую подвижку или осадку опор без всякого для себя вреда, но все же подсчитывать напряжение в грунте при проектировании опор необходимо.

На участках с наклонным профилем при крутых поворотах и т. п. необходимо устанавливать анкерные опоры, которые надлежит рассчитывать, принимая во внимание осевые усилия, возникающие в трубе вследствие наклона ее оси.

Соображения о расчете опор трубопроводов, уложенных ниже поверхности земли, приведены в главе о расчете труб.

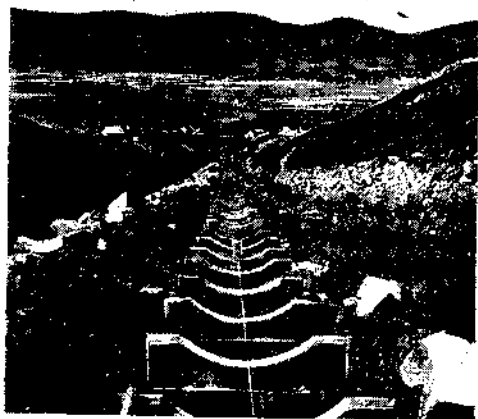


Рис. 65. Опоры-лежни.

Опоры деревянных труб могут быть деревянные, бетонные, каменные, железобетонные и железные.

Деревянные опоры для непрерывных труб небольших диаметров, незасыпанных имеют форму простого поперечного лежня из бруса с выкружкой по середине для правильной укладки трубы (рис. 65). Для труб

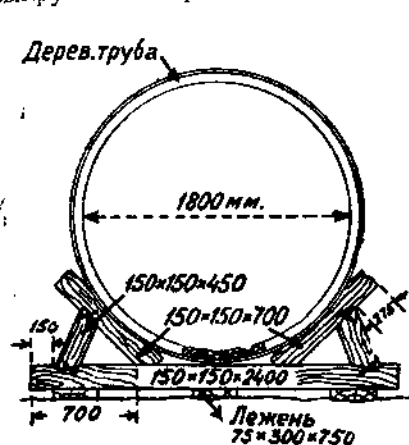


Рис. 66. Деревянная опора.

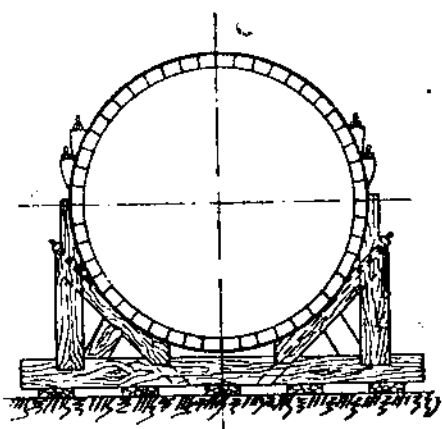


Рис. 67. Деревянная армированная опора.

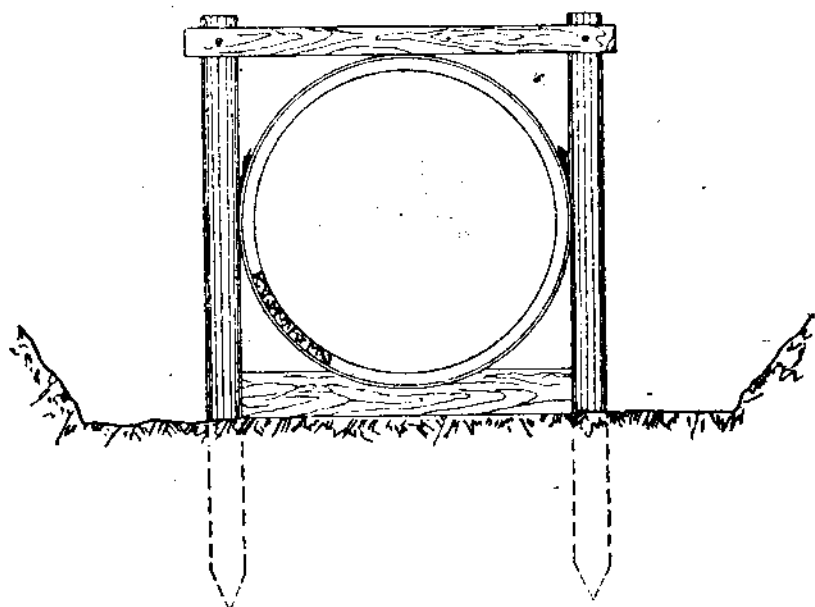


Рис. 68. Деревянная опора со схваткой.

более значительного диаметра, от 700 и выше мм, применяются опоры несколько более сложного типа (рис. 66). Наконец, далее применяются опоры, усиленные железными болтами, воспринимающие усилия, возникающие при сплющивании трубы под влиянием веса находящейся в ней воды (рис. 67). Для тех случаев, когда труба засыпана и имеются опасения

сплющивания ее под влиянием давления засыпки и вместе с тем по тем или иным соображениям, решено применить деревянные опоры, — им

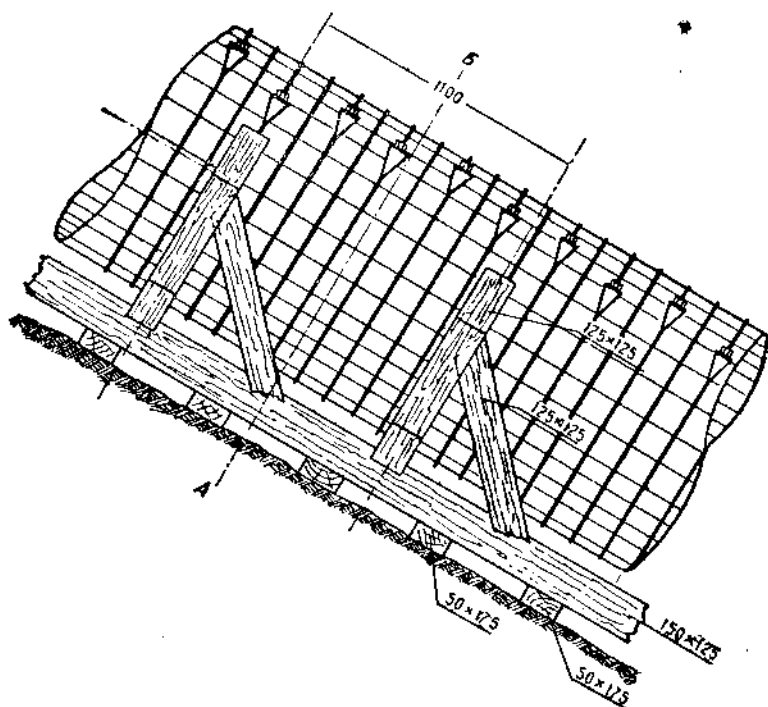


Рис. 69. Наклонная деревянная опора.

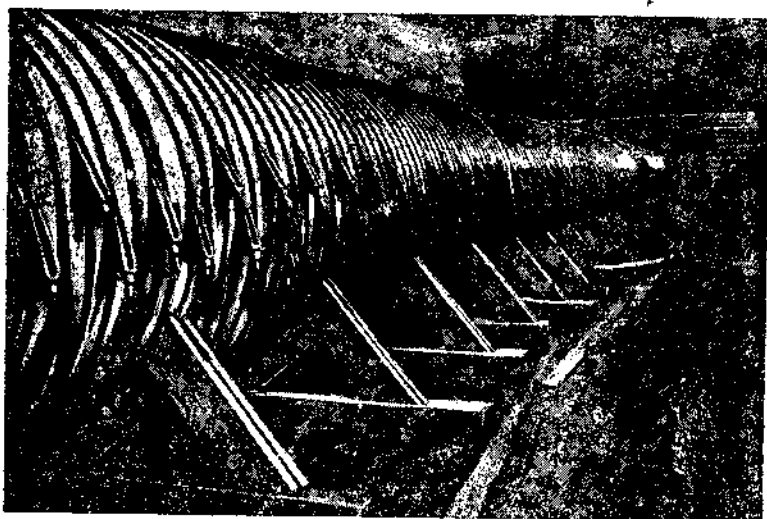


Рис. 70. Деревянные опоры Боровенской гидроустановки.

можно дать сверху затяжку, состоящую из 2-х брусьев, установленных над верхней частью трубы и скрепленных болтами со стойками опор (рис. 68).

В зависимости от качества грунта и местных условий деревянные опоры устанавливают или непосредственно на поверхности земли, или на забитых для этой цели сваях.

На рис. 69 изображены деревянные опоры, применяемые для труб с наклонной осью. Так же как и при опорах, расположенных на горизонтальных участках, они могут быть уст-

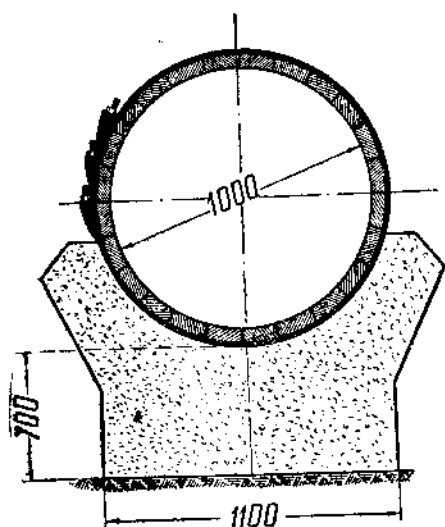


Рис. 71. Бетонная опора.

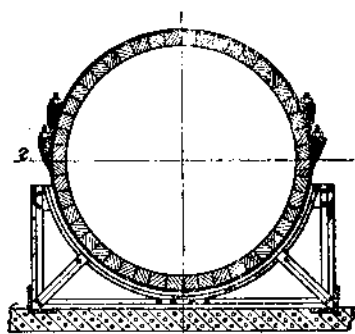


Рис. 73. Железная опора.

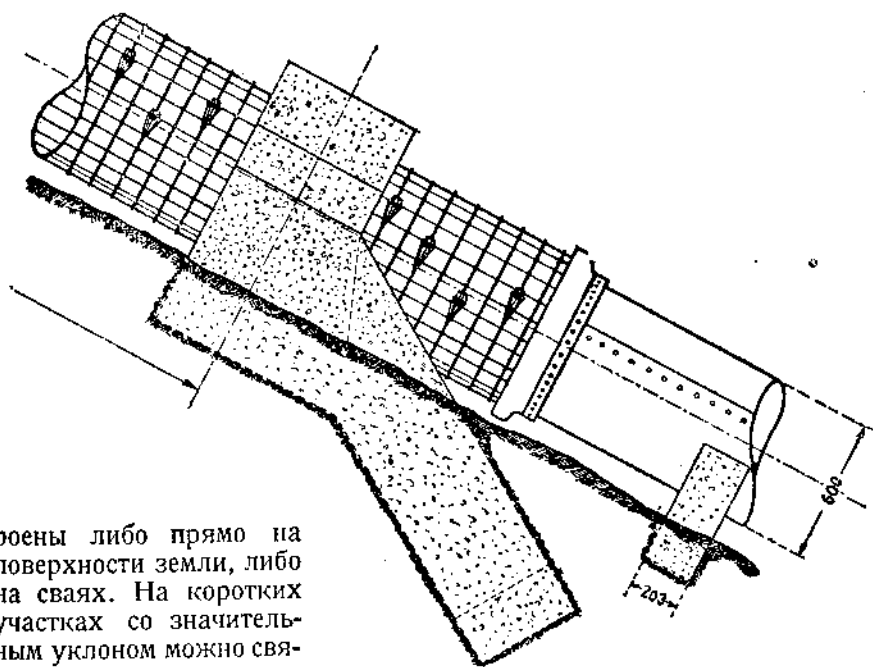


Рис. 72. Бетонная опора с наклонной осью.

роены либо прямо на поверхности земли, либо на сваях. На коротких участках со значительным уклоном можно связать все опоры под трубопроводом в одну общую систему.

Один из типов деревянных опор на сваях, построенных для трубы диаметром 1800 мм на Боровенской гидроустановке, изображен на рис. 70.



Рис. 74. Железобетонные опоры, установки ЭСХАР.

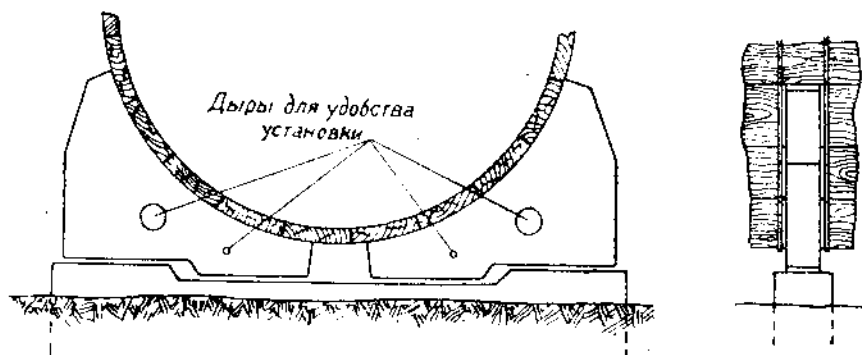
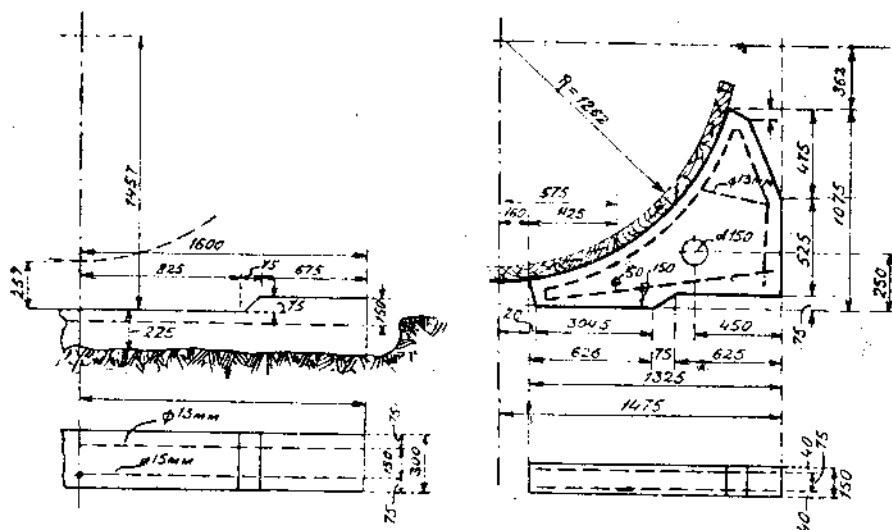


Рис. 75. Железобетонные опоры.

Бетонные опоры представляют простую седлообразную конструкцию, вполне понятную из чертежа (рис. 71). Они применяются там, где не предвидится боковых усилий. Ширину опор можно взять



Рис. 76. Железобетонные опоры.

по графику (рис. 64). Труба укладывается в седлообразную часть опоры, причем пространство между бандажами и поверхностью трубы заливается цементным раствором, так что труба лежит на всей опоре. В случае наклонной оси трубопровода подошва опоры изменяется в зависимости от уклона и представляет вид, изображенный на рис. 72.

Если имеются боковые усилия от внешней нагрузки и давления веса воды, то бетонные опоры армируются железом, и таким образом получаются железобетонные опоры. Тип этих опор такой же, как и бетонных, арматура ставится по расчету в частях, работающих на растяжение (рис. 77).

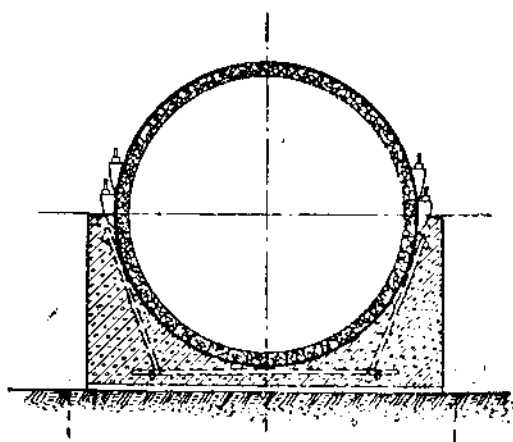


Рис. 77. Железобетонные опоры.

На рис. 74 изображена сборка трубопроводов на районной Электростанции ЭСХАР. На фотографии видны железобетонные опоры. Трубы имеют диаметр 1600 мм и идут на глубине от 1,5 до 3-х м, считая от поверхности земли до верха трубы. В зависимости от глубины

засыпки опоры поставлены на расстоянии от 2 до 3,5 м друг от друга. Ширина опор 300 мм и 350 мм.

Рис. 75 изображает железобетонные опоры, применяемые в Америке. Каждая опора состоит из трех частей: подушки и двух половинок, охватывающих трубу. Опоры эти очень удобно можно изготовлять на бетонном заводе и готовыми доставлять к месту работ.

На рис. 76 показан оригинальный тип железобетонных опор, примененных для трубы диаметром 4270 мм в Америке (Монтана). Опора примерно до $\frac{1}{3}$ диаметра трубы состоит из бетона. Выше в бетон заделаны клепаные тавровые фасонные части, воспринимающие боковые усилия и позволяющие с удобством установить на трубе бандажи.

На рис. 73 изображен тип железных опор, сконструированных из сортового железа. Для устройства таких опор можно употреблять железо самых разнообразных профилей.

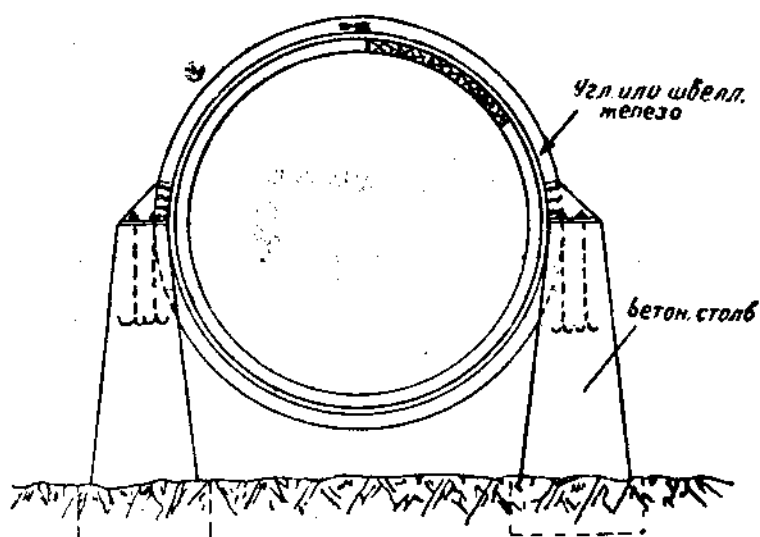


Рис. 78. Тип опор с подвеской трубы.

В настоящее время, в наших условиях при дефиците металла, железные опоры вряд ли найдут себе применение, но за границей они на некоторых установках применены.

На рис. 78 изображен особый тип опор, при которых труба не лежит на опоре, а подвешивается к ней. Эти опоры состоят из двух бетонных столбов, в тело которых заделаны штыри. Труба заключается в кольцо, сделанное из швеллерного или углового железа и прикрепленное к столбам косынками, которые прибалчиваются к заложенным в тело бетонных столбов штырям. Кольцо из швеллерного или углового железа затягивается на трубе и работает не только как несущая конструкция, но и как бандаж, стягивающий трубу.

Вместо бетонных столбов можно забить по две сваи с каждой стороны трубы и на них закрепить несущие кольца из швеллеров или углового железа.

9. Расчет деревянных труб.

Гидравлический расчет.

Течение воды по трубам и скорость, с которой она перемещается, создается силой тяжести, поэтому течение воды подчинено общему закону падения, и скорость зависит от постоянного ускорения. Под влиянием трения потока это стремление уравнивается.

Для труб, работающих под давлением, разность уровней H_E (рис. 79) между поверхностью воды при входе и выходе есть высота, посредством которой и действует сила тяжести (действующий напор).

Действующий напор поглощается частными потерями напора, состоящими из следующих: скоростного напора

$$h_y = \frac{v^2}{2g}. \quad (1)$$

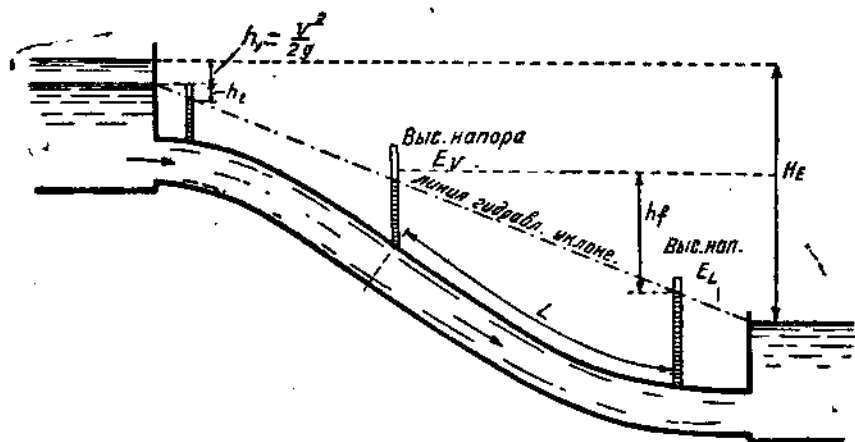


Рис. 79. К гидравлическому расчету труб.

Скоростный напор есть величина, обуславливаемая начальной скоростью v , с которой вода перемещается в трубе.

Эта потеря напора возникает при входе.

Как правило, эта потеря или совсем не восстанавливается при выходе, или восстанавливается в небольшой своей части.

Потери при входе

$$h_b = \frac{h_y}{2} \text{ (приблизительно)}. \quad (2)$$

Итог потерь при входе, создающий эффект сжатия струи и другие влияния трения, разнообразен и неопределен, но его принято считать равным половине скоростного напора, за исключением случаев, где входные устройства специально рассчитаны для достижения наименьшей величины этих потерь.

Наибольшую потерю напора в трубе создает потеря на трение. В трубах большого протяжения первые две потери так малы по сравнению с потерей на трение, что ими при расчетах часто пренебрегают.

Кроме того в трубопроводах имеются потери, возникающие при поворотах, изгибах, клапанах и пр.

Но в деревянных трубах обычно закругления устраиваются настолько плавными как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях, что потерями, возникающими при закруглениях, можно пренебречь. Клапаны, как правило, ставятся редко, так что этими потерями можно также пренебречь по сравнению с потерями на трение и на скорость.

Первая формула, предложенная для течения воды в трубах и открытых каналах, это известная формула Шези:

$$V = C \sqrt{Ri}. \quad (3)$$

Коэффициент C в этой формуле, предположенный вначале постоянным, впоследствии был заменен переменной величиной, являющейся функцией от уклона, гидравлического радиуса, скорости и факторов, обуславливающих влияние трения в канале (трубопроводе).

Вообще при расчете трубопроводов применяются различные формулы, но всегда как основание берется формула Шези и лишь вводится поправка, получаемая из опытных данных, которая определяет смысл коэффициента C для данных значений скорости, шероховатости и диаметра трубы.

Приводим некоторые из этих формул в порядке их развития и исправления на основании опытных данных и соответствующих испытаний.

Наиболее распространенной формулой является формула Куттера:

$$V = \frac{\alpha + \frac{\beta}{i} + \frac{1}{n}}{1 + \left(\alpha + \frac{\beta}{i} \right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{Ri}, \quad (5)$$

где α и β — постоянные, а n — коэффициент шероховатости, который Куттер для очень гладких стенок, каковыми являются строганные доски, принимает равным 0,010.

Таким образом в этой формуле учитывается влияние гидравлического уклона, предполагаемого гидравлического радиуса, а также вводится новая величина — n , которая должна учитывать влияние трения.

Формула Вейсбаха:

$$h_f = f \frac{Lv^2}{2Dg}. \quad (6)$$

Формула, выведенная Tutton'ом для деревянных труб на основании нескольких испытаний:

$$v = c_1 R^{0,66} i^{0,51}, \quad (7)$$

где $c_1 = 129$.

Формула Williams-Hazen'a для разного рода труб:

$$v = c_w R^{0,63} i^{0,54} 0,001^{-0,04} \quad (8)$$

На основании опытов с деревянными бочарными трубами Williams и Hazen установили для этого рода труб значение $c_w = 120$.

Формула Moritz'a:

$$v = 1,72 D^{0,7} H^{0,555}. \quad (9)$$

Для получения этой формулы Moritz использовал поставленные им опыты с деревянными трубами.

Наконец формула Scobey'я имеет вид:

$$i = 0,000885 \frac{v^{1,8}}{D^{1,17}}. \quad (10)$$

Эта формула выведена американским инженером F. Scobey на основании как всех существующих опытов с деревянными трубами, так и опытов, поставленных им самим по заданию Департамента земледелия САСШ в 1909 и 1910 гг.

Вообще в конце XIX столетия, когда деревянные трубы широко распространились в Америке и выступили конкурентами с трубами металлическими, появились формулы самого разнообразного вида для течения воды в этих трубах. Еще в 1857 и 1859 гг. Дарси и Базен и в 1884 г. Кларк производили опыты над деревянными трубами, но четырехугольного сечения, так что выводы этих опытов не представляют интереса для труб клепочных.

В 1877 году над деревянными трубами производил опыты Смит и хотя эти трубы были сверленные и при этом малого диаметра, Tutton вывел на основании этих опытов свою формулу (7).

Куттер обосновал свою формулу на результатах, произведенных им, 81 опыта.

Формула Куттера получила большое распространение, и почти все деревянные трубы до вывода формулы Scobey были подсчитаны по этой формуле.

Коэффициент шероховатости n в формуле Куттера величина — для определенного материала — постоянная, что по мнению Scobey является ошибкой.

Вообще величина n в формуле Куттера при расчете пропускной способности деревянных труб бралась равной 0,010.

I. D. Schuyler первый заявил в докладе о вновь построенной 30" трубе в Denver (Trans. of the Amer. Soc. Civ. Eng. 1894 г. стр. 144), что, как наименьшее значение для n в формуле Куттера в применении к деревянным трубам, нужно брать величину 0,0096.

Затем инж. Adams проделал опыты над 18" трубой в г. Астория, и получил для n величину 0,00985.

Далее идут опыты D. S. Henny в Butte, Mont. с 24" трубой, причем для n было получено значение 0,0103.

Все эти опыты производились над трубами, течение воды в которых происходило с неизменяющимися или малоизменяющимися скоростями.

В 1897 г. проф. Marx, Wing и Hoskins произвели ряд испытаний пропускной способности деревянных труб, причем значение n изменялось от 0,010 до 0,020; это позволило им сделать заключение, что формула Куттера в применении к деревянным клепочным трубам ошибочна, и что за среднее значение для n нужно принимать величину 0,013 (Journal Assoc. Eng. Soc. 21, 1898, p. 250).

В 1899 г. те же экспериментаторы повторили свои опыты, применив усовершенствованные приборы и поставив опыты на той же трубе, что и в 1897 г., и получили значение для n , колеблющееся между 0,0130 и 0,0133.

Затем был подвергнут пересмотру закон, что потеря напора изменяется как квадрат скорости. Еще в 1808 г. Dr. Thomas Young говорил, что потеря напора, пропорциональная 1,8 степени скорости, более вероятна, чем пропорциональная второй степени. Moritz и Scobey принимают

в своих формулах, что потеря напора пропорциональна 1,8 степени скорости, а Williams и Hazen принимают это значение равным 1,85. Gardner S. Williams (Trans. of the Amer. Soc. Civ. Eng. 49. 1902, p. 155) указал на основании изучения более 80 серий опытов, что увеличение показателя с 1,80 до 2 есть увеличение на шероховатость, что этот показатель различен для различных материалов и имеет наименьшее значение для олова и желтой меди.

В 1911 году Moritz на основании обширных опытов над трубами диаметром от 4 до 22" и с одной трубой 55 $\frac{3}{4}$ " в диаметре вывел свою формулу, приведенную на стр. 84 (формула 9).

Таким образом Scobey при выводе своей формулы, основываясь на всех вышепоименованных опытах, а также на поставленных им самим, пришел к заключению, что n в формуле Куттера не является величиной постоянной. В результате опытов с трубами большого диаметра было найдено более высокое значение для n , чем 0,010 и таким образом выходит, что формула Куттера не применима для расчета деревянных труб, если в ней величину n брать за постоянную.

Далее Scobey доказывает на основании произведенных им наблюдений, всех ранее поставленных опытов, результаты коих приведены в таблицах, что:

1) Выведенная им формула (10) наиболее близко подходит к определению течения воды в деревянных клепочных трубах.

2) Результаты всех сделанных им наблюдений при исследовании 286 опытов отличаются от величин, вычисленных по формулам: 1) Scobey на — 0,33%; 2) Williams-Hazen на + 2,41%; 3) Tutton на + 2,44%; 4) Moritz на — 9,40%, если взять только достоверные опыты. Если же взять все без исключения опыты, то получится следующая разница: 1) Scobey на + 0,66%; 2) Williams-Hazen на + 3,51%; 3) Tutton на + 5,02%; 4) Moritz на — 7,64%.

3) Формула Куттера с постоянным значением для n не применима для гидравлического расчета деревянных труб.

4) n в формуле Куттера уменьшается с увеличением скорости при данном диаметре трубы и увеличивается с диаметром при данной скорости, изменяясь от величины меньшей, чем 0,010 в малых трубах с большими скоростями до величины большей, чем 0,014 в больших трубах.

В своих опытах Scobey определил точными методами:

- 1) скорость воды в трубе,
- 2) потерю напора, создаваемую трением в трубе постоянного диаметра в пределах определенного расстояния,
- 3) внутренний диаметр испытываемой трубы.

Полученные результаты экспериментатор сравнивал с теми же величинами, определяемыми посредством вычисления по его формуле.

Скорость измерялась или путем непосредственного измерения времени прохождения некоторого объема воды через определенное расстояние или путем измерения расхода воды в трубе и решения уравнения

$v = \frac{Q}{\omega}$. Потеря напора на трение измерялась посредством пьезометров, внутренний диаметр измерялся либо путем непосредственного измерения, либо путем измерения внешней окружности трубы, что при данной толщине клепки дает внутренний диаметр.

Результаты опытов над трубами как его самого, так и других экспериментаторов с общим числом 286, Scobey собрал в таблицах, приведенных здесь под № 35 и № 36.

И раньше до опытов Scobey'я были случаи предложения формул исключительно для расчета деревянных труб. Так, как выше указано, Williams и Hazen предложили коэффициент 120 к их общей формуле, приведенной на стр. 84.

В 1915 году A. Swickard предложил значение n в формуле Куттера определять как функцию от диаметра трубы по формуле:

$$n = \frac{D}{30000} + 0,0105. \quad (11)$$

Из опытов Scobey, указанных в столбце 10 табл. 35, видно, что n есть такое функция скорости.

Первая формула, исключительно для расчета деревянных труб, была предложена С. Н. Tutton'ом в 1899 г. и указана на стр. 84, хотя она не получила сколько-нибудь широкого распространения.

В 1910 г. специальную формулу для расчета деревянных труб предложил Т. А. Noble; она имеет вид:

$$Q = 1,28 D^{2,58} H^{0,585}. \quad (12)$$

Формула эта также не получила широкого распространения, вероятно, потому, что она базировалась на величинах, полученных из опытов всего лишь на 5-ти трубах.

И наконец последняя формула предложена Scobey'ем и выведена им на основании опытов, наблюдения и изучения труб самых разнообразных диаметров и самых разнообразных условий работы (см. стр. 85).

Графическое решение предложенных Scobey'ем уравнений основывается на следующем:

Если при каком-либо ряде наблюдений откладывать величины потерь напора по ординатам, а величины скоростей по абсциссам, то результирующие точки лежат на прямой линии.

Такая прямая линия, нанесенная на логарифмическую бумагу, будет выражаться уравнением вида

$$H = \frac{i}{1000} = mv^z, \quad (13)$$

где за единицу (у Scobey'я) принят линейный фут.

Логарифмируя это уравнение, получим

$$\lg H = \lg m + z \lg v, \quad (14)$$

где m есть отрезок на оси H при скорости равной единице и z — величина наклона линии или $\lg$ угла наклона, упомянутой прямой к оси v .

Величина m для труб, обладающих одними и теми же свойствами и различающихся только величиной диаметров, определяется уравнением:

$$m = KD^* \quad (15)$$

Подставляя значение m в формулу (13), найдем

$$H = KD^* v^z. \quad (15')$$

$$\lg H = \lg K + x \lg D + z \lg v. \quad (16)$$

При выводе своей формулы Scobey наносил результат наблюдений на график и из графика определял аналитически величины отрезков и тангенсов.

Если в одном участке трубопровода производилось несколько наблюдений, то окончательные величины выводились как графически, так и аналитически.

Там, где на одной трубе поставлено несколько наблюдений, метод определения нужных величин можно проследить на следующем примере.

Возьмем результаты опытов Scobey'я № 3 (№№ 272 — 281) на 144'' трубе (табл. 35). Сперва определяется центр тяжести всех точек. Нелогарифмические значения величин логарифмов относительных скоростей дают скоростные ординаты центра тяжести. Ординаты уклона центра тяжести находятся так же. Это—точка *C*, показанная на рис. 80, как точка внутри двух кругов, разделяет все нанесенные на диаграмму величины наблюдений на две части. Центры тяжести каждой из этих частей *a* и *b* на графике обведены одним кругом. Таким образом найдены точки, и те из них, которые лежали на одной прямой, представляли уравнение для отдельного участка трубы:

C — центр тяжести всей группы

a — центр тяжести группы выше *C*

b — центр тяжести группы ниже *C*.

C_v, *a_v*, *b_v* и *C_H*, *a_H*, *b_H* — координаты *V* и *H* (табл. 35).

<i>N</i>	<i>V</i>	<i>H</i>	$\lg V$		$\lg H$	
272	5,942	0,5144	0,7739	$\left. \begin{array}{l} \text{Сумма } 4,7756 \\ \text{Средн. } 0,7959 = b_v \\ \text{Величина } 6,250 \end{array} \right\}$	9,7133	$\left. \begin{array}{l} \text{Сумма } 58,8637 \\ \text{Средн. } 9,8106 = b_H \\ \text{Величина } 0,6466 \end{array} \right\}$
273	6,127	0,6430	0,7873		9,8079	
274	6,190	0,6154	0,7919		9,7892	
275	6,312	0,6938	0,8001		9,8412	
276	6,436	0,7237	0,8086		9,8595	
277	6,516	0,7155	0,8140	$\left. \begin{array}{l} \text{Сумма } 3,4915 \\ \text{Средн. } 0,8927 = a_v \\ \text{Величина } 7,4630 \end{array} \right\}$	9,8546	$\left. \begin{array}{l} \text{Сумма } 39,8249 \\ \text{Средн. } 9,9562 = a_H \\ \text{Величина } 0,9040 \end{array} \right\}$
278	6,693	0,7700	0,8256		9,8865	
279	6,852	0,7490	0,8358		9,8745	
280	8,222	1,061	0,9150		10,0257	
281	8,223	1,092	0,9151		10,0382	
			Сумма 8,2871			Сумма 98,6886
			Средн. 0,8267 = <i>C_v</i>			Средн. 9,8689 = <i>C_H</i>
			Величина 6,710			Величина 0,7393

Центр тяжести для всей серии наблюдений находится в таком пункте, что четыре точки наблюдений находятся выше его и шесть точек ниже. Тогда

$$a_v - b_v = 0,00462; a_H - b_H = 0,0873,$$

$$C_v - b_v = 0,0308; C_H - b_H = 0,0583,$$

$$\frac{0,00462}{0,0308} = \frac{0,0873}{0,0583} = \frac{6}{4}.$$

Показатель при *V* в формуле (15) есть склонение линии *abc*, т. е. тангенс угла, образуемого наклонной линией с осью *V*. Тогда

$$\frac{a_H - b_H}{a_v - b_v} = \frac{0,1456}{0,0770} = 1,891 = z.$$

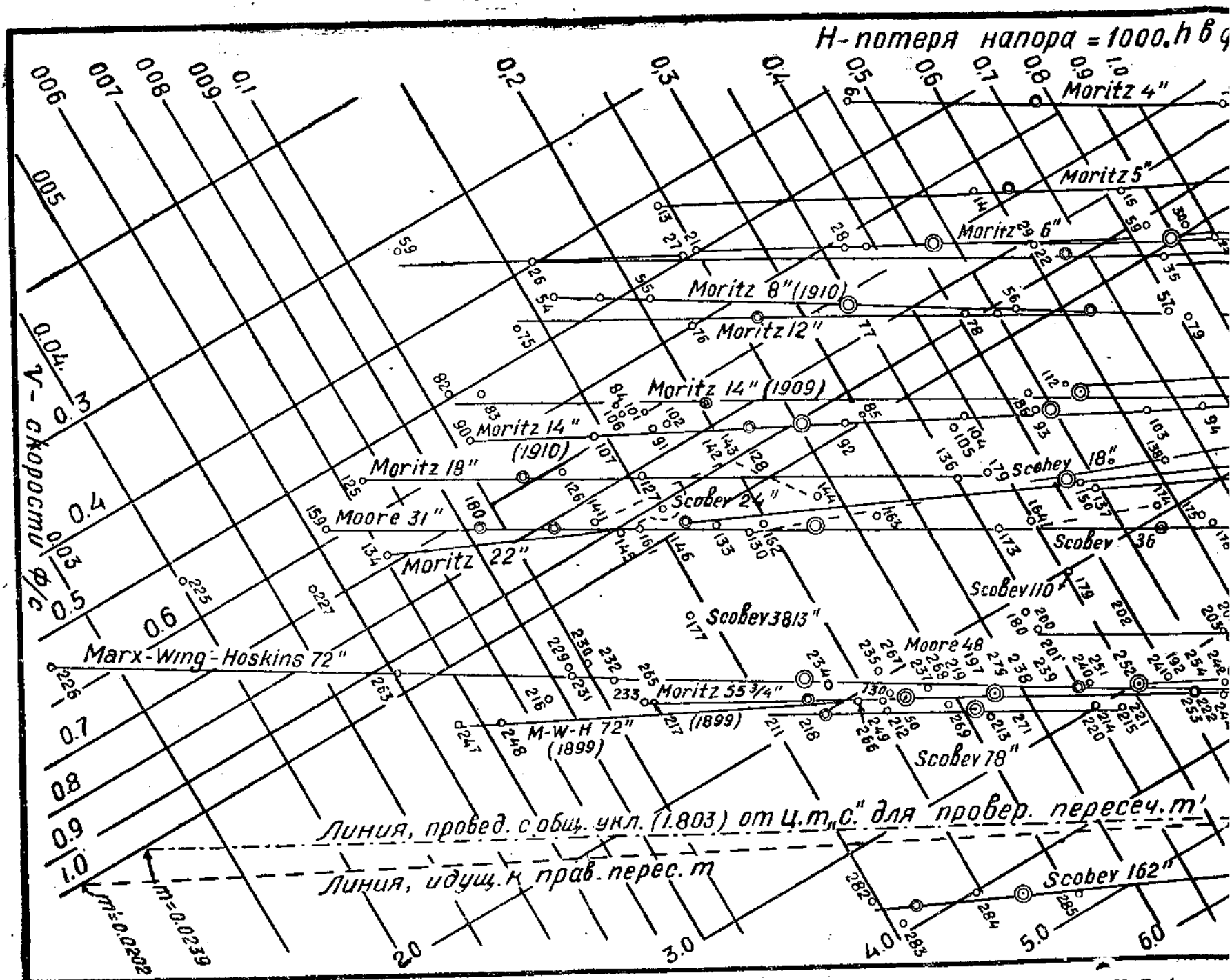


Рис. 80. График к в

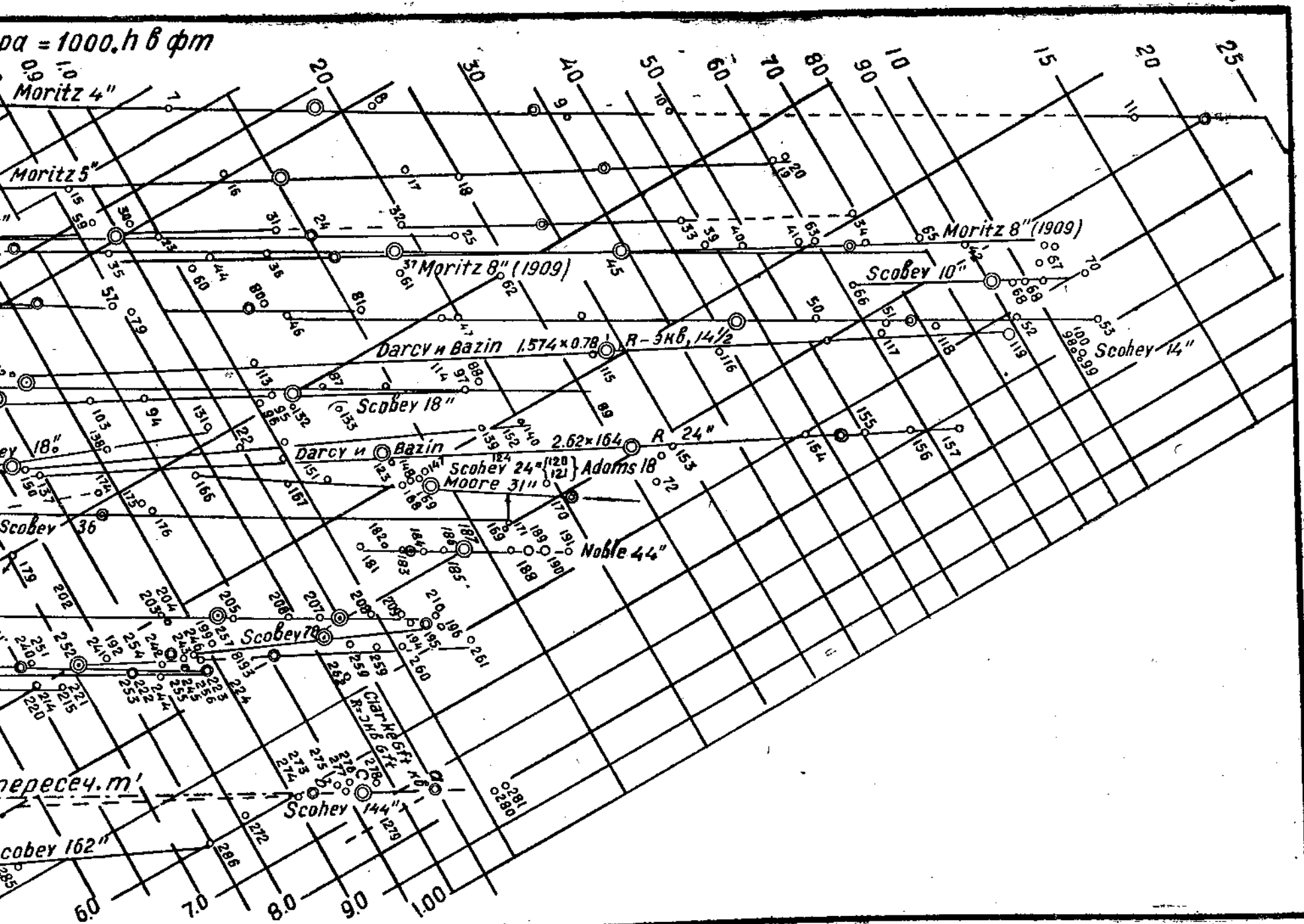


Рис. 80. График к выводу формулы Scobey.

Отрезок m при $V = 1$, находится следующим образом: $\lg m = \lg H - z \lg v$; $\lg m = 9,8689 - 1,891 \times 0,8267$; $\lg m = 8,3056$; $m = 0,02021$.

Таким же образом определен показатель y V для каждой из труб, подвергшихся испытаниям.

При исследовании было замечено, что показатели y V и D изменяются не по какому-либо определенному закону, а в зависимости от свойств отдельных трубопроводов. Полученные точки лежат на одной прямой линии лишь при крайне тщательно произведенном ряде наблюдений. При этом нужно обратить внимание на то, что величины показателей, не меняющихся во время производства одного ряда наблюдений, колеблются в относительно больших пределах при различных рядах исследований.

Это явление наблюдалось также и в трубах из других материалов. Явления эти объясняются, главным образом, теми изменениями в состоянии трубопроводов, которые наблюдаются в них с течением времени.

Scobey выводит величину поправки путем специальной оценки произведенных опытов в зависимости от числа опытов, расположения их на исследуемом участке и действительной величины скорости.

Способ этот, как указывает [Scobey может дать только приближенное значение, но данные, приведенные в табл. 35 и 36, доказывают достаточную точность его выводов.

Опытные значения показателей величин, полученных как среднее из тех наблюдений, которые подвергались исследованию, как более достоверные, как выше уже сказано, отличаются от полученных по новой формуле на $-0,33\%$, если же взять все произведенные наблюдения, то разница эта выразится в $+0,66\%$.

В окончательной формуле Scobey, обозначая через $w_2, w_4 \dots$ и т. д. полные значения для показателя при V (табл. 36, столб. 4), а через $E_2, E_4 \dots$ и т. д. показателя при V в окончательных формулах для каждой трубы (табл. 36, столб. 17) и производя соответствующие арифметические действия, находит тот средний показатель, который введен им в окончательную формулу

$$\frac{W_2 E_2 + W_4 E_4 + W_6 E_6 + \dots + W_{52} E_{52}}{W_2 + W_4 + W_6 + \dots + W_{52}} = Z = 1,803.$$

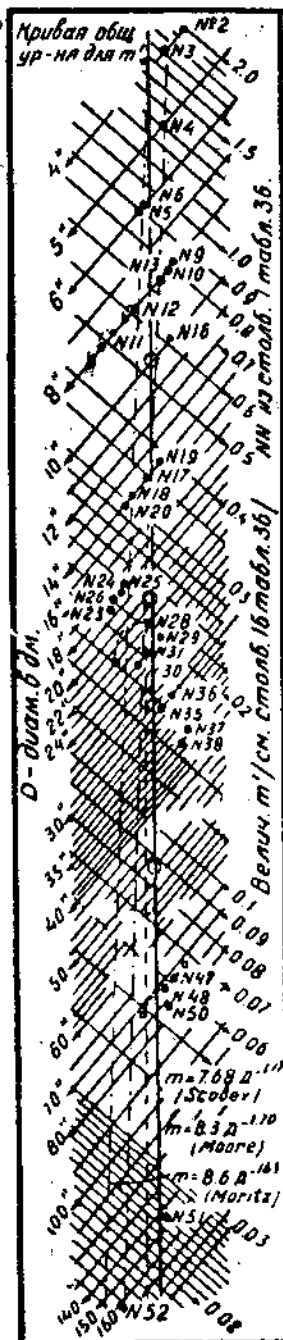


Рис. 81. График к выводу формулы Scobey.

При выводе величины коэффициента K и показателя x , Scobey пользуется другим методом, а именно: на диаграмму наносились и логарифмически обрабатывались различные величины m , найденные таким же образом, как выше указано, и величины D .

Величины m наносились как абсциссы и D как ординаты. Показатели при V в столбце 17 табл. 36 изменяются в довольно широких пределах. В окончательной формуле взята величина показателя, равная 1,803. Вместо употребления величины для m из столбца 17 табл. 36 Scobey провел линии (см. график) с наклоном под углом, тангенс которого равен 1,803 от центра тяжести всех точек в одной серии наблюдений до линии, где скорость v равна единице (линия для трубы № 51 показана на графике рис. 80 пунктиром). Эта величина m' получалась из уравнения.

$$\lg m' = \lg H - 1,803 \lg v.$$

Беря опять для примера опыт № 51, получим:

$$\lg m' = 9,8689 - 1,803 \times 0,8267$$

$$\lg m' = 8,3784$$

$$m' = 0,0239.$$

Величины m' для разных серий наблюдений даны в столбце 16, табл. 36.

Для изображения выражения KD^x (формула 15), график (рис. 81) построен логарифмически с величинами m' как ординаты и величинами D как абсциссы. Центр тяжести всех точек на этом графике показан, как точка внутри двух кругов, а центры тяжести зон выше и ниже этой точки как точки внутри одного круга.

Эти три точки лежат на одной прямой, выражаемой уравнением

$$m' = 0,419D^{-1,17}, \quad (17)$$

где 0,419 — отрезок на прямой $v = 1$ (в футах), а 1,17 — тангенс угла наклона кривой к горизонтальной оси.

Подставляя эти результаты в формулу $H = KD^x v^x$, Scobey получает новое общее уравнение для деревянных клепочных труб как звеновых, так и непрерывных, основанное на значениях средних условий всех круглых клепочных труб, над которыми производились эксперименты. Окончательный вид этой формулы таков:

$$H = 0,419D^{-1,17} V^{1,8} \text{ (в футах);}$$

$$i = 0,000885D^{-1,17} V^{1,8} \text{ (в метрах).}$$

Таблица 35 дает результаты наблюдений при всех 286 опытах.

В таблице 36 приведены 52 опыта, из коих 28 приняты Scobey'ем для вывода окончательной формулы.

Формула Scobey $i = 0,00085 D^{-1,17} V^{1,8}$ изображена графически на таблице позади текста. Графиком этим можно пользоваться при гидравлическом расчете деревянных труб.

Из рассмотрения и изучения табл. 36 видно, что данные, полученные в результате отдельных наблюдений, отличаются друг от друга вследствие различного внутреннего состояния трубопровода и что формула Scobey'я может давать разницу в 10%, иногда в 15% и в редких случаях в 20% по отношению к пропускной способности, полученной из данных опыта.

В то же время изучение влияния внутреннего состояния трубы в различных случаях дает возможность сделать правильное заключение, когда можно ожидать более высокую или низкую пропускную способность.

Scobeу при пользовании его формулой рекомендует, в виду вышесказанного, увеличивать расход по сравнению с величиной его, определяемой формулой.

Расход должен быть увеличен на:

5%, когда вода входит в трубу из осадочного бассейна и скорость так высока, что отложения в трубе маловероятны, а также, когда условия работы трубы таковы, что не требуется особо точного определения пропускной способности;

10%, когда условия, обеспечивающие чистоту трубы, соблюдены, но требуется точная пропускная способность или, когда такая точность не требуется, но вода содержит землистые частицы во взвешенном состоянии, скорость не высока, и можно опасаться заиливания или засорения трубы;

15%, когда требуется гарантированная пропускная способность или, когда вода содержит значительное число наносов, состоящих из хряща или песка.

Рассмотрим несколько примеров гидравлического расчета деревянных трубопроводов.

Пример 1. Задание: Дюкер предназначен для перемещения воды с расходом $1,7 \text{ м}^3/\text{сек.}$ на протяжении 850 м , с общей потерей напора $0,55 \text{ м}$. Вода отстаивается в резервуаре перед поступлением в трубу. Возможен без ущерба некоторый недостаток в пропускной способности. Определить диаметр трубы.

Давая 5% перегрузки как коэффициент запаса, получаем требуемую пропускную способность Дюкера $1,05 \times 1,7 = 1,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$, так как скорость неизвестна, то суммарная потеря на вход и потеря на скорость не может быть определена. Для предварительных соображений $850 = 0,85 \times 1000 \text{ м}$.

Таким образом $\frac{0,55}{0,85} = 0,647$.

Обращаясь к графику, где даны:

- 1) расходы в $\text{м}^3/\text{сек.}$ — линии, наклоненные слева направо;
- 2) уклон в метрах на метр, иначе говоря, потеря напора на метр — линии, поднимающиеся слева направо;
- 3) скорость воды в $\text{м}/\text{сек.}$ — вертикальные линии;
- 4) диаметр трубы в мм — горизонтальные линии;

находим пересечение линии, выражающей расход $Q = 1,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$ с линией уклона $i = 0,00065$ и определяем по этой точке требуемые величины: диаметр трубы, примерно 1450 мм и скорость воды $1,08 \text{ м}/\text{сек.}$

Нужно учесть еще другие потери напора, из которых главными являются — потеря при входе и потеря на скорость. Потеря на скорость выражается величиной $h_w = \frac{v^2}{2g}$, вторая потеря — потеря при входе выражается в части первой потери и составляет:

- 50% для простого входного устройства,
- 25% для выходного отверстия с закругленными крыльями,
- 5% для устройства с постепенно суживающимся переходом.

Элементы опытов для определения потерь на трение в деревян-
ных скоростях со скоростями, вычислен

Труба №	Порядковый №	Фамилия экспери- мент. и год	Наблюдения	Диаметр дюйм	Название и описание трубы	Расход ф/сек.	Скорость ф/сек.	Потери напора на 1000 H	Коэффициент	
									Kutter. По набл.	Kutter Норма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1a	1	H. S. 18 П	339	1,26	New Almaden Cal. 8 звен. труб. Сверлен. кругл. Дерев. нов. прямая	0,014	1,653	24,19	—	—
	2		338			0,021	2,469	50,94	—	—
	3		337			0,026	3,008	76,10	—	—
	4		336			0,031	3,519	103,06	—	—
	5		335			0,035	3,986	131,15	—	—
2a	6	E.M. 1910	5	4,00	Sunnyside project Звен. прям. труба С постоян. укло- ном. Усл. неизв.	0,037	0,425	0,464	0,0118	0,0107
	7		7			0,037	0,770	1,259	0,0113	0,0101
	8		6			0,091	1,046	2,00	0,0112	0,0099
	9		4			0,126	1,448	3,688	0,0107	0,0097
	10		3			0,146	1,678	4,905	0,0106	0,0096
3a	11	E.M. 1910	2	4,00	Другой участок. Труба № 2	0,312	3,586	17,476	0,0098	0,0093
	12		1			0,388	4,460	25,369	0,0096	0,0093
4a	13	E.M. 1909	5	5,00	Sunnys. pr. Wash. Звен. Дюкер прям. в гориз. напр.	0,051	0,419	0,243	0,0104	0,0110
	14		6			0,089	0,654	0,565	0,0107	0,0107
	15		7			0,111	0,816	0,837	0,0106	0,0104
	16		1			0,136	1,000	1,312	0,0108	0,0103
	17		2			0,179	1,316	2,165	0,0107	0,0100
	18		8			0,199	1,463	2,481	0,0104	0,0100
	19		4			0,311	2,287	6,099	0,0105	0,0097
	20		3			0,313	2,301	6,292	0,0106	0,0097
5a	21	E.M. 1909	1	6,00	Sunnys. pr. Wash. Звеновая прям. труба с постоян. уклоном, полное протяжн. 1000	0,098	0,499	0,250	0,0104	0,0112
	22		2			0,162	0,827	0,610	0,0103	0,0107
	23		3			0,213	1,085	0,995	0,0102	0,0105
	24		4			0,270	1,378	1,513	0,0102	0,0103
	25		5			0,334	1,704	2,270	0,0101	0,0101
6a	26	—	5	6,00	Sunnys. pr. Wash. Звенов. Дюкер трасса и профиль как в трубе № 11	0,079	0,403	0,160	0,0100	0,0113
	27		4			0,096	0,490	0,240	0,0103	0,0112
	28		3			0,121	0,617	0,370	0,0104	0,0110
	29		1			0,159	0,811	0,606	0,0104	0,0107
	30		2			0,194	0,990	0,930	0,0106	0,0106
	31		6			0,251	1,281	1,391	0,0103	0,0103
7a	32	E.M. 1910	7	6,00	Sunnys. pr. Wash. Та же труба как № 6, 8	0,299	1,526	1,973	0,0103	0,0103
	33		9			0,456	2,327	4,295	0,0101	0,0100
8a	34	E.M. 1910	8	6,00	Sunnys. pr. Wash.	0,588	3,000	6,889	0,0100	0,0098
	35	E.M. 1909	9	8,00	" " "	0,366	1,049	0,847	0,0116	0,0110

ных бочарных трубах с процентным сравнением наблюдаемых
ными по различным формулам.

трения		Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей									
Шлезен C	Уильямс-Хейзен C_6	Скорости по формулам для напора H ф/сек.					Столб. 8 сравниваем со столбц. 14—18 в %				
		Скобей	Уильямс-Хейзен	Моритц	Туттон	Вейсбах	Скобей	Уильямс-Хейзен $C_w = 120$	Моритц	Туттон	Вейсбах
12	18	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
65,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—
67,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—
67,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—
67,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—
67,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	—
68,6	96,8	0,509	0,527	0,520	0,502	0,520	— 18,1	— 19,4	— 18,4	— 15,4	— 18,3
75,2	102,2	0,702	0,904	0,906	0,836	0,901	— 14,6	— 14,8	— 15,0	— 8,1	— 14,6
77,3	102,5	1,23	1,22	1,24	1,11	1,24	14,9	— 14,6	— 15,4	— 6,0	— 15,9
82,8	107,6	1,64	1,62	1,64	1,45	1,64	— 11,6	— 10,4	— 11,8	+ 0,1	— 11,4
83,2	107,0	1,92	1,88	1,93	1,67	1,90	— 12,5	— 10,8	— 12,9	+ 0,2	— 11,7
93,9	115,0	3,88	3,74	3,90	3,20	3,80	— 7,6	— 4,2	— 8,1	+ 12,1	— 5,6
97,2	116,9	4,77	4,51	4,80	3,87	4,65	— 6,5	— 2,6	— 7,0	+ 15,3	— 4,2
83,8	118,3	0,419	0,425	0,425	0,416	0,420	— 0,0	— 1,4	— 1,1	+ 0,7	— 0,2
85,7	117,1	0,669	0,670	0,679	0,639	0,689	— 2,2	— 2,4	— 3,6	+ 2,2	— 5,2
87,8	118,1	0,830	0,812	0,844	0,781	0,848	— 1,7	— 1,5	— 3,4	+ 4,4	— 3,8
85,8	113,6	1,07	1,06	1,08	0,982	1,09	— 6,6	— 5,4	— 7,6	+ 1,8	— 8,0
87,2	114,0	1,41	1,38	1,43	1,27	1,46	— 6,6	— 5,0	— 8,1	+ 3,8	— 9,9
91,5	117,9	1,52	1,49	1,54	1,36	1,53	— 3,9	— 1,8	— 5,2	+ 7,6	— 4,5
91,2	113,3	2,50	2,42	2,54	2,15	2,47	— 8,5	— 5,6	— 10,0	+ 6,8	— 7,4
90,4	112,3	2,56	2,46	2,58	2,18	2,51	— 10,1	— 6,5	— 10,8	+ 5,3	— 8,3
89,3	125,7	0,480	0,484	0,490	0,476	0,504	+ 3,9	+ 3,0	+ 1,7	+ 4,8	— 0,9
94,7	126,6	0,785	0,784	0,805	0,750	0,815	+ 5,3	+ 5,5	+ 2,8	+ 10,2	+ 1,4
97,5	127,6	1,03	1,02	1,06	0,982	1,06	+ 5,3	+ 6,3	+ 2,9	+ 12,6	+ 2,8
98,3	126,5	1,33	1,31	1,36	1,22	1,34	+ 3,6	+ 5,4	+ 1,3	+ 13,4	+ 2,4
98,8	128,2	1,63	1,33	1,67	1,47	1,64	+ 4,5	+ 6,8	+ 2,1	+ 16,2	+ 3,8
90,2	127,1	0,374	0,380	0,383	0,380	0,377	+ 7,8	+ 5,9	+ 5,1	+ 6,4	+ 1,5
89,1	124,1	0,468	0,474	0,479	0,466	0,495	+ 4,6	+ 3,4	+ 2,2	+ 5,1	— 1,0
90,7	123,7	0,595	0,598	0,610	0,581	0,617	+ 3,6	+ 3,2	+ 1,2	+ 6,2	+ 0,1
93,3	124,6	0,783	0,781	0,802	0,747	0,803	+ 3,6	+ 3,7	+ 1,2	+ 8,6	+ 0,6
91,9	120,7	0,990	0,986	1,02	0,980	1,07	0,0	+ 0,6	— 2,8	+ 6,2	— 2,6
97,2	125,6	1,24	1,22	1,27	1,14	1,26	+ 3,3	+ 4,6	+ 0,6	+ 12,4	+ 1,7
98,4	129,9	1,50	1,48	1,54	1,37	1,52	+ 1,7	+ 3,2	— 1,0	+ 11,6	— 0,5
100,5	121,4	2,32	2,25	2,38	2,03	2,31	+ 0,3	+ 1,2	— 2,1	+ 14,6	+ 0,9
102,2	124,0	3,01	2,90	3,09	2,58	2,97	— 0,3	+ 3,3	— 2,8	+ 16,1	+ 1,1
81,2	112,1	1,14	1,12	1,18	1,07	1,15	— 7,8	— 6,6	— 11,1	— 2,1	— 8,8

Труба №	Порядковый №	Фамилия экспери- мент. и год	Наблюдения	Диаметр дюймы	Название и описание трубы	Расход ф/сек.	Скорость ф/сек.	Потеря напора на 1000 H	Коэффициент	
									Kutter По набл.	Kutter Норма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	36		3		Дюкер, один изгиб в горизонт. напр. Та же труба, что и под № 10, 11 и 12	0,469	1,344	1,304	0,0114	0,0108
	37		4			0,573	1,642	1,853	0,0112	0,0107
	38		5			0,745	2,135	2,988	0,0111	0,0103
	39		6			0,904	2,590	4,428	0,0111	0,0103
	40		1			0,961	2,754	4,874	0,0110	0,0102
	41		9			1,045	2,994	5,707	0,0110	0,0102
	42		8			1,349	3,866	8,934	0,0107	0,0101
	43		9			1,538	4,407	11,149	0,0106	0,0100
10a	44	E.M. 1909	10	8,00	Sunnys. pr. Wash.	0,433	1,241	1,114	0,0114	0,0108
	45		11		См. № 9, 11, 12	0,782	2,241	3,270	0,0110	0,0103
11a	46	E.M. 1910	8	8,00	Sunnys. pr. Wash.	0,575	1,648	1,257	0,0098	0,0106
	47		7		См. № 9, 10 и 12	0,748	2,143	1,993	0,0094	0,0104
	48		6			0,905	2,593	2,813	0,0093	0,0103
	49		5			1,169	3,350	4,305	0,0090	0,0101
	50		4			1,315	3,768	5,310	0,0090	0,0101
	51		3			1,484	4,252	6,357	0,0088	0,0100
	52		2			1,803	5,166	9,200	0,0087	0,0099
	53		1			2,050	5,874	11,494	0,0086	0,0099
12a	54	E.M. 1910	12	8,00	Sunnys. pr. Wash.	0,158	0,453	0,161	0,0109	0,0117
	55		11		См. № 9, 10 и 11	0,182	0,522	0,206	0,0109	0,0116
	56		10			0,332	0,951	0,527	0,0103	0,0111
	57		9			0,423	1,212	0,782	0,0101	0,0109
13	58	S — 12	2	8,00	French Bros звен.	0,104	0,916	0,116	0,0123	0,0121
	59	1914	3		труба с легким	0,327	0,936	0,840	0,0126	0,0111
	60		5		подъемом. Один	0,453	1,251	1,035	0,0110	0,0109
	61		4		изгиб в горизонт.	0,606	1,736	1,827	0,0107	0,0106
	62		8		напр. Внутри сост.	0,730	2,048	2,393	0,0105	0,0104
	63		6		визз., но вероят.	1,036	3,043	5,979	0,0110	0,0102
	64		7		хорош., т. н. откр.	1,177	3,294	6,850	0,0109	0,0102
	65		1		кан. с чист. вод.	1,243	3,558	8,019	0,0108	0,0101
14	66	S — 11	5	10,00	Congdon Orchards	1,978	3,633	6,160	0,0111	0,0103
	67	1914	1		Wash. звен. прям.	2,499	4,685	10,724	0,0115	0,0102
	68		4		трубе с легким	2,540	4,66	9,635	0,0109	0,0102
	69		3		изгиб. между из-	2,572	4,72	9,981	0,0110	0,0102
	70		2		мерителем	2,769	5,08	11,960	0,0112	0,0101
15a	71	C — 1908	2	10,12	Bonito, New Mex.	5,42	9,705	33,38	—	—
	72	C — 1908	1		He исп. Scobey'ем,	5,44	9,74	33,38	—	—
	73	C — 1909	3		т. к. имеет слишк.	5,98	9,71	33,38	0,0087	—
	74	C — 1911	4		больш. скорость	6,19	11,07	33,38	0,0089	—

трения		Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей									
Шези C	Williams- Hazen C _w	Скорости по формулам для напора H ф/сек.					Столб. 8 сравниваем. со столб. 14—18 в %				
		Scobey	Williams- Hazen	Moritz	Tutton	Wels- bach	Scobey	Wil.-Haz. C _w = 120	Moritz	Tutton	Wels- bach
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
91,1	113,9	1,44	1,42	1,50	1,34	1,44	— 6,7	— 5,1	— 10,5	+ 0,6	— 7,0
93,3	115,0	1,75	1,71	1,82	1,60	1,74	— 6,1	— 4,2	— 9,9	+ 2,7	— 5,9
95,6	115,5	2,23	2,22	2,38	2,04	2,26	— 6,4	— 3,7	— 10,3	+ 4,7	— 5,6
95,2	113,3	2,84	2,74	2,96	2,51	2,78	— 8,7	— 5,6	— 12,5	+ 3,2	— 6,7
96,6	114,5	3,00	2,88	3,12	2,64	2,92	— 8,1	— 4,6	— 11,6	+ 4,1	— 5,6
96,9	114,8	3,27	3,14	3,40	2,84	3,18	— 8,4	— 4,7	— 12,1	+ 5,6	— 5,8
100,1	115,8	4,19	4,00	4,37	3,57	4,05	— 7,7	— 3,5	— 11,4	+ 1,3	— 4,5
102,1	117,0	4,75	4,52	4,84	3,99	4,65	— 7,2	— 2,5	— 10,7	+ 10,3	— 5,2
90,8	114,5	1,32	1,30	1,38	1,23	1,33	— 6,0	— 4,6	— 9,7	+ 0,6	— 6,8
95,6	115,5	2,40	2,33	2,50	2,14	2,36	— 6,6	— 4,8	— 10,4	+ 5,0	— 5,2
113,4	142,4	1,41	1,39	1,47	1,31	1,44	+ 16,9	+ 18,7	+ 12,1	+ 25,7	+ 14,4
117,1	144,3	1,82	1,78	1,90	1,66	1,85	+ 17,7	+ 20,2	+ 12,7	+ 29,2	+ 16,1
119,3	145,0	2,21	2,15	2,30	1,98	2,22	+ 17,3	+ 20,7	+ 12,7	+ 31,0	+ 17,0
124,5	148,9	2,80	2,70	2,91	2,46	2,78	+ 19,6	+ 24,1	+ 15,0	+ 36,4	+ 20,4
126,0	149,5	3,15	3,02	3,27	2,73	3,11	+ 19,6	+ 24,5	+ 15,0	+ 37,7	+ 20,9
130,0	153,1	3,48	3,33	3,62	3,00	3,43	+ 22,2	+ 27,5	+ 17,8	+ 41,8	+ 24,0
131,4	152,4	4,26	4,06	4,44	3,62	4,17	+ 21,3	+ 26,9	+ 16,4	+ 42,7	+ 23,6
133,9	153,7	4,84	4,59	5,02	4,05	4,69	+ 21,3	+ 28,1	+ 16,9	+ 44,9	— 25,2
87,1	48,8	0,451	0,458	0,470	0,460	0,47	+ 0,4	— 1,0	— 3,6	— 1,5	— 3,6
88,8	119,8	0,518	0,523	0,539	0,521	0,535	+ 0,6	—	— 3,0	— 0,2	— 2,4
101,0	131,4	0,873	0,836	0,908	0,842	0,90	+ 8,9	+ 9,5	+ 4,8	+ 13,0	+ 5,7
105,8	135,3	1,09	1,07	1,13	1,03	1,11	+ 11,1	+ 12,7	+ 7,2	+ 17,7	+ 9,0
71,7	98,7	0,378	0,384	0,392	0,390	0,419	— 16,4	— 17,7	— 19,3	— 18,8	— 24,5
79,1	100,6	1,13	1,12	1,18	1,07	1,15	— 17,2	— 16,2	— 20,4	— 12,4	— 18,6
95,2	120,0	1,27	1,25	1,32	1,19	1,30	— 1,5	0,0	— 5,2	+ 5,1	— 3,2
99,5	122,6	1,75	1,70	1,80	1,59	1,75	— 0,7	+ 2,1	— 3,6	+ 9,2	— 0,6
102,5	125,0	2,02	1,96	2,10	1,82	2,03	+ 1,4	+ 4,1	— 2,6	+ 12,6	+ 0,8
96,4	113,2	3,35	3,22	3,50	9,90	3,25	— 9,1	— 5,7	— 12,8	+ 4,8	— 6,4
97,5	114,0	3,62	3,47	3,77	3,11	3,45	— 8,9	— 5,0	— 12,5	+ 5,7	— 4,5
97,3	113,3	3,96	3,77	4,11	3,37	3,85	— 10,2	— 5,6	— 13,5	+ 5,4	— 7,5
101,4	115,5	3,95	3,77	4,15	3,42	3,81	— 8,0	— 3,6	— 12,6	+ 6,2	— 4,6
97,0	108,2	5,25	5,07	5,65	4,53	5,08	— 14,2	— 9,8	— 18,8	+ 1,2	— 9,6
104,0	116,5	5,04	4,83	5,33	4,29	4,82	— 7,5	— 2,9	— 12,7	+ 8,5	— 3,4
103,6	115,9	5,14	4,88	5,42	4,36	4,90	— 8,1	— 3,4	— 12,9	+ 8,2	— 3,6
101,8	113,1	5,68	5,39	6,00	4,79	5,44	— 10,5	— 5,8	— 15,2	+ 6,1	— 6,6
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
138	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
132	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Труба №	Порядковый №	Фамилия эксперимент. и год	Наблюдения	Диаметр дюйм	Название и описание трубы	Расход ф/сек	Скорость ф/сек	Потеря напора на 1 000 Н	Коэффициент	
									Kutter По набл.	Kutter Норм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16a	75	E.M. 1911	1	12,00	Sunnys. pr. Wash.	0,360	0,459	0,139	0,0129	0,0124
	76		2		Звен. труб. С укло-	0,469	0,597	0,222	0,0130	0,0122
	77		3		ном. Вероят. зане-	0,581	0,740	0,349	0,0140	0,0120
	78		4		сена илом, так наз.	0,698	0,889	0,459	0,0130	0,0118
	79		5		скорость низка.	0,998	1,271	0,819	0,0126	0,0114
	80		6		Потеря напора	1,200	1,529	1,196	0,0127	0,0113
	81		7		ненору. высока	1,415	1,803	1,548	0,0124	0,0112
17a	82	E.M. 1909	1	14,00	Sunnys. pr. Wash.	0,529	0,495	0,106	0,0118	0,0126
	83		8		Осадка и зарост.	0,555	0,519	0,115	0,0118	0,0126
	84		7		нет, та же труба,	1,050	0,982	0,300	0,0111	0,0119
	85		6		что и № 18	1,298	1,214	0,474	0,0114	0,0117
	86		5			1,752	1,639	0,767	0,0110	0,0114
	87		4			2,224	2,080	1,237	0,0110	0,0113
	88		3			2,820	2,638	1,909	0,0109	0,0110
	89		2			3,493	3,267	2,570	0,0104	0,0108
18a	90	E.M. 1910	6	14,00	Sunnys. pr. Wash.	0,612	0,572	0,104	0,0105	0,0124
	91		5		Тот же участ.	0,790	0,739	0,171	0,0108	0,0122
	92		4		Труба № 17	1,050	0,982	0,283	0,0108	0,0119
	93		3			1,384	1,295	0,478	0,0108	0,0117
	94		2			1,761	1,647	0,754	0,0108	0,0114
	95		8			2,133	1,995	1,067	0,0108	0,0113
	96		1			2,144	2,006	1,101	0,0108	0,0113
	97		7			2,822	2,640	1,814	0,0107	0,0110
19a	98	S. — 10 1914	2	14,00	Congon Orchards	6,64	6,22	10,015	0,0107	0,0105
	99		1		Wash. Звен. труба	6,66	6,24	10,332	0,1107	0,0105
	100		3		прям.	6,66	6,24	10,407	0,0108	0,0105
20a	101	A. 1898	1	14,11	West Los Angeles	0,76	0,691	0,145	0,0106	0,0123
	102		1	14,08	Water Co Труба	0,74	0,691	0,161	0,0109	0,0123
	103		1	14,05	из калифорн. кр.	0,75	0,698	0,170	0,0111	0,0123
	104		1	14,05	деревя для город-	0,81	0,751	0,178	0,0108	0,0122
	105		2	14,05	ских нужд	1,27	1,181	0,375	0,0105	0,0118
	106		1	14,05		1,26	1,167	0,391	0,0107	0,0117
	107		2	14,05		1,65	1,531	0,638	0,0108	0,0115
21a	108	C—1908	2	16,12	Bonito, New Mex.	5,39	3,791	3,062	—	—
	109	C—1908	1		He исп. Scobey'em,	5,40	3,805	3,062	—	—
	110	C—1909	3		как имеющ. слишк.	5,98	4,183	3,062	0,0092	0,0108
	111	C—1911	4		больш. скорость	6,19	4,37	3,062	0,0094	0,0108
22a	112	DB—52 1859	1		Опытная тр.	1,895	1,230	0,593	0,0124	0,0118
	113		2		Звен. прямоуголь-	2,74	1,778	1,067	0,0124	0,0114

трения

Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей

Скорости по формулам для
напора H ф/сек.Столб. 8 сравниваем. со столб.
14—18 в %

Шези C	Williams- Hazen C_H	Scobey	Williams- Hazen	Moritz	Tutton	Weis- bach	Scobey	Wil.-Haz. $C_H = 120$	Moritz	Tutton	Weis- bach
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
78,0	100,9	0,542	0,546	0,575	0,557	0,572	- 15,4	- 15,8	- 20,0	- 17,6	- 19,8
80,2	102,0	0,703	0,702	0,745	0,707	0,733	- 15,1	- 15,0	- 19,8	- 15,6	- 18,5
79,2	99,0	0,905	0,897	0,959	0,891	0,297	- 17,8	- 17,5	- 22,8	- 16,9	- 20,2
82,9	102,6	1,05	1,04	1,12	1,02	1,08	- 15,3	- 14,6	- 20,3	- 13,2	- 17,5
88,9	107,3	1,45	1,42	1,54	1,38	1,46	- 12,0	- 10,6	- 17,4	- 7,7	- 12,9
88,5	105,2	1,78	1,74	1,90	1,67	1,79	- 14,1	- 12,3	- 19,6	- 8,5	- 14,5
91,7	107,9	2,06	2,01	2,19	1,90	2,05	- 12,5	- 10,1	- 17,8	- 5,5	- 19,2
89,1	114,4	0,515	0,519	0,551	0,567	0,560	- 3,7	- 4,6	- 10,2	- 7,8	- 11,6
89,7	114,8	0,540	0,542	0,557	0,560	0,579	- 3,8	- 4,3	- 10,1	- 7,2	- 10,3
105,1	129,4	0,920	0,911	0,982	0,913	0,962	+ 6,7	+ 7,8	0,0	+ 7,5	+ 2,1
103,2	12,8	1,19	1,17	1,27	1,15	1,22	+ 2,0	+ 4,0	- 4,2	+ 5,2	- 0,6
109,6	130,1	1,55	1,51	1,65	1,47	1,58	+ 5,8	+ 8,4	- 0,8	+ 11,3	+ 4,1
109,8	127,6	2,01	1,96	2,16	1,88	2,02	+ 3,5	+ 6,3	- 3,4	+ 10,6	+ 2,8
111,9	128,0	2,56	2,47	2,74	2,34	2,55	+ 3,0	+ 6,7	- 3,9	+ 12,5	+ 3,5
119,4	195,0	3,02	2,90	3,24	2,73	3,03	+ 8,2	+ 12,5	+ 0,9	+ 19,6	+ 7,8
103,8	133,6	0,510	0,514	0,546	0,532	0,553	+ 12,1	+ 11,3	+ 4,8	+ 7,5	+ 3,5
104,5	132,2	0,672	0,672	0,719	0,685	0,717	+ 9,9	+ 10,2	+ 2,8	+ 7,7	+ 2,9
108,2	133,6	0,890	0,882	0,951	0,886	0,939	+ 10,2	+ 11,2	+ 3,1	+ 10,8	+ 4,6
109,7	132,6	1,19	1,17	1,27	1,16	1,23	+ 8,8	+ 10,4	+ 1,7	+ 11,9	+ 5,5
111,2	131,9	1,53	1,50	1,64	1,46	1,56	+ 7,8	+ 10,0	+ 0,3	+ 12,5	+ 5,4
113,5	132,5	1,85	1,81	1,99	1,74	1,88	+ 7,7	+ 10,4	+ 0,3	+ 14,4	+ 6,3
111,8	131,0	1,89	1,84	2,02	1,77	1,91	+ 6,1	+ 9,2	- 0,7	+ 13,1	+ 4,9
114,7	131,6	2,49	2,41	2,67	2,28	2,48	+ 6,1	+ 9,6	- 1,0	+ 15,7	+ 6,5
115,2	123,3	6,40	6,05	6,88	5,46	6,07	- 2,8	+ 2,8	- 9,6	+ 13,9	+ 2,5
114,3	122,3	6,50	6,12	6,96	5,52	6,14	- 4,0	+ 2,0	- 10,5	+ 13,0	+ 1,6
113,6	121,2	5,55	6,18	7,03	5,57	6,19	- 4,7	+ 1,0	- 11,2	+ 12,1	+ 0,7
105,0	134,1	0,617	0,618	0,660	0,634	0,660	+ 11,9	+ 11,8	+ 4,7	+ 8,9	+ 4,7
101,0	126,9	0,653	0,653	0,698	0,668	0,694	+ 5,8	+ 5,8	- 1,0	+ 3,4	- 0,3
99,0	124,7	0,673	0,672	0,718	0,685	0,713	+ 3,8	+ 3,9	- 2,8	+ 1,8	- 2,1
104,0	130,8	0,691	0,689	0,737	0,702	0,733	+ 8,6	+ 9,0	+ 1,9	+ 7,0	+ 2,4
113,0	137,6	1,05	1,03	1,12	1,03	1,09	+ 12,5	+ 14,7	+ 5,9	+ 15,1	+ 8,8
109,0	132,9	1,07	1,05	1,14	1,05	1,11	+ 9,1	+ 10,8	+ 2,2	+ 11,2	+ 5,0
112,0	132,7	1,40	1,37	1,50	1,34	1,43	+ 9,3	+ 10,7	+ 2,2	+ 13,9	+ 6,8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
141,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
137,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
94,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,6	—
96,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	—

Труба №	Порядковый №	Фамилия экспери- мент. и год	Наблюдения	Диаметр дюйм	Название и описание трубы	Расход ф/сек.	Скорость ф/сек.	Потеря напора на 1000 H	Коэффициент	
									Kutter По набл.	Kutter Норма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	114		3		ная, сечением	3,50	2,276	1,733	0,0123	0,0113
	115		4		1,574 × 0,984.	4,52	2,939	2,733	0,0121	0,0110
	116		5		Использ. Tutton'ом	5,43	3,529	3,867	0,0120	0,0109
	117		6		для вывода фор-	6,70	4,349	6,267	0,0124	0,0107
	118		7		мулы, отвергн. все-	4,13	4,625	7,267	0,0125	0,0107
	119		8		ми др. авторами	8,17	5,307	8,800	0,0121	0,0106
23а	120	A. 1896	1	18,00	Astoria Oreg	6,360	3,605	1,963	0,0098	0,0111
	121		2		Непрерывн. труба	3,605	3,605	1,963	0,0098	0,0111
24а	122	E. M. 1910	3	18,00	Sunnys. pr. Wash.	3,877	2,194	1,902	0,0108	0,0116
	123		2		Та же труба, что	4,998	2,829	1,339	0,0103	0,0113
	124		1		и под № 25	6,040	3,418	1,901	0,0102	0,0111
25а	125	E. M. 1910	8	18,00	Sunnys. pr. Wash.	0,958	0,542	0,074	0,0108	0,0129
	126		7		Звеньев. тр. с лег-	1,271	0,719	0,126	0,0112	0,0127
	127		6		ким изг. Остальн.	1,462	0,827	0,155	0,0110	0,0125
	128		5		части прямые	1,756	0,994	0,212	0,0109	0,0123
	129		4			2,471	1,398	0,382	0,0108	0,0120
26	130	S — 13	1	18,00	Congdon, Wash.	1,979	1,12	0,190	0,0094	0,0122
	131	1914	2		Непрерывн.	3,481	1,97	0,847	0,0110	0,0116
27	132	S — 7	1	18,00	Burbank Co Wash.	3,503	2,077	1,107	0,0122	0,0115
	133	1914	2		Звен. сифон.	4,023	2,277	1,248	0,0120	0,0115
28а	134	E. M. 1910	7	22,0	Sunnys. pr. Wash.	1,813	0,687	0,070	0,0099	0,0130
	135		6		Звен. труба. Испыт.	2,753	1,043	0,174	0,0108	0,0125
	136		5		уч-к предст. два	3,585	1,358	0,348	0,0119	0,0122
	137		3		танг. пересеч. под	4,569	1,731	0,492	0,0114	0,0121
	138		4		угл. 5°. Состоян.	4,709	1,784	0,616	0,0122	0,0121
	139		1		трубы неск. не-	7,803	2,596	1,786	0,0126	0,0117
	140		2		обычно	8,259	3,128	2,017	0,0127	0,0115
29	141	S — 2	4	24,06	Butler Water Works.	2,690	0,854	0,128	0,0117	0,0128
	142	1914	2		Pens. Звен. труба	2,824	0,897	0,196	0,0137	0,0128
	143		3		из бел. сосны	2,886	0,916	0,202	0,0136	0,0127
	144		1		с пост. укл.	3,570	1,13	0,239	0,0124	0,0126
30	145	S — 1	1	22,8	Norfolk County*	2,608	0,918	0,135	0,0110	0,0127
	146	1914	2		Wat. Co. Virg.	2,615	0,926	0,156	0,0116	0,0127
					Звен. тр.					
31	147	S — 15	2	24,00	Ogden Water Works	9,872	3,142	1,429	0,0115	0,0116
	148	1914	1		Utah. Непр. труба	9,907	3,158	1,375	0,0113	0,0116

трения		Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей									
Шеши С	Williams-Hazen С _h	Скорости по формулам для напора H ф/сек.					Столб. 8 сравниваем. со столб. 14—18 в %				
		Scobey	Williams-Hazen	Moritz	Tutton	Weisbach	Scobey	Wil.-Haz. $C_w = 120$	Moritz	Tutton	Weisbach
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
96,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
99,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
97,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
96,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
132,9	147,0	3,07	2,95	3,32	2,81	3,13	+ 17,3	+ 22,3	+ 8,5	+ 27,6	+ 15,2
132,9	147,0	3,07	2,95	3,32	2,81	3,13	+ 17,3	+ 22,3	+ 8,5	+ 27,6	+ 11,2
119,4	136,1	1,99	1,93	2,16	1,90	2,64	+ 10,2	+ 13,5	+ 1,7	+ 15,8	+ 7,8
126,5	141,8	2,47	2,39	2,71	2,31	2,51	+ 14,5	+ 18,1	+ 4,5	+ 22,2	+ 12,5
127,9	141,8	3,02	2,89	3,07	2,76	3,26	+ 13,2	+ 18,1	+ 4,8	+ 23,6	+ 11,4
103,0	129,7	0,500	0,501	0,539	0,528	0,549	+ 8,3	+ 8,0	+ 2,6	+ 2,6	— 1,3
104,6	129,7	0,670	0,666	0,724	0,694	0,723	+ 7,2	+ 8,0	+ 0,7	+ 3,5	— 0,6
108,5	132,7	0,750	0,748	0,820	0,770	0,809	+ 10,2	+ 10,6	+ 0,8	+ 7,3	+ 2,3
111,4	134,8	0,892	0,885	0,966	0,903	0,956	+ 11,3	+ 12,3	+ 2,9	+ 10,0	+ 3,8
116,7	137,9	1,24	1,22	1,34	1,22	1,30	+ 12,7	+ 14,8	+ 4,3	+ 14,6	+ 7,7
132,8	161,3	8,37	0,824	0,908	0,853	0,90	+ 33,7	+ 34,5	+ 26,5	+ 31,1	+ 24,3
110,3	126,5	1,92	1,82	2,08	1,83	1,97	+ 2,4	+ 5,4	— 5,4	+ 7,3	+ 0,1
102,0	115,3	2,24	2,16	2,42	2,10	2,26	— 7,3	— 3,9	— 14,0	— 0,9	— 8,0
105,2	118,3	2,39	2,31	2,58	2,23	2,40	— 4,7	— 1,5	— 11,9	+ 1,8	— 5,1
121,1	149,3	0,548	0,552	0,601	0,586	0,614	+ 25,3	+ 24,5	+ 14,4	+ 17,2	+ 11,8
116,9	138,7	0,92	0,903	0,996	0,932	0,991	+ 13,3	+ 15,5	+ 4,7	+ 11,8	+ 5,3
107,5	124,2	1,34	1,31	1,46	1,33	1,41	+ 1,4	+ 3,6	+ 7,1	+ 2,2	+ 3,8
115,4	131,8	1,62	1,59	1,77	1,49	1,60	+ 6,8	+ 9,8	— 2,4	+ 16,0	+ 8,1
106,1	119,8	1,84	1,79	2,01	1,78	1,89	— 3,2	— 0,2	— 11,2	+ 0,4	— 5,7
90,8	111,7	3,32	3,18	3,63	3,06	3,28	— 16,9	— 6,8	— 18,4	— 3,3	— 9,9
102,7	110,8	3,54	3,39	3,88	3,25	3,19	— 11,6	— 7,6	— 19,4	— 3,9	— 10,4
106,6	126,8	0,815	0,809	0,894	0,845	0,911	+ 4,8	+ 5,6	— 4,4	+ 1,0	— 6,2
90,5	105,5	1,03	1,02	1,13	1,05	1,13	— 12,8	— 12,1	— 20,6	— 14,8	— 20,5
91,1	106,4	1,04	1,03	1,15	1,06	1,15	— 12,3	— 11,2	— 20,2	— 13,9	— 21,2
103,3	119,9	1,15	1,13	1,26	1,16	1,26	— 1,7	— 0,1	— 10,3	— 2,6	— 10,3
114,4	136,6	0,81	0,807	0,887	0,840	0,905	+ 10,8	+ 13,8	+ 3,5	+ 9,1	+ 1,3
107,6	128,8	0,87	0,871	0,960	0,903	0,968	+ 4,0	+ 6,4	— 3,5	+ 2,6	— 4,3
117,5	126,8	3,10	2,98	3,41	2,89	3,40	+ 1,3	+ 5,6	— 7,8	+ 8,7	— 7,6
120,2	130,1	3,02	2,91	3,33	2,83	3,34	+ 4,3	+ 8,4	— 5,2	+ 11,3	— 5,7

Труба №	Порядковый №	Фамилия экспери- мент. и год	Наблюдения	Диаметр дюйм	Название и описание трубы	Расход ф/сек.	Скорость ф/сек.	Потеря напора на 1 000 H	Коэффициент	
									Kutter По набл.	Kutter Норма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
32a	149	H—1892	1	24,00	Butte Water Works Mont.	3,6	1,147	—	0,0103	0,0123
33a	150	D. B. 51 1857	1		Составл. прямоуг. труба, сечение 2,624 × 1,64	—	1,666	0,475	0,0122	0,0122
	151		2			—	2,519	1,076	0,0123	0,0117
	152		3			—	3,372	1,899	0,0122	0,0115
	153		4			—	4,225	2,911	0,0122	0,0112
	154		5			—	5,068	4,272	0,0123	0,0111
	155		6			—	5,527	5,063	0,0123	0,0110
	156		7			—	5,914	5,760	0,0123	0,0110
	157		8			—	6,373	6,614	0,0122	0,0109
34a	158	IDS 1891	1	30,00	Denver Water Works Cal.	—	—	—	0,0096	—
35a	159	IM—1911	14	31,00	Sunmys. pr. Wash. Неперер. с основ. сифон. См. также тр. № 36. Вход из откр. канала с больш. скор. из зем. части	3,05	0,582	0,063	0,0129	0,0133
	160		13			3,85	0,735	0,094	0,0134	0,0133
	161		12			4,94	0,943	0,142	0,0136	0,0131
	162		11			5,90	1,126	0,197	0,0133	0,0130
	163		10			6,87	1,311	0,267	0,0135	0,0128
	164		9			8,90	1,698	0,398	0,0129	0,0125
	165		1			21,32	4,063	1,621	0,0114	0,0115
	166		8			11,59	2,211	0,757	0,0137	0,0122
36a	167	IM—1911	7	31,00	Участ. включен. в тр. № 35. Практи- чески прямая с пост. уклоном вниз	13,56	2,507	0,962	0,0133	0,0121
	168		6			16,38	3,125	1,347	0,0133	0,0119
	169		5			16,51	3,150	1,390	0,0132	0,0118
	170		3			20,34	3,881	1,959	0,0128	0,0117
	171		2			21,11	4,028	1,648	0,0115	0,0116
	172		4			24,05	4,589	2,661	0,0127	0,0115
	173		2			11,69	1,653	0,360	0,0133	0,0127
37	174	S—4 1914	1	36,00	Pasco Reclamation Co Wash. Непрерывн. тр.	13,84	1,957	0,570	0,0147	0,0126
	175		1			15,30	2,164	0,628	0,0141	0,0124
38	176	S—5 1914	2	36,00	Непрерывн. тр.	16,01	2,265	0,636	0,0136	0,0123
	177		1			10,07	1,271	0,142	0,0117	0,0131
39	177	S—8 1914	1	38,13	Burbank Co Wash.	10,07	1,271	0,142	0,0117	0,0131
40	178	S—6 1914	2	40,00	"Непер." тр. "	18,03	2,066	0,401	0,0118	0,0126
	179		3			18,56	2,126	0,339	0,0116	0,0125
41a	180	N—1901	1	44,50	Seattle, Water Works Wash.	37,44	3,464	1,067	0,0134	0,0122
	181		2			38,06	3,522	1,134	0,0136	0,0121

трения		Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей									
Шези C	Williams- Hazen C _w	Скорости по формулам для напора <i>H</i> ф/сек.					Столб. 8 сравниваем. со столб. 14—18 в %				
		Scobey	Williams- Hazen	Moritz	Tutton	Weis- bach	Scobey	Wil.-Haz. C _w = 120	Moritz	Tutton	Weis- bach
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
127,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
107,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 0,6	—
108,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
108,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 1,0	—
110,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
109,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
109,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
109,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
91,4	107,8	0,645	0,647	0,720	0,695	0,744	— 9,7	— 10,2	— 19,2	— 16,4	+ 4,8
93,5	109,7	0,805	0,808	0,900	0,854	0,914	— 8,7	— 8,7	— 18,3	— 14,0	— 19,6
98,4	112,7	1,01	1,00	1,13	1,05	1,13	— 6,6	— 6,0	— 16,7	— 10,6	— 16,5
99,9	112,7	1,22	1,20	1,36	1,25	1,34	— 7,7	— 6,0	— 16,9	— 9,6	— 15,9
99,9	111,4	1,44	1,41	1,61	1,46	1,56	— 9,0	— 7,2	— 18,7	— 9,9	— 16,2
107,2	116,3	1,79	1,75	2,00	1,78	1,92	— 5,2	— 3,2	— 15,3	— 4,8	— 11,7
125,7	130,5	3,71	3,74	4,37	3,65	3,97	+ 3,9	+ 8,6	— 6,8	— 6,8	+ 2,3
100,0	107,0	2,57	2,48	2,86	2,48	2,67	— 14,0	— 10,8	— 22,8	— 10,7	— 17,4
103,8	110,0	2,93	2,82	3,27	2,80	3,02	— 11,7	— 8,3	— 20,9	— 7,7	— 14,4
106,0	110,9	3,53	3,38	3,94	3,32	3,59	— 11,4	— 8,6	— 20,6	— 5,9	— 12,9
105,1	109,8	3,60	3,44	4,01	3,38	3,64	— 12,5	— 7,6	— 21,4	— 6,5	— 13,6
109,1	112,4	4,35	4,14	4,85	4,02	4,36	— 10,7	— 6,4	— 20,0	— 3,5	— 11,1
123,5	128,1	3,96	3,77	4,41	3,68	4,00	+ 1,7	+ 6,6	— 8,6	+ 9,4	+ 0,5
110,7	112,7	5,16	4,89	5,75	4,70	5,09	— 11,0	— 6,0	— 20,2	— 2,4	— 9,8
100,7	109,0	1,87	1,82	2,11	1,87	1,98	— 11,5	— 9,2	— 21,4	— 11,3	— 16,3
94,8	100,7	2,42	2,33	2,62	2,36	2,48	— 18,1	— 16,0	— 27,9	— 17,0	— 21,1
99,8	106,5	2,55	2,44	2,87	2,48	2,62	— 15,1	— 11,3	— 24,5	— 12,7	— 17,3
103,9	110,8	2,57	2,45	2,89	2,50	2,65	— 11,8	— 7,7	— 21,5	— 9,2	— 14,4
119,6	133,4	1,16	1,14	1,31	1,21	1,26	+ 9,7	+ 11,2	— 2,7	+ 5,3	+ 1,2
113,0	120,1	2,14	2,07	2,41	2,12	2,36	— 3,4	+ 0,1	— 14,1	— 2,4	— 8,5
126,6	135,4	1,94	1,88	2,19	1,94	2,06	+ 9,5	+ 12,8	— 3,0	+ 9,5	+ 3,1
110,1	110,9	3,93	3,75	4,46	3,74	4,12	— 11,8	— 7,6	— 14,8	— 7,5	— 16,0
108,6	109,1	4,07	3,87	4,62	3,86	4,31	— 13,4	— 9,0	— 23,7	— 8,8	— 18,2

Труба №	Порядковый №	Фамилия экспери- мент. и год	Наблюдения	Диаметр дюймов	Название и описание трубы	Расход ф/сек.	Скорость ф/сек.	Потеря напора на 1 000 H	Коэффициент	
									Kutter По набл.	Kutter Норма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	182		3			39,82	3,685	1,191	0,0133	0,0121
	183		4		Непрер. труба.	41,44	3,853	1,262	0,0132	0,0121
	184		5		Практич. прям.	42,84	3,964	1,330	0,0131	0,0121
	185		6		этот участок взят	42,54	3,972	1,331	0,0131	0,0121
	186		7		из № 44	44,04	4,075	1,404	0,0131	0,0121
	187		11			47,71	4,415	1,613	0,0138	0,0119
	188		10			49,66	4,595	1,757	0,0130	0,0119
	189		9			50,09	4,635	1,757	0,0129	0,0119
	190		8	8	Cowich Siphon, Wash.	52,21	4,831	1,888	0,0129	0,0118
42	191	S—9	2	48	Дюкер	38,32	3,14	0,452	0,0105	0,0123
	192	1914	5		Больш. скор.	46,62	3,75	0,649	0,0104	0,0122
	193		3		Предотвращ. образ.	57,83	4,61	1,095	0,0110	0,0120
	194		4		осадк.	59,43	4,75	1,143	0,0110	0,0119
	195		1			59,09	4,84	1,174	0,0112	0,0118
43a	196	IM—1911	1	48,75	Mabton'ская нап.	30,0	2,315	0,283	0,0111	0,0127
	197		2		лия. Sunnys. pr.	36,4	2,809	0,335	0,0101	0,0124
	198		3		Wash. непр. труба	46,2	3,565	0,608	0,0108	0,0122
44a	199	N—1901	2	54,19	Seattle Water	36,53	2,276	0,342	0,0131	0,0128
	200		1		Works Co Wash.	36,62	2,282	0,342	0,0130	0,0128
	201		3		основ. непр. труба.	42,53	2,650	0,436	0,0127	0,0127
	202		5		Л. г. к. изг. несколь-	48,87	3,045	0,557	0,0126	0,0125
	203		4		ко заросш.	49,22	3,067	0,558	0,0125	0,0125
	204		6			54,69	3,401	0,672	0,0124	0,0124
	205		7			59,77	3,724	0,783	0,0123	0,0122
	206		8			62,98	3,924	0,856	0,0122	0,0121
	207		9			67,66	4,215	0,983	0,0122	0,0121
	208		10			70,92	4,419	1,076	0,0122	0,0120
	209		11			75,24	4,688	1,162	0,0120	0,0120
45a	210	EM—1909	5	55,75	Mabton'ская труба.	50,80	1,814	0,149	0,0111	0,0131
	211		4		Непреры. н. с осн.	37,60	2,214	0,206	0,0108	0,0129
	212		3		сиф. труба. Участ.	44,32	2,610	0,266	0,0105	0,0127
	213		2		имел пост. уклон	51,05	3,006	0,356	0,0106	0,0125
	214		1		Вых. из откр. кан.	53,40	3,145	0,380	0,0105	0,0124
46a	215	EM—1910	9	55,75	Mabton'ская напор.	21,46	1,246	0,086	0,0117	0,0135
	216		8		труба. Тот же уча-	25,70	1,513	0,014	0,0115	0,0133
	217		7		сток, что и № 43.	31,44	1,852	0,168	0,0114	0,0131
	218		5		Одним год. позже.	40,90	2,409	0,259	0,0112	0,0127
	219		6		Трубы восст. в 1915г.	48,82	2,875	0,350	0,0110	0,0126
	220		1		Опыты показ., что	52,10	3,068	0,397	0,0110	0,0125

трения		Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей										
Шлези	Williams-Hazen	Скорости по формулам для напора H ф/сек.						Столб. 8 сравниваем. со столб. 14—18 в %				
		Scobey	Williams-Hazen	Moritz	Tutton	Weisbach	Scobey	Wil.-Haz. $C_k = 120$	Moritz	Tutton	Weisbach	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
110,9	111,2	4,18	3,98	4,74	3,96	4,35	-11,8	-7,4	-22,2	-6,9	-15,3	
112,6	112,7	4,32	4,10	4,90	4,08	4,50	-10,8	-6,0	-21,3	-5,5	-14,2	
112,9	112,4	4,45	4,22	5,04	4,19	4,62	-10,9	-6,3	-21,4	-5,3	-14,2	
113,0	112,9	4,45	4,22	5,05	4,19	4,62	-10,6	-6,9	-21,2	-5,2	-14,1	
112,9	112,7	4,55	4,35	5,20	4,30	4,74	-11,1	-6,0	-21,6	-5,4	-14,0	
112,7	113,9	5,95	4,68	5,61	4,62	5,10	-10,9	-5,0	-21,4	-4,5	-13,6	
113,8	112,4	5,17	4,91	5,89	4,83	5,31	-11,1	-6,3	-21,9	-4,6	-13,4	
114,8	113,4	5,17	4,91	5,89	4,83	5,30	-10,3	-5,5	-21,2	-3,9	-12,5	
115,4	113,7	5,40	5,10	6,13	5,01	5,48	-10,5	-5,1	-21,1	-3,4	-11,8	
147,7	152,4	2,56	2,47	2,92	2,54	2,81	+22,6	+27,3	+7,5	+23,6	+11,5	
147,2	149,7	3,13	3,01	3,57	3,05	3,52	+19,8	+24,4	+5,0	+22,7	+6,6	
139,3	138,8	4,18	3,98	4,77	3,99	4,79	+10,5	+15,6	+3,4	+15,6	+3,7	
140,5	139,7	4,30	4,08	4,89	4,08	4,87	+10,2	+16,5	+2,8	+16,2	+2,5	
137,2	140,2	4,36	4,14	4,90	4,13	4,94	+10,8	+16,9	+1,3	+17,0	+2,1	
136,6	143,3	2,00	1,94	2,28	2,02	2,25	+15,6	+19,3	+1,7	+14,5	+2,8	
152,3	158,8	2,18	2,12	2,50	2,20	3,46	+23,9	+32,3	+12,3	+27,5	+14,9	
143,4	146,1	2,88	2,93	3,48	2,98	3,32	+14,3	+21,8	+2,4	+19,6	+7,6	
115,8	119,1	2,38	2,29	2,72	2,38	2,66	-4,6	-0,7	-16,4	-4,8	-14,5	
116,1	119,3	2,38	2,29	2,72	2,38	2,68	-4,1	-0,6	-16,2	-4,2	-14,8	
119,4	120,7	2,72	2,63	3,19	2,70	3,04	-2,6	+0,5	-15,0	-1,8	-12,8	
121,4	122,4	3,12	2,99	3,57	3,06	3,42	-2,4	+2,0	-14,8	-0,5	-11,1	
122,1	123,1	3,12	2,99	3,57	3,06	3,46	-1,6	+2,7	-14,2	+0,1	-11,2	
123,7	123,8	3,47	3,31	3,90	3,37	3,76	-1,8	+3,2	-12,6	+1,2	-9,2	
125,8	124,5	3,78	3,59	4,32	3,64	4,08	-1,4	+3,7	-13,7	+2,3	-8,6	
126,2	125,0	3,97	3,77	4,53	3,81	4,26	-1,2	+4,2	-13,3	+2,9	-7,8	
126,5	124,7	4,28	4,06	4,90	4,09	4,56	-1,4	+4,0	-13,7	+3,1	-7,6	
126,7	124,5	4,48	4,26	5,15	4,28	4,77	-1,4	+3,7	-14,2	+3,2	-7,2	
129,2	126,6	4,70	4,44	5,37	4,45	4,96	-0,3	+5,3	-12,7	+5,2	-5,5	
139,8	139,6	1,53	1,56	1,75	1,67	1,82	+18,2	+16,0	+3,6	+8,8	+0,3	
143,1	143,1	1,81	1,86	2,10	1,97	2,11	+22,3	+19,0	+5,6	+12,6	+4,8	
148,3	146,9	2,10	2,13	2,42	2,24	2,41	+24,2	+22,3	+8,0	+16,4	+8,2	
147,7	144,5	2,47	2,50	2,84	2,60	2,79	+21,7	+20,4	+5,8	+15,6	+7,6	
149,6	146,0	2,57	2,58	2,94	2,69	2,89	+22,3	+21,6	+6,8	+17,0	+8,8	
124,6	130,9	1,12	1,16	1,29	1,26	1,34	+12,9	+9,0	-2,1	+0,3	-6,0	
131,4	134,6	1,30	1,35	1,51	1,45	1,57	+16,4	+12,1	+0,2	+4,1	-3,3	
134,6	135,8	1,60	1,64	1,84	1,74	1,88	+15,7	+13,1	+0,6	+6,1	-1,5	
138,6	137,6	2,07	2,10	2,38	2,21	2,38	+16,3	+14,5	+1,2	+8,9	+1,3	
142,5	139,6	2,45	2,47	2,82	2,58	2,77	+17,4	+16,2	+2,1	+11,6	+8,7	
142,7	139,1	2,63	2,63	3,02	2,75	2,96	+16,6	+15,8	+1,6	+11,6	+3,7	

Труба №	Порядковый №	Фамилия экспери- мент. и год	Наблюдения	Диаметр дюймов	Название и описание трубы	Расход ф/сек.	Скорость ф/сек.	Потери напора на 1000 H	Коэффициент	
									Kutter По наб.	Kutter Норма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
47a	221	M.W.H. 1897	4	72,5	труба, осадков нет См. № 43 и 45.	57,98	3,415	0,483	0,0109	0,0123
	222		3			64,32	3,788	0,583	0,0108	0,0122
	223		2			66,85	3,937	0,602	0,0106	0,0122
	224		35		Pioneer Electric Power Co Ogden Utah Непр. труба. Нов. вертикал. и горизонт. изгиба под угл. 10° (R—573 ср.)	15,3	0,534	0,040	0,0204	—
	225		47			15,6	0,544	0,025	0,0160	—
	226		41			19,1	0,666	0,055	0,0199	—
	227		30			23,4	0,816	0,020	0,0100	—
	228		48			34,9	1,217	0,095	0,0151	0,0137
	229		36			35,2	1,226	0,100	0,053	0,0136
	230		37			85,6	1,242	0,095	0,048	0,0136
	231		42			38,2	1,332	0,106	0,045	0,0136
	232		31			42,5	1,482	0,111	0,0135	0,0136
	233		49			53,8	1,876	0,181	0,0138	0,0134
	234		43			56,7	1,978	0,211	0,0141	0,0133
	235		32			61,3	2,138	0,211	0,0132	0,0133
	236		38			68,6	2,218	0,235	0,0135	0,0132
	237		50			72,7	2,536	0,300	0,0134	0,0130
48a	238	M.W.H. 1899	33	Y N L I Q 67 K M 63 P 39 R U T S	Pioneer Electric Power Co, Ogden Utah длинный участок той же трубы, что и под № 47. Два года между опытами	77,1	2,669	0,331	0,0133	0,0130
	239		39			79,8	2,788	0,361	0,0134	0,0129
	240		51			90,3	3,149	0,452	0,0132	0,0128
	241		34			19,0	3,453	0,517	0,0129	0,0127
	242		40			102,3	3,568	0,566	0,0132	0,0128
	243		46			103,7	3,617	0,501	0,0123	0,0125
	244		45			104,0	3,627	0,547	0,0127	0,0125
	245		44			104,5	3,645	0,576	0,0130	0,0125
	246		48			33,68	1,175	0,066	0,0130	0,0137
	247		47			36,66	1,244	0,074	0,0130	0,0136
	248		48			60,94	2,126	0,206	0,0130	0,0133
	249		41			61,41	2,144	0,213	0,0132	0,0132
	250		40			83,72	2,920	0,378	0,0131	0,0129
	251		67			85,63	2,987	0,396	0,0131	0,0129
	252		K			92,85	3,239	0,474	0,0132	0,0127
49a	253	E.C. 1884	M	1.	Moon Island Conduit	95,28	3,324	0,498	0,0132	0,0127
	254		63			99,60	3,474	0,542	0,0132	0,0127
	255		P			101,10	3,527	0,557	0,0132	0,0126
	256		39			107,51	3,750	0,644	0,0133	0,0125
	257		R			127,26	4,439	0,889	0,0132	0,0123
	258		U			134,57	4,694	0,959	0,0131	0,0122
	259		T			138,89	4,845	1,027	0,0131	0,0121
	260		S			151,34	6,279	1,242	0,0132	0,0121
	261		1.			—	4,8	0,843	0,0120	0,0122

трения

Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей

C	Williams-Hazen	Скорости по формулам для напора H ф/сек.					Столб. 8 сравниваем. со столб. 14—18 в %				
		Scobey	Williams-Hazen	Moritz	Tutton	Weisbach	Scobey	Wil.-Haz. $C_w = 120$	Moritz	Tutton	Weisbach
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
144,1	139,3	2,33	2,94	3,36	3,04	3,26	+ 16,6	+ 16,1	+ 1,5	+ 12,4	+ 4,8
145,4	139,6	2,25	3,26	3,74	3,34	3,59	+ 16,5	+ 16,2	+ 1,3	+ 13,3	+ 5,4
148,7	142,6	3,31	3,31	3,80	3,40	3,65	+ 19,0	+ 18,7	+ 3,5	+ 15,9	+ 7,7
89	74,0	0,872	0,867	1,02	0,969	1,11	- 38,7	- 38,4	- 47,4	- 44,8	- 51,8
88	97,0	0,87	0,672	0,784	0,783	0,884	- 18,8	- 19,2	- 30,6	- 28,6	- 38,4
73	77,6	1,04	1,03	1,21	1,14	1,31	- 36,0	- 35,3	- 40,5	- 41,6	- 48,2
148	164,2	0,80	0,596	0,693	0,681	0,794	+ 36,0	+ 36,7	+ 17,8	+ 19,8	+ 2,8
101	105,6	1,41	1,38	1,64	1,51	1,73	- 13,6	- 12,0	- 25,9	- 19,2	- 29,6
100	103,2	1,43	1,42	1,69	1,55	1,77	- 15,3	- 13,6	- 27,3	- 20,5	- 30,6
104	107,9	1,41	1,38	1,64	1,51	1,73	- 11,9	- 10,1	- 24,3	- 17,6	- 28,3
106	109,1	1,49	1,46	1,74	1,59	1,83	- 10,6	- 9,1	- 23,6	- 16,2	- 27,2
115	118,3	1,53	1,50	1,79	1,63	1,87	- 3,1	- 1,4	- 17,1	- 9,0	- 20,8
114	115,2	2,01	1,95	2,35	2,09	2,40	- 6,7	- 4,3	- 20,0	- 10,3	- 21,6
111	111,8	2,19	2,12	2,55	2,26	2,59	- 9,6	- 6,8	- 22,5	- 12,4	- 23,6
120	122,3	2,19	2,12	2,65	2,26	2,59	- 2,4	+ 1,7	- 16,2	- 5,4	- 17,6
117	118,2	2,32	2,25	2,71	2,39	2,73	- 4,5	- 1,5	- 18,2	- 7,1	- 18,8
119	118,4	2,67	2,57	3,12	2,71	3,10	- 4,9	- 1,3	- 18,7	- 6,4	- 18,2
120	119,2	2,82	2,70	3,29	2,85	3,26	- 4,6	- 0,6	- 18,3	- 5,6	- 17,5
119	117,8	2,96	2,83	3,46	2,97	3,40	- 6,9	- 1,7	- 19,6	- 6,3	- 18,2
121	117,9	3,36	3,20	3,91	3,33	3,81	- 6,2	- 1,6	- 19,4	- 5,4	- 17,3
124	120,2	3,62	3,44	4,22	3,57	4,18	- 4,6	+ 0,2	- 18,2	- 3,3	- 17,4
122	118,8	3,80	3,60	4,44	3,74	4,27	- 6,1	- 1,0	- 19,6	- 4,6	- 16,4
131	127,8	3,56	3,40	4,17	3,53	4,03	+ 1,6	+ 6,1	- 18,2	+ 2,4	- 17,2
126	122,8	3,72	3,55	4,35	3,68	4,20	- 2,4	+ 2,2	- 16,6	- 1,4	- 13,6
133	120,3	3,84	3,64	4,48	3,77	4,30	- 5,0	- 0,2	- 18,6	- 3,3	- 15,2
117,3	124,0	1,15	1,14	1,33	1,25	1,43	+ 2,1	+ 3,2	- 11,6	- 5,9	- 17,7
117,7	124,6	1,23	1,20	1,42	1,32	1,52	+ 1,1	+ 3,7	- 12,4	- 5,7	- 18,0
120,7	121,8	2,17	2,10	2,52	2,93	2,56	- 2,0	+ 1,3	- 15,6	- 4,6	- 16,9
119,5	120,8	2,21	2,13	2,57	2,97	2,60	- 2,9	+ 0,7	- 16,4	- 5,4	- 17,4
122,2	120,7	3,04	2,91	3,54	3,05	3,48	- 3,9	+ 0,6	- 17,4	- 4,2	- 16,1
122,2	120,2	3,12	2,98	3,64	3,12	3,56	- 4,2	+ 0,2	- 17,8	- 4,2	- 16,2
121,1	118,3	3,45	3,29	4,02	3,42	3,91	- 6,1	- 1,4	- 19,4	- 5,2	- 17,2
121,2	118,4	3,54	3,37	4,13	3,50	4,00	- 6,1	- 1,3	- 19,4	- 4,9	- 16,8
121,4	118,3	3,72	3,53	4,39	3,66	4,18	- 6,6	- 1,4	- 19,7	- 5,1	- 16,8
121,7	118,4	3,78	3,57	4,39	3,71	4,24	- 6,6	- 1,3	- 19,6	- 5,0	- 16,3
120,2	118,4	4,08	3,87	4,77	3,99	4,56	- 8,0	- 3,0	- 2,4	- 6,0	- 17,7
121,2	118,0	4,87	4,60	5,70	4,70	5,37	- 8,7	- 3,2	- 22,4	- 5,5	- 17,3
123,3	118,0	5,09	4,76	6,91	4,86	5,55	- 7,8	- 1,7	- 20,5	- 3,4	- 16,4
123,0	117,0	5,28	4,97	6,19	5,06	5,78	- 8,3	- 2,4	- 21,8	- 4,3	- 16,2
121,9	114,9	5,88	5,51	6,87	5,56	6,36	- 10,2	- 4,2	- 23,2	- 5,2	- 17,0
135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	- 15,0	—

Труба №	Порядковый №	Фамилия экспери- мент. и год	Наблюдения	Диаметр дюйм	Название и описание трубы	Расход ф/сек.	Скорость ф/сек.	Потеря напора на 1000 H	Коэффициент	
									Kutter По набл.	Kutter Норма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	262	S — 16 1915	1	78,00	Mohawk Hydro- Electric Co N. Y. Непрерывн. основ- ная труба. Легкие изгибы в вер. и гор. напр. Вода из резервуара в. ро- ятно свобод. от осадка для силовой установки	30,2	0,911	0,058	0,0165	0,0198
	263		2			31,95	0,963	0,069	0,0170	0,0188
	264		3			50,00	1,506	0,115	0,0144	0,0136
	265		4			68,5	2,063	0,194	0,0189	0,0134
	266		5			72,4	2,18	0,215	0,0136	0,0134
	267		6			77,3	2,33	0,244	0,0132	0,0131
	268		7			79,6	2,40	0,243	0,0132	0,0131
	269		8			81,1	2,443	0,269	0,0143	0,0131
	270		9			85,9	2,59	0,287	0,0134	0,0131
51	272	S — 3 1914	8	144,00	Salmon River Po- wer Co N. Y. Непрерывн. т уба. Легкие гориз. и верт. изгибы. Вода из резер уара. Ве- роятно свободна от осадк. Ли ия для силовой уста- новки	672	5,94	0,514	0,0118	0,0124
	273		10			693	6,13	0,643	0,0128	0,0124
	274		9			700	6,19	0,615	0,0124	0,0123
	275		1			714	6,31	0,694	0,0129	0,0123
	276		6			728	6,44	0,724	0,0130	0,0123
	277		5			737	6,52	0,716	0,0127	0,0123
	278		2			757	6,69	0,770	0,0128	0,0123
	279		3			775	6,85	0,749	0,0124	0,0123
	280		7			930	8,22	1,061	0,0123	0,0121
	281		4			930	8,22	1,092	0,0125	0,0121
52	282	S — 14 1914	8	162,00	Northwestern Electric Co Wash. Непр. труба. Легк. гор. изгиб. Верт.	501	3,50	0,148	0,0115	0,0133
	283		1			560	3,92	0,155	0,0111	0,0130
	284		2			578	4,05	0,197	0,0116	0,0129
	285		5			676	4,73	0,256	0,0113	0,0128
	286		4			871	6,09	0,452	0,0116	0,0124
					Сумма плюсов.	—	—	—	—	—
					Сумма минусов	—	—	—	—	—
					Разн. плюс	—	—	—	—	—
					Разн. минус	—	—	—	—	—
					Число их	—	—	—	—	—
					Средн. в %%	—	—	—	—	—

грения		Сравнение по разным формулам наблюдаемых и вычисленных скоростей									
Шези C	Williams-Hazen C _H	Скорости по формулам для напора H ф/сек					Столб. 8 сравниваем. со столб. 14—18 в %				
		Scobey	Williams-Hazen	Moritz	Tutton	Weisbach	Scobey	Wil.-Haz. C _H = 120	Moritz	Tutton	Weisbach
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
94,9	98,8	1,12	1,11	1,32	1,23	1,47	— 18,7	— 17,7	— 31,0	— 25,8	— 38,0
90,9	95,6	1,24	1,25	1,45	1,34	1,62	— 22,0	— 20,4	— 33,6	— 28,2	— 40,6
110,1	113,2	1,64	1,60	1,93	1,74	2,09	— 8,2	— 5,6	— 22,0	— 13,5	— 27,9
116,1	116,4	2,20	2,12	2,57	2,28	2,74	— 6,2	— 3,1	— 19,8	— 9,6	— 24,8
116,6	117,1	2,32	2,23	2,72	2,39	2,87	— 6,1	— 2,4	— 19,8	— 8,8	— 24,0
117,0	117,0	2,50	2,39	2,91	2,55	3,06	— 6,7	— 2,4	— 19,8	— 8,6	— 23,9
120,1	120,2	2,49	2,39	2,91	2,55	3,06	— 3,6	+ 0,2	— 17,5	— 5,9	— 21,5
118,8	111,7	2,73	2,62	3,20	2,79	3,34	— 10,5	— 6,9	— 23,7	— 12,4	— 26,8
119,8	118,9	2,72	2,61	3,20	2,78	3,34	— 4,8	— 0,9	— 19,1	— 7,0	— 22,6
151,2	134,7	5,62	5,29	6,77	5,60	—	+ 5,7	+ 12,1	+ 19,2	— 0,6	—
139,5	123,1	6,36	5,97	7,66	6,27	—	— 3,6	+ 2,6	— 20,0	— 2,2	—
144,0	127,4	6,20	5,83	7,48	6,14	—	— 0,1	+ 5,9	— 17,2	+ 0,8	—
138,8	121,7	6,64	6,22	8,00	6,52	—	— 4,8	+ 1,3	— 21,0	— 3,5	—
138,1	121,4	6,79	6,36	8,18	6,66	—	— 5,2	+ 1,0	— 21,3	— 3,6	—
140,6	123,6	6,90	6,33	8,13	6,63	—	— 5,5	+ 2,9	— 19,8	— 1,6	—
139,2	122,0	7,02	6,59	8,47	6,83	—	— 4,6	+ 1,6	— 20,9	— 2,7	—
144,5	136,6	6,91	6,49	8,35	6,79	—	— 0,8	+ 5,4	— 17,9	+ 0,8	—
145,7	126,0	8,40	7,83	10,12	8,10	—	— 2,1	+ 5,0	— 18,7	+ 1,4	—
143,7	124,2	8,52	7,95	10,28	8,27	—	— 3,4	+ 3,5	— 20,0	+ 0,1	—
157,1	144,9	3,04	2,90	3,71	3,19	—	+ 15,2	+ 20,8	— 5,6	+ 9,8	—
171,6	158,2	3,12	2,98	3,81	3,28	—	+ 25,6	+ 31,9	+ 2,8	+ 19,6	—
156,9	143,1	3,57	3,40	4,36	3,71	—	+ 13,3	+ 19,2	— 7,2	+ 9,0	—
161,1	145,3	4,12	3,91	5,04	4,24	—	+ 14,7	+ 21,1	— 6,1	+ 11,7	—
156,0	137,6	5,64	5,32	6,92	5,66	—	+ 8,0	+ 14,7	— 11,8	+ 7,6	—
—	—	—	—	—	—	—	1151,9	1436,6	356,5	1617,9	521,5
—	—	—	—	—	—	—	1237,9	823,2	2745,5	958,6	2110,5
—	—	—	—	—	—	—	—	613,2	—	659,3	—
—	—	—	—	—	—	—	86,0	—	2389,0	—	1589
—	—	—	—	—	—	—	254	254	251	270	239
—	—	—	—	—	—	—	— 0,33	+ 24,1	— 9,40	+ 2,44	— 6,65

Результаты опытов над всеми трубами. Величины, примененные
 личины m ; частные формулы для труб и сравнение

№ трубы	№ наблюдения	Экспериментатор	Возраст трубы (лет)	Внутр. диаметр в дюйм.	Внутр. диаметр в фут.	Длина испытат. участка в фут.	Площадь отверстия в кв. фут.	Скорости
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1a	1-5	Ham. Smith	—	1,26	0,11	62,1	0,009	1,653—3,988
2a	6-10	E. A. Moritz	3	4,00	0,33	603,0	0,087	0,425—1,678
3a	11-12	"	3	4,00	0,33	1109,5	0,087	3,586—4,400
4a	13-20	"	2	5,00	0,42	1822,0	0,136	0,419—2,301
5a	21-25	"	0,5	6,00	0,50	500,4	0,196	0,499—1,704
6a	26-31	"	0,3	6,00	0,50	1801,0	0,196	0,403—1,281
7a	32-38	"	0,3	6,00	0,50	1892,0	0,196	1,526—2,327
8a	34	"	0,3	6,00	0,50	2021,0	0,196	3,000
9a	35-43	"	0,5	8,00	0,67	3394,5	0,349	1,049—4,407
10a	44-45	"	5	8,00	0,67	2002,0	0,349	1,241—2,241
11a	46-53	"	1,5	8,00	0,67	3519,2	0,349	1,648—5,874
12a	54-57	"	1,5	8,00	0,67	4054,9	0,349	0,453—1,212
13	58-65	F. C. Scobey	7	8,00	0,67	1503,0	0,349	0,816—3,558
14	66-70	"	7	10,00	0,83	1242,4	0,545	3,63—5,08
15a	71-74	J. L. Campbell	0,3	10,12	0,84	1270,0	0,354	9,70—11,7
16a	75-81	E. A. Moritz	0,3	12,00	1,00	2022,0	0,785	0,459—1,803
17a	82-89	"	4	14,00	1,17	3637,0	1,069	0,495—3,267
18a	90-97	"	5	14,00	1,17	3637,0	1,069	0,572—2,64
19	98-100	F. C. Scobey	5	14,00	1,17	1257,7	1,069	6,22—6,24
20a	101-107	A. L. Adams	—	14,00	1,17	Разн.	1,08	0,691—1,531
21a	108-111	J. L. Campbell	0,3	16,12	1,34	4780,0	1,396	3,791—4,37
22a	112-119	Darcy и Bazen	—	—	—	145,7	1,540	1,230—5,307
23a	120-121	A. L. Adams	1	18,00	1,50	Hen.	1,767	3,605
24a	122-124	E. A. Moritz	2	18,00	1,50	2802,5	1,767	2,194—3,418
25a	125-129	"	2	18,00	1,50	2774,2	1,767	0,542—1,398
26	130-131	F. C. Scobey	0,5	18,00	1,50	1787,5	1,767	1,12—1,97
27	132-133	"	1	18,00	1,50	1479,1	1,767	2,077—2,277
28a	134-140	E. A. Moritz	4	22,00	1,83	2087,0	2,640	0,687—3,128

для нахождения общего показателя при v в формуле Scobey'я; между наблюдаемыми и вычисленными скоростями.

Величины для определ. общего показателя при v						Проверочный отрезок m	Частные формулы для труб перед проверк. величины коэффициента $m - m'$	Сравнение труб в % в столб. 19 — 23 табл. 35				
Число наблюдений	Распредел. наблюдений	Род наблюдений	Скорости	Последн. значение показателя	Значен. отрезков (для скор. = 1)			Scobey	Williams-Hazen ($C_w = 120$)	Mortiz	Tutton	Weisbach
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
5	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—
5	7,5	11,9	2,8	1,000	3	2,006	$H = 1,99v^{1,723}$	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	1	1,715	—	—12,3	—11,0	—12,7	—0,03	—11,7
8	8,9	11,9	3,8	1,000	3	1,271	$H = 1,27v^{1,895}$	—4,9	—3,7	—6,2	—14,0	—5,9
5	6,8	11,0	2,4	0,898	3	0,869	$H = 0,869v^{1,808}$	+4,5	+5,4	+2,2	+11,4	+1,9
6	6,6	10,6	1,8	0,755	3	0,882	$H = 0,908v^{1,877}$	+3,8	+3,6	+1,3	+7,5	—
2	—	—	—	—	1	0,929	—	+1,0	+2,2	—1,5	+13,1	+0,7
1	—	—	—	—	—	—	—	+0,3	+3,3	—2,8	+16,1	+1,1
9	7,1	12,8	6,8	1,000	2	0,794	$H = 0,745v^{1,847}$	—7,5	—4,5	—11,1	+4,2	—8,1
2	—	—	—	—	2	0,759	—	—6,3	—4,7	—10,0	+2,8	—8,0
8	5,4	11,1	8,4	1,000	2	0,488	$H = 0,528v^{1,724}$	+19,5	+23,8	+14,8	+36,2	+20,2
4	6,5	8,1	1,4	294	2	0,614	$H = 0,576v^{1,580}$	+5,2	+5,3	+1,3	+7,2	+2,2
8	10,4	19,2	6,6	1,000	3	0,782	$H = 0,800v^{1,766}$	—7,8	—5,5	—11,2	+1,4	—8,1
4	0,7	3,6	9,0	30	3	0,612	$H = 0,555v^{1,875}$	—9,7	—5,1	—14,4	+6,0	—5,6
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	7,3	12,0	2,8	1,000	3	0,560	$H = 0,556v^{1,738}$	—14,6	—13,7	—19,7	—12,1	—16,5
8	9,9	16,1	5,4	1,000	3	0,334	$H = 0,341v^{1,730}$	—	—	—	—	—
7	8,0	14,0	4,4	1,000	3	0,305	$H = 0,296v^{1,870}$	+5,6	+7,4	—1,3	+9,1	+2,3
2	—	—	—	—	2	0,337	—	—3,8	+1,9	—10,4	+13,0	+1,6
7	—	—	—	—	3	0,300	—	+8,7	+9,5	+1,9	+8,8	+3,6
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	$H = 0,348v^{1,933}$	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	1	0,194	—	+17,3	+22,3	+8,5	+27,6	+15,2
3	—	—	—	—	3	0,210	—	—	—	—	—	—
5	4,6	8,2	1,8	340	3	0,218	$H = 0,215v^{1,703}$	+10,8	+12,9	+2,4	+12,4	+5,4
2	—	—	—	—	2	0,196	—	+18,0	+20,0	+9,0	+19,2	+12,2
2	—	—	—	—	2	0,290	—	—6,0	—2,7	—12,9	—0,4	—6,6
7	9,7	16,1	4,8	1,000	2	0,197	$H = 0,181v^{1,176}$	+3,0	+5,5	—5,6	+5,8	—0,7

№ трубы	№ наблюдения	Экспериментатор	Возраст трубы (лет)	Внутр. диаметр в дюйм.	Внутр. диаметр в фут.	Длина испытат. участка в фут.	Площадь оверсия в кв. фут.	Скорости
1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	141—144	F. C. Scobey . . .	7	24,00	2,01	1357,7	3,15	0,854—1,13
30	145—146	"	24	22,80	1,90	1077,5	2,831	0,918—0,926
31	147—148	"	24	24,00	2,00	2240,7	3,142	3,142—3,153
32a	149	D. C. Henny . . .	3	24,00	2,00	18369,0	3,142	1,147
33a	150—157	Darsy и Bazin . .	—	—	—	230,6	4,3	1,666—6,873
34a	158	J. D. Schuyler . .	—	30	2,50	—	—	—
35a	159—165	I. S. Moore . . .	—	31	2,58	7540,0	5,241	0,582—4,068
36a	166—172	"	—	31	2,58	4513,5	5,241	2,211—4,589
37	173—174	F. C. Scobey . . .	4	36,00	3,00	2516,0	7,069	1,653—1,957
38	175—176	"	4	36,00	3,00	538,1	7,069	2,164—2,265
39	177	"	1	38,13	3,18	5965,9	7,922	1,271
40	—	"	1,5	40,00	3,33	927,4	8,727	2,066—2,126
41a	181—191	T. A. Noble . . .	1	44,5	3,71	4041,0	10,81	3,464—4,831
42a	192—196	F. C. Scobey . . .	5	48,00	4,00	887,4	12,57	3,14 —4,84
43a	197—199	J. S. Moore . . .	2	48,75	4,06	1341,0	12,96	2,315—3,565
44a	200—210	T. A. Noble . . .	1	54,19	4,52	2446,7	16,05	2,276—4,688
45a	211—215	E. A. Moritz . . .	5	55,75	4,63	2848,2	16,98	1,814—3,145
46a	216—224	"	1,5	55,75	4,65	2848,2	16,98	1,246—3,937
47a	225—246	Marx, Wing, Hoskins	1	72,5	6,04	2710,0	28,6	0,534—3,645
48a	247—261	"	3	72,5	6,04	22672,0	28,6	1,175—5,279
49a	262	E. C. Olarke . . .	—	—	—	2486,5	36	4,8
50	263—271	F. C. Scobey . . .	5	78,00	6,5	2650,0	33,18	0,911—2,59
51	272—281	"	1	144,00	12,0	1169,3	113,1	5,94 —8,22
52	282—286	"	1	162,00	13,5	2378,9	142,9	3,50 —6,10
Сумма плюсов . .			—	—	—	—	—	—
Сумма минусов . .			—	—	—	—	—	—
Разность (netto) плюсов			—	—	—	—	—	—
Разность (netto) минусов			—	—	—	—	—	—
Число их			—	—	—	—	—	—
Среднее в %			—	—	—	—	—	—

Величины для определ. общего показателя при v					Значен. отрезков (для скор. = 1)	Проверочный отрезок з. к. m'	Частные формулы для труб перед проверк. величины коэффициента $m - m'$	Сравнение труб в % в столб. 19 — 23 табл. 35				
Число наблюд. д. труб	Распредел. наблюдения	Род наблюд.	Скорости	После н. значе- ние показателя				Scobey	Williams-Hazen ($C_w = 120$)	Moritz	Tutton	Weisbath
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
2	—	—	—	—	2	0,207	—	— 5,5	— 4,4	— 13,9	— 7,6	— 14,8
2	—	—	—	—	2	0,168	—	+ 7,4	+ 10,1	—	+ 5,8	— 1,5
2	—	—	—	—	2	0,177	—	+ 2,8	+ 7,0	— 6,5	+ 10,0	— 0,6
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	$H = 0,176v^{1,064}$	—	—	—	—	—
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	8,0	16,5	6,8	1000	3	0,158	$H = 0,158v^{1,70}$	— 6,1	— 4,7	— 16,0	+ 7,7	— 14,2
7	3,3	6,8	4,8	700	3	0,167	$H = 0,230v^{1,53}$	— 9,9	— 5,9	— 19,2	— 3,9	— 11,2
2	—	—	—	—	2	0,158	—	— 15,3	— 12,6	— 24,6	— 14,2	— 13,7
2	—	—	—	—	2	0,151	—	— 13,5	— 9,5	— 23,0	— 10,9	— 16,8
1	—	—	—	—	1	0,092	—	+ 9,7	+ 11,2	— 2,7	+ 5,3	+ 1,2
2	—	—	—	—	2	0,097	—	+ 3,0	+ 6,4	— 8,5	+ 3,5	— 2,7
8	1,6	2,8	3,0	125	3	0,112	$H = 0,129v^{1,70}$	— 11,2	— 6,4	— 21,1	— 5,6	— 14,3
4	2,1	4,6	3,4	150	3	0,065	$H = 0,032v^{2,31}$	+ 14,8	+ 20,2	+ 1,0	+ 19,0	+ 2,0
3	—	—	—	—	2	0,058	—	+ 19,6	+ 24,5	+ 5,5	+ 20,5	+ 8,1
11	3,8	6,2	5,0	1000	3	0,074	$H = 0,081v^{1,919}$	— 2,1	+ 2,5	— 14,3	+ 0,6	— 10,0
5	3,2	4,7	2,6	196	3	0,049	$H = 0,052v^{1,696}$	+ 16,3	+ 16,5	+ 2,8	+ 11,0	+ 3,2
9	6,0	9,8	5,2	1000	3	0,053	$H = 0,0555v^{1,747}$					
17	8,9	16,2	6,2	1000	2	0,060	$H = 0,067v^{1,618}$	— 7,8	— 5,1	— 20,8	— 11,2	— 22,7
15	6,8	14,3	8,2	1000	2	0,56	$H = 0,047v^{1,973}$	— 5,2	— 0,7	— 18,6	— 5,0	— 16,9
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	$H = 0,056v^{1,690}$	— 9,6	— 6,5	— 22,9	— 13,3	— 27,8
8	1,7	3,6	4,5	220	2	0,024	$H = 0,020v^{1,391}$	— 2,4	+ 4,3	— 18,9	— 1,0	—
5	3,4	5,5	5,1	477	2	0,016	$H = 0,010v^{2,143}$	+ 15,4	+ 21,5	— 5,6	+ 11,5	—
—	—	—	—	—	—	—	—	188,4	247,3	56,7	293,4	80,9
—	—	—	—	—	—	—	—	161,8	106,7	356,4	92,8	243,9
—	—	—	—	—	—	—	—	26,6	140,6	—	200,6	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	305,7	—	163,0
—	—	—	—	—	—	—	—	40	40	40	40	38
—	—	—	—	—	—	—	—	+ 0,66	+ 3,51	— 7,64	+ 5,2	— 4,29

Для нашего случая

$$h_e = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,08^2}{9,81} = \frac{1,17}{2 \times 9,81} = 0,06 \text{ м.} \quad h_e = \frac{h_e}{2} = \frac{0,06}{2} = 0,03.$$

Тогда допустимая потеря по длине дюкера составит:

$$H = \frac{0,55 - (0,06 + 0,03)}{850} = \frac{0,46}{850} = 0,00054 \text{ м.}$$

Находим опять точку пересечения линий $Q = 1,7$ и $i = 0,0054$ и по ней $D \cong 1500$ мм и скорость $v = 0,98$ м/сек.

Пример 2.

Задание: трубопровод из резервуара до уравнительного бассейна подводит воду, расход которой 20 м³/сек. Протяжение трубопровода 18000 м. Общая потеря напора при наибольшей нагрузке не должна превышать 6 м, и величина напора должна быть достаточна для коэффициента запаса 15%. Таким образом расчетный расход

$$Q = 1,15 \times 20 = 23 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Потеря напора

$$i = \frac{6}{18000} = 0,00033.$$

Длина трубопровода так велика, что потерей на вход и на скорость можно пренебречь.

На графике находим пересечение линий $Q = 23$ м³/сек. и потери напора $i = 0,00033$ и по ней диаметр $D = 4500$ мм и скорость $v = 1,5$ м/сек.

Для выяснения возможности замены одной трубы двумя, обращаемся к графику относительной пропускной способности труб.¹

На этом графике:

- 1) горизонтальные линии — диаметры труб в мм,
- 2) вертикальные линии — относительная пропускная способность.

Найдем размер трубы с пропускной способностью равной $1/2$ по сравнению с нашей трубой. На левой крайней вертикальной линии, выражающей пропускную способность, равную единице, т. е. полную, найдем точку диаметра трубы $D = 4500$ мм, от нее идем по наклонной линии вверх до пересечения с вертикальной линией, выражающей пропускную способность, равную $1/2$. Пересекающая эту точку горизонтальная линия дает диаметр трубы, равный приблизительно 3400 мм. Таким образом двойная линия труб диаметром каждая 3400 мм переместит нужное количество воды с такими же самыми потерями, как одна труба диаметром 4500 мм. Если бы нужно было заменить одну трубу тремя, пришлось бы подняться по наклонной линии до вертикальной, выражающей пропускную способность, равную $1/3$, и по этой точке найти соответствующий диаметр. В нашем случае, в случае замены одной трубы тремя, диаметр каждой из них получится, равным около 3000 мм.

При обратном случае замены одной трубой большого диаметра нескольких труб малого нужно идти по линиям, идущим вниз, и пользоваться надписями на нижней горизонтальной линии.

Далее приводим таблицы, где по формуле Scobey $i = 0,000885 \frac{v^{1,8}}{D^{4,17}}$

вычислены скорости в м/сек и гидравлический уклон, необходимый для перемещения данного количества воды Q в м³/сек по деревянным клепочным трубам диаметром от 100 до 4200 мм.

¹ В конце книги.

ТАБЛИЦА 37.

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	100		125		150		175	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
5,66	0,70	0,0067	0,45	0,00233	0,30	0,00098	0,23	0,0004
11,32	1,40	0,0234	0,90	0,00810	0,60	0,00340	0,46	0,00163
16,98	2,10	0,0487	1,34	0,0168	0,90	0,00705	0,70	0,00338
22,64	2,80	0,0817	1,79	0,0282	1,20	0,01180	0,91	0,00567
28,30	3,48	0,121	2,25	0,0406	1,55	0,01770	1,22	0,00847
33,96	4,18	0,169	2,68	0,0585	1,86	0,02460	1,37	0,01170
39,62	4,88	0,224	3,14	0,0771	2,20	0,03240	1,60	0,01550
45,28	5,58	0,285	3,57	0,110	2,49	0,04130	1,83	0,01970
50,94	6,28	0,532	4,03	0,121	2,80	0,0510	2,05	0,02440
56,60	—	—	4,49	0,147	3,66	0,0616	2,28	0,02950
60,75	—	—	3,58	0,219	3,87	0,0921	2,85	0,0441
84,90	—	—	6,70	0,304	46,7	0,1280	3,42	0,06120
99,05	—	—	—	—	5,45	0,1690	4,00	0,0808
113,20	—	—	—	—	6,22	0,2150	4,58	0,1030
127,35	—	—	—	—	—	—	5,12	0,1270
141,50	—	—	—	—	—	—	5,70	0,1550
155,65	—	—	—	—	—	—	6,28	0,1820

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	200		225		250		300	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
5,66	0,18	0,00025	—	—	—	—	—	—
11,32	0,35	0,00086	0,27	0,00049	0,22	0,00029	—	—
16,98	0,52	0,00179	0,41	0,00102	0,33	0,00050	—	—
22,64	0,70	0,0030	0,57	0,00171	0,45	0,00102	—	—
28,30	0,87	0,0042	0,69	0,00256	0,56	0,00152	0,39	0,00065
33,96	1,05	0,00622	0,83	0,00356	0,67	0,00210	0,47	0,00090
39,62	1,22	0,00821	0,97	0,00468	0,74	0,00278	0,54	0,00119
45,28	1,40	0,0104	1,10	0,00595	0,89	0,00354	0,61	0,00151
50,94	1,57	0,0129	1,24	0,00735	1,00	0,00437	0,70	0,00187
56,60	1,74	0,0156	1,69	0,00889	1,12	0,00528	0,78	0,00226
60,75	2,18	0,0203	1,73	0,0136	1,40	0,00759	0,97	0,00387
84,90	2,46	0,0324	2,07	0,0189	1,68	0,0110	1,16	0,00467
99,05	3,05	0,0427	2,14	0,0252	1,96	0,0145	1,36	0,00617
113,20	3,51	0,0537	2,74	0,0319	2,24	0,0186	1,53	0,00786
127,35	3,93	0,0671	3,11	0,0394	2,52	0,0227	1,74	0,00969
141,50	4,36	0,0812	3,45	0,0477	2,80	0,0275	1,94	0,01170
155,65	4,81	0,0904	3,78	0,0566	3,08	0,0326	2,13	0,0139
169,80	5,21	0,113	4,15	0,0654	3,35	0,0382	2,33	0,0163
183,9	5,67	0,130	4,48	0,0756	3,63	0,0441	2,52	0,0188
198,1	6,13	0,149	4,82	0,0873	3,90	0,0503	2,72	0,0315
212,25	—	—	—	—	—	—	2,90	0,0244

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	200		225		250		300	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
226,40	—	—	—	—	—	—	3,11	0,0273
232,61	—	—	—	—	—	—	3,29	0,0305
254,70	—	—	—	—	—	—	3,51	0,0337
268,85	—	—	—	—	—	—	3,69	0,0392
283,0	—	—	—	—	—	—	3,87	0,0408
311,30	—	—	—	—	—	—	4,27	0,0485
339,60	—	—	—	—	—	—	4,67	0,0568
367,9	—	—	—	—	—	—	5,05	0,0656
396,20	—	—	—	—	—	—	5,43	0,0748
424,50	—	—	—	—	—	—	5,82	0,0847
452,80	—	—	—	—	—	—	6,22	0,0952

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	350		400		450		500	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
28,30	0,286	0,00031	0,220	0,00016	0,174	0,00009	—	—
33,95	0,342	0,00043	0,262	0,00023	0,208	0,00013	0,168	0,00008
39,62	0,400	0,00057	0,305	0,00030	0,241	0,00017	0,195	0,0001
46,28	0,457	0,00072	0,343	0,00038	0,278	0,00022	0,222	0,00013
50,94	0,515	0,00090	0,394	0,00047	0,305	0,00027	0,254	0,00016
56,60	0,57	0,00108	0,436	0,00057	0,340	0,00033	0,282	0,0002
70,75	0,714	0,00162	0,546	0,00085	0,433	0,00049	0,352	0,00029
84,90	0,857	0,00224	0,655	0,00119	0,518	0,00068	0,418	0,00041
99,05	1,00	0,00296	0,766	0,00157	0,604	0,00089	0,488	0,00054
113,20	1,14	0,00376	0,875	0,00199	0,68	0,00114	0,558	0,00069
127,35	1,27	0,00465	0,982	0,00246	0,778	0,00140	0,628	0,00085
141,50	1,43	0,00563	1,09	0,00298	0,864	0,00170	0,698	0,00103
155,65	1,57	0,00667	1,21	0,00349	0,95	0,00202	0,768	0,00122
169,80	1,71	0,00780	1,31	0,00413	1,04	0,00232	0,840	0,00142
183,90	1,86	0,00902	1,42	0,00477	1,12	0,00272	0,910	0,00165
198,10	2,00	0,01030	1,53	0,00545	1,21	0,00311	0,98	0,00188
212,25	2,14	0,01170	1,64	0,00616	1,30	0,00352	1,05	0,00213
226,40	2,28	0,01310	1,75	0,00694	1,38	0,00396	1,12	0,00239
239,65	2,42	0,01460	1,86	0,00773	1,47	0,00441	1,19	0,00267
254,70	2,56	0,01640	1,97	0,00840	1,56	0,00489	1,26	0,00296
268,85	2,71	0,01790	2,08	0,00945	1,65	0,00539	1,33	0,00327
283,00	2,85	0,01960	2,18	0,0104	1,73	0,00591	1,40	0,00359
311,30	3,14	0,02320	2,41	0,0123	1,90	0,00701	1,54	0,00428
339,60	3,42	0,02730	2,62	0,0144	2,08	0,00821	1,68	0,00497
367,90	3,72	0,03140	2,84	0,0166	2,27	0,00948	1,82	0,00574
396,20	4,00	0,03590	3,050	0,0190	2,42	0,0108	1,96	0,00655
424,50	4,27	0,04080	3,280	0,0215	2,59	0,0123	2,10	0,00743

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	350		400		450		500	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
452,80	4,57	0,04570	3,510	0,0242	2,72	0,0138	2,24	0,00833
481,10	4,85	0,0510	3,70	0,0270	2,94	0,0154	2,38	0,00930
509,40	5,16	0,0560	3,94	0,0298	3,11	0,0170	2,52	0,0103
537,70	5,44	0,0620	4,15	0,0329	3,28	0,0188	2,66	0,0114
566,00	5,60	0,0681	3,36	0,0361	3,44	0,0206	2,80	0,0124
594,30	5,98	0,0745	3,57	0,0394	3,63	0,0225	2,94	0,0136
622,60	6,30	0,0811	4,81	0,0429	3,78	0,0244	3,08	0,0148
650,90	—	—	5,04	0,0464	3,98	0,0265	3,20	0,0160
679,20	—	—	5,25	0,0501	4,15	0,0285	3,36	0,0173
707,50	—	—	5,46	0,0540	4,30	0,0309	3,52	0,0186
741,80	—	—	5,67	0,0579	4,48	0,0330	3,63	0,0199
764,10	—	—	5,80	0,0619	4,66	0,0353	3,78	0,0213
792,40	—	—	6,11	0,0661	4,82	0,0377	3,94	0,0228

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	550		600		650		700	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
39,62	0,162	0,00007	—	—	—	—	—	—
45,28	0,18	0,00008	—	—	—	—	—	—
50,94	0,208	0,00010	—	—	—	—	—	—
56,60	0,232	0,00012	0,195	0,00008	—	—	—	—
70,75	0,290	0,00016	0,244	0,00012	—	—	—	—
84,90	0,348	0,00026	0,29	0,00017	—	—	—	—
99,05	0,406	0,00034	0,336	0,00029	—	—	—	—
113,20	0,464	0,00044	0,387	0,00029	—	—	—	—
127,35	0,520	0,00054	0,436	0,00036	—	—	—	—
141,50	0,576	0,00065	0,486	0,00043	—	—	—	—
155,65	0,635	0,00078	0,534	0,00051	—	—	—	—
169,80	0,694	0,00097	0,584	0,00060	—	—	—	—
183,90	0,75	0,00107	0,632	0,00069	—	—	—	—
198,10	0,81	0,00119	0,680	0,00079	—	—	—	—
212,25	0,867	0,00135	0,730	0,00089	—	—	—	—
226,40	0,925	0,00152	0,778	0,0010	0,662	0,00068	0,571	0,00018
239,85	0,984	0,00169	0,812	—	—	—	—	—
254,70	1,04	0,00187	0,872	0,00124	0,745	0,00085	0,641	0,00059
268,85	1,098	0,00206	0,922	0,00137	—	—	—	—
283,0	1,156	0,00227	0,972	0,00149	0,796	0,00102	0,715	0,00072
311,30	1,27	0,00268	1,068	0,00178	0,92	0,00121	0,785	0,00095
339,60	1,39	0,00316	1,165	0,00208	1	0,00142	0,857	0,00100
367,90	1,50	0,00363	1,26	0,00241	1,07	0,00164	0,928	0,00015
396,20	1,615	0,00415	1,36	0,00274	1,158	0,00187	0,992	0,00132
424,50	1,71	0,00471	1,55	0,00311	—	—	—	—
452,80	1,85	0,00528	1,55	0,00349	1,323	0,00238	1,140	0,00167

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	550		600		610		700	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
481,10	1,965	0,00574	1,65	0,00390	—	—	—	—
509,40	2,08	0,00654	1,75	0,00431	1,490	0,00294	1,281	0,00270
537,70	2,195	0,00720	1,845	0,00476	—	—	—	—
566,00	2,315	0,00790	1,942	0,00522	1,65	0,00356	1,429	0,00250
594,30	2,42	0,00863	2,18	0,00570	—	—	—	—
622,60	2,54	0,00937	2,135	0,00619	1,82	0,00423	1,570	0,00296
650,90	2,66	0,0102	2,23	0,00671	—	—	—	—
679,60	2,78	0,0110	2,33	0,00725	1,97	0,00494	1,710	0,00347
707,50	2,89	0,0118	2,425	0,00779	—	—	—	—
741,80	3,00	0,0127	2,52	0,00837	2,15	0,00570	1,855	0,00402
764,10	3,112	0,0136	2,62	0,00895	—	—	—	—
792,40	3,24	0,0145	2,72	0,00956	2,31	0,00855	2,000	0,00458
849,0	—	—	—	—	2,48	0,00740	2,140	0,00518
905,60	—	—	—	—	—	0,00830	2,280	0,00582
1018,80	—	—	—	—	—	0,01025	2,565	0,00719
1273,50	—	—	—	—	3,30	0,01240	2,850	0,00872
1273,50	—	—	—	—	3,72	0,0153	3,22	0,0108
1315,00	—	—	—	—	4,15	0,0185	2,57	0,0130
1556,50	—	—	—	—	4,55	0,0220	3,94	0,0155
1698,00	—	—	—	—	4,95	0,0256	4,28	0,0181
1839,50	—	—	—	—	5,37	0,0296	4,64	0,0209
1981,00	—	—	—	—	5,80	0,0339	5,00	0,0238
2122,50	—	—	—	—	6,70	0,0382	5,34	0,0269
2264,00	—	—	—	—	—	—	5,71	0,0302
2405,50	—	—	—	—	—	—	6,08	0,0339
2547,00	—	—	—	—	—	—	6,41	0,0374
2688,50	—	—	—	—	—	—	—	—
2830,00	—	—	—	—	—	—	—	—

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	750		800		850		900	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
226,40	0,497	0,00034	0,436	0,00025	0,388	0,00019	0,34	0,00014
239,65	0,558	0,00043	0,491	0,00031	0,436	0,00023	0,388	0,00018
254,70	0,123	0,00052	0,546	0,00038	0,485	0,00028	0,430	0,00022
268,85	0,684	0,00062	0,600	0,00045	0,534	0,00034	0,476	0,00026
283,0	0,747	0,00072	0,656	0,00053	0,580	0,00039	0,518	0,00030
311,30	0,810	0,00082	0,711	0,00061	0,629	0,00046	0,562	0,00035
339,60	0,869	0,00095	0,765	0,00070	0,677	0,00052	0,605	0,00040
367,90	0,995	0,00120	0,875	0,00089	0,775	0,00067	0,680	0,00050
396,20	1,120	0,00149	0,984	0,00109	0,872	0,00082	0,777	0,00062
424,50	1,241	0,00180	1,093	0,00132	0,966	0,00099	0,865	0,00075
452,80	1,366	0,00214	1,200	0,00157	1,063	0,00118	0,95	0,00090

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	750		800		850		900	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
481,10	1,490	0,00250	1,313	0,00184	1,160	0,00138	1,038	0,00105
509,40	1,615	0,00289	1,421	0,00212	1,252	0,00159	1,121	0,00121
792,40	1,738	0,00330	1,528	0,00242	1,352	0,00182	1,204	0,00138
849,0	1,860	0,00373	1,639	0,00274	1,450	0,00205	1,294	0,00156
905,60	1,983	0,00419	1,750	0,00308	1,550	0,00229	1,380	0,00176
1088,80	2,245	0,00518	1,965	0,00381	1,740	0,00285	1,550	0,00217
1132,00	2,481	0,00628	2,180	0,00461	1,935	0,00345	1,725	0,00262
1273,50	2,800	0,00774	2,455	0,00570	2,178	0,00427	1,940	0,00325
1315,00	3,13	0,00936	2,730	0,0069	2,417	0,00516	2,155	0,00392
1556,50	3,42	0,0111	3,000	0,00815	2,660	0,00611	2,370	0,00466
1698,00	3,72	0,0130	3,264	0,00956	2,900	0,00716	2,587	0,00544
1839,50	4,025	0,0150	3,540	0,0110	3,140	0,00827	2,810	0,00629
1981,00	4,36	0,0171	3,820	0,0126	3,38	0,00944	3,020	0,00719
2122,50	4,67	0,0194	4,080	0,0143	3,63	0,0107	3,24	0,00813
2264,00	4,97	0,0218	4,360	0,016	3,88	0,0120	3,48	0,00913
2405,50	5,28	0,0243	4,63	0,0179	4,12	0,0134	3,68	0,0102
2547,00	5,59	0,0284	4,90	0,0198	4,36	0,0148	3,88	0,0113
2688,50	5,92	0,0297	5,18	0,0218	4,60	0,0164	4,09	0,00125
2830,00	6,23	0,0326	5,46	0,0240	4,85	0,0179	4,33	0,00137

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	950		1 000		1 050		1 100	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
226,40	0,318	0,00011	—	—	—	—	—	—
254,70	0,348	0,00014	—	—	—	—	—	—
283,0	0,388	0,00017	—	—	—	—	—	—
311,30	0,427	0,00020	—	—	—	—	—	—
339,60	0,459	0,00023	—	—	—	—	—	—
367,90	0,504	0,00027	—	—	—	—	—	—
396,20	0,543	0,00031	—	—	—	—	—	—
424,80	0,620	0,00039	—	—	—	—	—	—
509,40	0,700	0,00048	—	—	—	—	—	—
566,00	0,765	0,00058	—	—	—	—	—	—
622,60	0,852	0,00069	—	—	—	—	—	—
679,60	0,932	0,00081	—	—	—	—	—	—
741,80	1,009	0,00093	—	—	—	—	—	—
792,40	1,089	0,00107	—	—	—	—	—	—
849,0	1,167	0,00121	1,05	0,00095	—	0,00075	0,87	0,00060
905,60	1,240	0,00136	—	—	—	—	—	—
1088,80	1,398	0,00167	—	—	—	—	—	—
1132,00	1,552	0,00204	1,400	0,00159	1,270	0,00126	1,158	0,0010
1273,50	1,745	0,00251	1,575	0,00197	1,430	0,00156	1,300	0,00125
1315,00	1,940	0,00304	1,720	0,00226	1,590	0,00188	1,450	0,00150

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	950		1 000		1 050		1 100	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
1556,50	2,133	0,00359	1,924	0,00282	1,745	0,00224	1,590	0,00179
1698,00	2,322	0,00421	2,100	0,00329	1,905	0,00262	1,735	0,00209
1839,50	2,550	0,00487	2,279	0,00380	2,061	0,00301	1,882	0,00242
1981,00	2,678	0,00555	2,450	0,00436	2,222	0,00344	2,023	0,00276
2122,50	2,910	0,00629	2,620	0,00492	2,380	0,00389	2,169	0,00312
2264,00	3,180	0,00707	2,80	0,00553	2,540	0,00437	2,318	0,00351
2405,50	3,300	0,00787	2,975	0,00616	2,700	0,00488	2,460	0,00392
2547,00	3,480	0,00873	—	0,00684	2,800	0,00541	2,600	0,00434
2688,50	3,691	0,00961	—	0,00755	3,015	0,00596	2,750	0,00478
2830,00	3,874	0,0106	—	0,00830	—	0,00655	2,891	0,00524
3113,00	—	—	—	0,00979	—	0,00777	3,180	0,00624
3396,00	—	—	—	0,0115	—	0,00909	3,480	0,00723
3679,00	—	—	—	0,0133	—	0,0105	3,750	0,00841
3962,00	—	—	—	0,0151	—	0,0120	4,060	0,00960
4245,0	—	—	—	0,0171	—	0,0136	4,330	0,0109
4528,00	—	—	—	0,0193	—	0,0153	4,640	0,0122
4811,00	—	—	—	0,0214	—	0,0170	4,92	0,01360
5094,00	—	—	—	0,0238	—	0,0189	5,19	0,0151
5377,00	—	—	—	—	—	0,0208	5,50	0,0167
5660,00	—	—	—	—	—	0,0298	5,77	0,0183
5943,00	—	—	—	—	—	—	6,05	0,0200
6226,00	—	—	—	—	—	—	6,34	0,0217

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	1 150		1 200		1 350		1 500	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
849,00	0,794	0,00049	0,728	0,00040	0,577	0,00023	0,466	0,00014
990,50	0,924	0,00064	0,848	0,00052	0,672	0,00030	0,443	0,00018
1132,00	0,060	0,00082	0,970	0,00067	0,768	0,00038	0,622	0,00023
1273,50	1,180	0,00101	1,091	0,00082	0,864	0,00047	0,700	0,00028
1315,00	1,320	0,00122	1,213	0,00099	0,959	0,00057	0,778	0,00034
1556,50	1,452	0,00145	1,338	0,00118	1,056	0,00067	0,855	0,00041
1698,00	1,580	0,00169	1,455	0,00138	1,150	0,00079	0,934	0,00048
1839,50	1,718	0,00195	1,579	0,00159	1,248	0,00091	1,010	0,00055
1981,00	1,850	0,00223	1,700	0,00182	1,341	0,00104	1,086	0,00065
2122,50	1,981	0,00253	1,820	0,00208	1,435	0,00118	1,170	0,00073
2264,00	2,115	0,00284	1,941	0,00231	1,535	0,00132	1,240	0,00080
2405,50	2,250	0,00317	2,060	0,00258	1,661	0,00147	1,320	0,00089
2547,00	2,380	0,00353	2,181	0,00287	1,727	0,00163	1,396	0,00099
2688,50	2,515	0,00387	2,305	0,00316	1,827	0,00180	1,476	0,00109
2830,00	2,641	0,00425	2,470	0,00346	1,920	0,00197	1,550	0,00119
3113,00	2,905	0,00504	2,670	0,00411	2,110	0,00235	1,710	0,00142
3396,00	3,180	0,00589	2,910	0,00481	2,310	0,00274	1,865	0,00165

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	1 150		1 200		1 350		1 500	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
3679,00	3,450	0,0081	3,158	0,00555	2,498	0,00317	2,020	0,00191
3962,00	3,700	0,00864	3,381	0,00635	2,720	0,00362	2,173	0,00219
4245,00	3,970	0,00881	3,630	0,00718	2,878	0,00410	2,330	0,00248
4528	4,240	0,00989	3,873	0,00807	3,080	0,00460	2,485	0,00278
4811	4,480	0,0110	4,12	0,00898	3,261	0,00513	2,640	0,00312
5094	4,760	0,0122	4,360	0,00996	3,450	0,00570	2,800	0,00343
5377	5,040	0,0135	4,600	0,0110	3,680	0,00628	2,95	0,00379
5660	5,280	0,0148	4,850	0,0121	3,842	0,00689	3,116	0,00416
5943	5,550	0,01610	5,090	0,0132	4,025	0,00751	3,261	0,00454
6226	5,840	0,0175	5,340	0,0143	4,210	0,00817	3,420	0,00491
6509	6,080	0,0190	5,58	0,0155	4,430	0,00886	3,570	0,00534
6792	6,350	0,0205	5,83	0,0168	4,600	0,00954	3,810	0,00578
7075	—	—	—	0,0180	4,79	0,0103	3,880	0,00622

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	1 650		1 800		1 950		2 100	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
1698	0,772	0,0003	0,647	0,00020	0,582	0,00014	0,476	0,00010
1981	0,900	0,0004	0,756	0,00026	0,645	0,00018	0,555	0,00013
2264	1,028	0,00051	0,864	0,00033	0,735	0,00023	0,634	0,00016
2547	1,157	0,00063	—	0,00041	0,826	0,00028	0,714	0,00020
2830	1,284	0,00076	1,080	0,0005	0,920	0,00034	0,794	0,00024
3113	1,410	0,00090	1,187	0,00059	1,011	0,00041	0,873	0,00028
3396	1,540	0,00105	1,297	0,00069	1,100	0,00047	0,953	0,00033
3679	1,670	0,00121	1,403	0,00080	1,186	0,00055	1,030	0,00038
3962	1,797	0,00139	1,510	0,00091	1,283	0,00063	1,110	0,00044
4245	1,927	0,00157	1,620	0,00104	1,378	0,00071	1,190	0,00050
4528	2,051	0,00177	1,728	0,00117	1,469	0,00080	1,270	0,00056
4811	2,181	0,00197	1,835	0,00130	1,560	0,00089	1,350	0,00062
5094	2,316	0,00218	1,949	0,00144	1,658	0,00099	1,428	0,00069
5377	2,440	0,00241	2,045	0,00159	1,748	0,00108	1,508	0,00076
5660	2,570	0,00264	2,160	0,00174	1,842	0,00119	1,589	0,00084
6226	2,82	0,00314	2,380	0,00206	2,021	0,00141	1,743	0,00099
6722	3,080	0,00367	2,590	0,00242	2,206	0,00165	1,903	0,00116
7358	3,321	0,00423	2,850	0,00279	2,380	0,00191	2,061	0,00134
7924	3,600	0,00486	3,020	0,00320	2,575	0,00218	2,220	0,00153
8490	3,840	0,00548	3,230	0,00361	2,755	0,00247	2,380	0,00174
9058	4,120	0,00617	3,443	0,00408	2,940	0,00278	2,540	0,00195
9612	4,360	0,0066	3,660	0,00453	3,140	0,00309	2,700	0,00217
10188	4,640	0,00760	3,875	0,00501	3,321	0,00343	2,820	0,00241
10754	4,880	0,00830	4,090	0,00553	3,508	0,00378	3,075	0,00266

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	1 650		1 800		1 950		2 100	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
11320	5,120	0,00919	3,340	0,00605	3,691	0,00414	3,172	0,00291
12375	5,760	0,0114	3,850	0,00752	4,150	0,00512	3,563	0,00360
13160	6,410	0,0137	5,400	0,00906	4,600	0,00620	3,970	0,00435
15565	—	—	5,950	0,0108	5,040	0,00737	4,360	0,00517
16980	—	—	6,460	0,0126	5,520	0,00859	4,760	0,00603
18395	—	—	—	—	5,975	0,0099	5,150	0,00698

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	2 250		2 400		2 550		2 700	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
1698	0,415	0,00007	0,363	0,00005	0,321	0,00004	—	—
1981	0,482	0,00009	0,424	0,00007	0,375	0,00005	—	—
2264	0,552	0,00012	0,485	0,00009	0,430	0,00006	—	—
2547	0,622	0,00014	0,546	0,00011	0,485	0,00008	—	—
2830	0,690	0,00017	0,606	0,00013	0,435	0,00009	—	—
3113	0,760	0,00020	0,665	0,00015	0,592	0,00011	—	—
3396	0,830	0,00024	0,730	0,00018	0,644	0,00013	—	—
3679	0,896	0,00028	0,790	0,00020	0,698	0,00015	—	—
3962	0,967	0,00032	0,852	0,00023	0,755	0,00017	—	—
4245	1,033	0,00036	0,910	0,00026	0,805	0,00020	—	—
4528	1,102	0,00040	0,970	0,00030	0,860	0,00022	—	—
4811	1,174	0,00045	1,030	0,00033	0,915	0,00025	—	—
5094	1,240	0,00050	1,091	0,00037	0,966	0,00027	—	—
5377	1,341	0,00055	1,152	0,00040	1,020	0,00030	—	—
5660	1,380	0,00060	1,213	0,00044	1,078	0,00033	0,960	0,00025
6226	1,520	0,00071	1,375	0,00053	1,182	0,00039	—	—
6722	1,651	0,00083	1,459	0,00062	1,286	0,00046	—	—
7075	—	—	—	—	—	—	1,198	0,00038
7358	1,792	0,00095	1,577	0,00071	1,398	0,00053	—	—
7924	1,931	0,00111	1,700	0,00081	1,505	0,00061	—	—
8490	2,070	0,00125	1,820	0,00092	1,610	0,00069	1,480	0,00052
9056	2,206	0,00140	1,940	0,00103	1,720	0,00077	—	—
9612	2,348	0,00156	2,062	0,00115	1,828	0,00086	—	—
9905	—	—	—	—	—	—	1,678	0,00068
10188	2,485	0,00174	2,181	0,00127	1,938	0,00095	—	—
10754	2,621	0,00191	2,310	0,00140	2,040	0,00105	—	—
11320	2,760	0,00210	2,430	0,00154	2,150	0,00115	1,913	0,00088
12735	3,110	0,00259	2,727	0,00191	2,420	0,00142	2,160	0,00109
13150	3,470	0,00313	3,035	0,00232	2,690	0,00172	2,400	0,00131
15565	3,815	0,00371	3,32	0,00274	2,950	0,00204	2,640	0,00156
16980	4,150	0,00433	3,63	0,00320	3,238	0,00339	2,875	0,00182
18395	4,480	0,00502	3,94	0,00376	3,505	0,00276	3,110	0,00211

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	2 250		2 400		2 550		2 700	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
19810	—	—	—	—	—	—	3,355	0,00240
21225	—	—	—	—	—	—	3,600	0,00272
22640	—	—	—	—	—	—	3,840	0,00304
24055	—	—	—	—	—	—	4,080	0,00341
25470	—	—	—	—	—	—	4,330	0,00370
26885	—	—	—	—	—	—	4,550	0,00417
28300	—	—	—	—	—	—	4,790	0,00457
29715	—	—	—	—	—	—	5,040	0,005
31130	—	—	—	—	—	—	5,270	0,00542
32545	—	—	—	—	—	—	5,520	0,00588
33960	—	—	—	—	—	—	5,760	0,00694
35375	—	—	—	—	—	—	6,010	0,00683
36790	—	—	—	—	—	—	6,220	0,00732
39620	—	—	—	—	—	—	—	—

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	2 850		3 000		3 300		3 600	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
5660	0,830	0,00019	0,778	0,00015	0,641	0,0001	0,540	0,00008
7075	1,076	0,00024	0,970	0,00023	0,802	0,00014	0,675	0,0001
8490	1,290	0,0004	1,165	0,00032	0,365	0,0002	0,808	0,00013
9905	1,515	0,00053	1,360	0,00042	1,121	0,00026	0,942	0,00017
11320	1,720	0,00087	1,551	0,00053	1,281	0,00034	1,080	0,00022
12735	1,936	0,00083	1,745	0,00066	1,448	0,00042	1,214	0,00027
13150	2,150	0,00101	1,941	0,00079	1,620	0,00050	1,350	0,00033
15565	2,365	0,00121	2,137	0,00094	1,767	0,00060	1,481	0,00039
16980	2,581	0,00142	2,330	0,00110	1,924	0,00070	1,620	0,00046
18395	2,800	0,00163	2,522	0,00127	2,081	0,00081	1,753	0,00053
19810	3,018	0,00186	2,720	0,00145	2,200	0,00092	1,889	0,00061
21225	3,235	0,00211	2,910	0,00165	2,404	0,00104	2,020	0,00069
22640	3,450	0,00237	3,110	0,00185	2,570	0,00117	2,160	0,00077
24055	3,660	0,00265	3,300	0,00206	2,720	0,00131	2,296	0,00086
25470	3,880	0,00294	3,510	0,00229	2,893	0,00145	2,425	0,00096
26885	4,080	0,00323	3,690	0,00252	3,050	0,00160	2,560	0,00106
28300	4,300	0,00354	3,880	0,00276	3,023	0,00175	2,698	0,00115
29715	4,520	0,00386	4,090	0,00302	3,384	0,00191	2,830	0,00126
31130	4,730	0,00420	4,270	0,00328	3,540	0,00208	2,970	0,00137
32545	4,940	0,00455	4,450	0,00355	3,690	0,00225	3,110	0,00149
33960	5,150	0,00490	4,700	0,00384	3,840	0,00243	3,238	0,00161
35375	5,370	0,00530	4,850	0,00413	4,000	0,00262	3,390	0,00173
36790	5,590	0,0057	5,060	0,00443	3,180	0,00281	3,510	0,00186
39620	6,040	0,0065	5,430	0,00506	3,480	0,00321	3,780	0,00212

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм							
	2 850		3 000		3 300		3 600	
	v	i	v	i	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м	м/сек.	м
42450	6,470	0,00734	5,830	0,0573	4,820	0,0366	4,060	0,00231
45280	—	—	6,220	0,00644	5,130	0,00409	4,340	0,0027
48110	—	—	—	—	5,460	0,00456	4,580	0,00301
50940	—	—	—	—	5,770	0,00505	4,850	0,00334
53770	—	—	—	—	6,100	0,00557	5,150	0,00368
56600	—	—	—	—	6,430	0,00611	5,400	0,00402

Расход Q л/сек.	Внутренний диаметр в мм			
	3 900		4 200	
	v	i	v	i
	м/сек.	м	м/сек.	м
5660	0,461	0,00104	0,497	0,00003
7075	0,574	0,00007	0,494	0,00005
8490	0,690	0,00009	0,595	0,00008
9905	0,805	0,00012	0,693	0,00008
11320	0,918	0,00015	0,794	0,00011
12735	1,063	0,00019	0,881	0,00013
13150	1,150	0,00018	0,993	0,00019
15565	1,268	0,00027	1,090	0,00019
16980	1,380	0,00031	1,190	0,00022
18395	1,495	0,00036	1,288	0,00026
19810	1,611	0,00042	1,39	0,00029
21225	1,721	0,00047	1,485	0,00033
22640	1,840	0,00053	1,585	0,00037
24055	1,957	0,00059	1,681	0,00041
25470	2,067	0,00065	1,783	0,00045
26885	2,183	0,00073	1,881	0,00051
28300	2,300	0,00079	1,983	0,00056
29715	2,414	0,00086	2,080	0,00061
31130	2,525	0,00094	2,180	0,00066
32545	2,648	0,0010	2,280	0,00071
33960	2,760	0,0011	2,380	0,00077
35375	2,875	0,00118	2,480	0,00083
36790	2,990	0,00127	2,580	0,00089
38205	3,235	0,00145	2,771	0,00102
42450	3,450	0,00164	2,965	0,00115
45280	3,698	0,00184	3,180	0,00129
48110	3,900	0,00205	3,355	0,00144
50940	4,150	0,00228	3,572	0,00158
53770	4,360	0,00251	3,760	0,00176
56600	4,610	0,00275	3,965	0,00193

Вышеприведенными таблицами так же, как и графиком, помещенным в конце книги, можно пользоваться для подбора сечения деревянных труб и решения других связанных с расчетом труб задач.

Например, расход $9,905 \text{ м}^3/\text{сек}$ может быть пропущен по трубе диаметром 2850 мм при скорости $1,51 \text{ м/сек}$ с потерей напора $0,53 \text{ м}$ на 1000 м , или по трубе диаметром 3000 мм при скорости $1,36 \text{ м/сек}$ с потерей напора $0,42 \text{ м}$ на 1000 м и т. д. Промежуточные расходы, а также скорость и уклон можно найти интерполированием.

Помимо потерь на трение, представляющих главную потерю во всех трубопроводах, независимо от материала их и определяемую в деревянных трубопроводах, как выше указано, по формуле $i = 0,000885 \frac{v^{1,8}}{D^{1,17}}$, при точном расчете следует еще учесть другие потери, которые получаются:

- 1) при протекании воды сквозь решетку,
- 2) при входе воды в трубопровод,
- 3) при перемене направления,
- 4) при изменении сечения трубопровода.

1. Для определения потери напора при прохождении сквозь решетку можно пользоваться формулой Rümelin'a¹

$$h_e' = \xi v_2^2, \quad (18)$$

где h_e' — потеря напора у решетки в м,

ξ — коэффициент, равный по Rümelin'у от $0,01$ до $0,025$,

v_2 — скорость, с которой вода проходит сквозь решетку в м/сек.

При определении потерь напора при прохождении воды сквозь решетку нужно учитывать большую или меньшую закупорку решетки различными пловучими телами. Точный подсчет потерь этого рода можно произвести на основании опытов Kirschmer'a.²

Вообще же для приближенного подсчета при нормальном расположении решетки можно принять:

$$h_e' = 0,05 - 0,10 \text{ м.}$$

2. Потеря напора при входе воды в трубопровод определяется из следующих соображений.

Для создания скорости при входе воды в трубопровод требуется некоторый напор

$$\frac{v^2 - v_0^2}{2g}.$$

Если трубопровод входит в сравнительно большой резервуар, то этот напор теряется вследствие образования вихрей при входе; если же приобретенная скорость используется в турбине, то потери напора нет.

Кроме того при входе воды в трубопровод получается еще потеря напора вследствие трения и вихревых движений во входной части. Эта потеря определяется выражением:

$$h_e'' = \xi'' \frac{v^2 - v_0^2}{2g}, \quad (19)$$

¹ Rümelin. Wasserkraftanlagen. Sammlung Götschen.

² Kirschmer. Untersuchungen des Gefällsverlust am Rechen, Mitteilungen des Hydraulischen Instituts der Technischen Hochschule. München, Heft I. München und Berlin. Oldenburg 1926.

где h_v'' — потеря напора при входе в м,
 ξ'' — коэффициент потери при входе,
 v_0 — скорость перед входом в м/сек,
 v — скорость в трубопроводе за входом в м/сек,
 g — ускорение силы тяжести м/сек².

Значение ξ'' берется в случае, если труба не закруглена или закруглена незначительно, $\xi'' = 0,5$. Если же входная часть трубы имеет вид хорошо развитого раструба, то значение $\xi'' = 0,1$.

3. Потеря напора при перемене направления по Weisbach'у определяется по формуле:

$$h_v''' = \xi''' \frac{v^2}{2g}, \quad (20)$$

где h_v''' — потеря напора при перемене направления в м.

ξ''' — коэффициент по Weisbach'у определяется на следующих основаниях.

ТАБЛИЦА 38.

φ	10°	20°	30°	60° — 130°			
				$\frac{R}{D} = 0,5$	1	2	3
ξ'''	0,01	0,03	0,07	2,0	0,3	0,15	0,13

где φ — угол поворота,

R — радиус изгиба оси трубы в м,

D — внутренний диаметр трубы в м.

Колена можно приближенно считать одинаковыми с кривыми частями с отношением $\frac{R}{D} = 0,5$.

В промежутках между 60—180° коэффициент ξ'' можно считать приближенно независимо от угла φ . Для изгибов, в которых $\frac{R}{D} > 3$, значение ξ'' увеличивается, следовательно, наиболее выгодным отношением $\frac{R}{D}$ при изгибе нужно считать 3.

При φ , равном от 30 до 60°, промежуточные значения ξ''' получаются путем интерполяции.

4. Потери напора при изменении поперечного сечения.

При переходе трубопровода от большего диаметра к меньшему, переходные части делаются обычно в виде плавных конических патрубков, а потому потеря напора в этих случаях очень незначительна и оценивается величиной в каждом отдельном случае в несколько сантиметров.

При расширяющемся трубопроводе потеря напора составляет

$$h_v^{iv} = \frac{(v_0 - v_n)^2}{2g}, \quad (21)$$

где h_v^{iv} — потеря напора при расширении поперечного сечения в м,

v_0 — скорость течения перед расширением в м/сек²,

v_n — скорость за расширением м/сек,

g — ускорение силы тяжести м/сек,

При расчете всяких трубопроводов, в том числе и деревянных, следует учесть изменения в давлении при манипуляциях с запорными приспособлениями.

При закрытии и открытии запорного приспособления меняется давление, и это уменьшение или увеличение давления распространяется по трубопроводу в виде колебательных движений. Законы этих колебательных движений выяснены Allievi¹ и приведены к удобному для использования виду Ing. F. Bundschu.²

Формулы Allievi выведены при следующих допущениях:

- 1) скорость течения воды по сравнению со скоростью распространения изменений в давлении незначительна;
- 2) движение запорных приспособлений происходит равномерно;
- 3) напором, необходимым для преодоления трения и для создания скорости, — пренебрегается;
- 4) скорость течения в трубопроводе по сравнению со скоростью истечения — незначительна.

Для скорости распространения по трубопроводу колебания изменения давления Allievi дает следующую формулу:

$$c = \sqrt{\frac{g}{\gamma \left(\frac{1}{E_w} + \frac{1}{E} \cdot \frac{D}{S} \right)}}, \quad (22)$$

где c — скорость распространения изменений колебаний давления вдоль трубопровода,

g — ускорение силы тяжести в $\text{м}^2/\text{сек}^2$,

γ — вес единицы объема жидкости в $\text{т}/\text{м}^3$,

E_w — модуль упругости жидкости в $\text{т}/\text{м}^2$,

E — модуль упругости материала труб $\text{т}/\text{м}^2$,

D — внутренний диаметр трубопровода,

S — толщина стенок трубы в м.

За модуль упругости жидкости принимается линейный коэффициент упругости в направлении оси трубы. Допуская наличие жесткой оболочки, модули упругости различных материалов принимаются нижеследующие:

ТАБЛИЦА 39.

Материал	Модуль упругости $\text{т}/\text{м}^2$
Железо	20 000 000
Бетон	2 000 000
Дерево	1 000 000
Вода	207 000

При нормальных условиях можно с достаточной для практических целей точностью принять для железных труб среднее значение скорости распространения колебаний давления³

$$c = 1000 \text{ м/сек.}$$

¹ Allievi. Allgemeine Theorie über die veränderliche Bewegung des Wassers in Leitungen. Berlin. Julius Springer 1909.

² Dr. Ing. F. Bundschu. Druckrohrleitungen.

³ F. Bundschu. Druckrohrleitungen.

Как сказано, скорость распространения волны $c = 1000$ м/сек — берется для железных труб. Для деревянных труб эта скорость будет меньше, так как колебания в деревянных трубах гасаются вследствие следующих причин: 1) растяжения бандажей, 2) прогиба клепки между бандажами, 3) вминания бандажей в стенки трубы и 4) раскрытия швов с выходом некоторой части воды. Вследствие наличия при ударе перечисленных явлений русский авторитет проф. А. А. Морозов считает, что для деревянных труб скорость распространения волны c колеблется в пределах между 300—700 м/сек.

Если обратиться к американским источникам, то в книге Lyndon'a Hydro-Electric Power, vol. I можно найти формулу Uhl'a, которая дается для определения величины c .

Формула эта следующая:

$$c = \frac{22720}{\sqrt{23,5 + k \frac{D}{t}}} \text{ ф/сек,}$$

где D — диаметр трубы в дм,

t — толщина стенок в дм,

k — постоянная, зависящая от материала трубы, причем для стальных труб $k = 0,232$, для чугунных труб $k = 0,464$, для деревянных труб $k = 41,50$.

По Krieger'у (Hydroelectric Handbook) величина « c » для деревянных труб принимается равной $77 \frac{1}{2}$ (min).

Вообще же вопрос этот по отношению к деревянным трубам мало проработан и нуждается в изучении и исследовании.

Время, необходимое, чтобы колебание распространялось по трубопроводу туда и обратно:

$$t = \frac{2L}{c}.$$

Допустим пока, что поперечное сечение напорных трубопроводов по всей длине последних одинаково. Повышение давления у запорного приспособления при закрытии его определяется следующим образом.

Прежде всего нужно определить, что больше: время закрытия запорного приспособления или время пробега колебательного движения. Если время закрытия клапана обозначим через T , то, если

$$T \leq \frac{2L}{c},$$

тогда

$$h' = \frac{cv}{2g}. \quad (23)$$

При $c = 1000$ м/сек. $g = 9,81$ м/сек.²

$$h' = 102v \quad (24)$$

При $T > \frac{2L}{c}$

$$h' = m - h - \sqrt{m^2 - m'^2}, \quad (25)$$

где $m = m' + m''$

$$m' = h + \frac{cv}{2g} \quad (26)$$

$$m'' = \frac{v^2}{2gh} \left(c - \frac{2L}{T} \right)^2 \quad (27)$$

При $c = 1000$ м/сек и $g = 9,81$ м/сек², получим

$$m' = h + 102v$$

$$m'' = \frac{0,021v^2(500T - L)}{hT^2}, \quad (29)$$

где L — длина трубопровода в м (по оси трубопровода),
 h — статический напор у запорного приспособления в м,
 h' — повышение напора у запорного приспособления в м,
 T — время закрытия запорного приспособления в сек,
 c — скорость распространения колебаний давления в м/сек,
 v — скорость течения жидкости в трубопроводе перед началом закрытия (средняя скорость),
 g — ускорение силы тяжести в м/сек².

Падение напора у запорного приспособления при открытии его аналогично повышению давления при закрытии.

Падение напора выразится:

$$h'' = \sqrt{n(2h + n)} - n. \quad (30)$$

Значение n выражается нижеследующими формулами в зависимости от того, будет ли время закрытия запорного приспособления больше или меньше времени пробега.

При $T \leq \frac{2L}{c}$:

$$n = \frac{c^2 v^2}{2gh}. \quad (31)$$

При $T > \frac{2L}{c}$:

$$n = \frac{2^2 v L^3}{g^2 T^2 h}, \quad (32)$$

где L — длина трубопровода в м (по оси),
 h — статический напор в м,
 h'' — падение напора в метрах (понижение статического напора h) у запорного приспособления,
 T — время открытия задвижки в сек,
 c — скорость распространения падения давления в м/сек,
 v — скорость течения в трубопроводе после открытия трубопровода в м/сек,
 g — ускорение силы тяжести в м/сек².

Если дано падение напора h'' , а нужно найти время открытия T , то имеем формулу

$$T = \frac{2vL}{gh''} \sqrt{\frac{h - h''}{h}}. \quad (33)$$

Эта формула действительна лишь для тех случаев, когда $T \geq \frac{2L}{c}$, так как для $T < \frac{2L}{c}$, h'' имеет постоянную величину, которая не может быть превзойдена. За падением давления при открытии задвижки может при известных обстоятельствах иметь место повышение давления.

По Allievi, когда $v < 0,02h$, гидродинамические колебания ассимптотически стремятся к стационарному состоянию. Следовательно, в этом случае не имеет места повышение давления.

Если $v < 0,02h$, то за падением давления следует некоторое повышение его! В неблагоприятных случаях повышение давления может дойти примерно до четверти статического.

В случае колебания давления в любом поперечном сечении трубопровода опять нужно различать два случая:

$$T < \frac{2L}{c} \quad \text{и} \quad T > \frac{2L}{c}$$

Напор уменьшается линейно соответственно длинам участков трубопровода от h (h'') у запорного приспособления до 0 у источника воды (рис. 82). Повышение давления при $T = \frac{2L}{c}$ наибольшее. Если время закрытия меньше времени пробега, то у запорного приспособления не наблюдается дальнейшего повышения давления, но зато на некотором расстоянии перед запорным приспособлением будет наблюдаться постоянное повышение давления.

Обозначим расстояние, которое может пробежать колебание туда и обратно за время T через l' , тогда

$$l' = \frac{cT}{2}. \quad (34)$$

Постоянное давление устанавливается на участке $L - l'$ перед запорным приспособлением. На остальном участке l' давление уменьшается от h' до 0 (рис. 78).

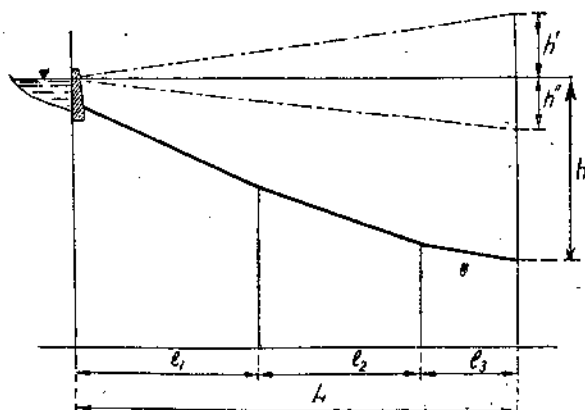


Рис. 82.

При $T = 0$, т. е. при мгновенном закрытии $l' = 0$.

Теоретически постоянное повышение давления будет иметь место по всей длине трубопровода, практически же будет наблюдаться некоторое уменьшение давления вблизи источника воды.

Приближенно можно считать падение напора при открытии постоянным на участке $L - l'$ и при времени открытия

$$T < \frac{2L}{c} \quad (\text{рис. 83}).$$

На рис. 82 и 83 по оси абсцисс отложены действительные длины участков трубопровода.¹

Если кривая напоров опускается ниже оси трубы, то в трубопроводе имеется разрежение. Если это разрежение дойдет до величины 1 атм., то получается вакуум, т. е. струя отрывается. Если предположить, что напоры уменьшены на столб воды, равный атмосферному давлению, т. е. провести линию, параллельную оси трубопровода на расстоянии, равном атмосферному давлению, то отрыв произойдет, как только кривая падения напора пересечет эту параллельную. Теоретически атмосферное давление

¹ F. B u n d s c h u. Druckrohrleitungen.

равно 10 м водяного столба. Практически достигаемый вакуум нужно считать около 6 м водяного столба. В трубопроводах с большим напором можно атмосферным давлением пренебречь и требовать, чтобы кривая падения напора нигде не пересекала оси трубопровода.

При отрыве струи могут быть следующие опасные случаи: 1) наружное атмосферное давление может вдавить стенки и 2) по прошествии нескольких секунд, необходимых для сообщения ускорения верхней струе, эта струя вновь ударяется в оторванную нижнюю струю, что может вызвать резкий удар. При быстром и внезапном открытии, отрыв струи в большинстве случаев неизбежен.

Напорные трубопроводы часто имеют различные диаметры, уменьшающиеся сверху вниз, т. е. скорости сверху вниз соответственно увеличиваются. Это обстоятельство нужно учесть при расчете изменений давления.

Здесь можно различить следующие случаи: 1) $T > \frac{2L}{c}$
2) внезапное открытие или закрытие, 3) $T < \frac{2L}{c}$.

1. Если время закрытия больше времени пробега, то все отдельные участки примут участие в повышении или понижении давления. Тогда сумму кинетических энергий отдельных участков трубопровода можно приравнять к кинетической энергии во всем трубопроводе при средней скорости v , и тогда должно существовать равенство

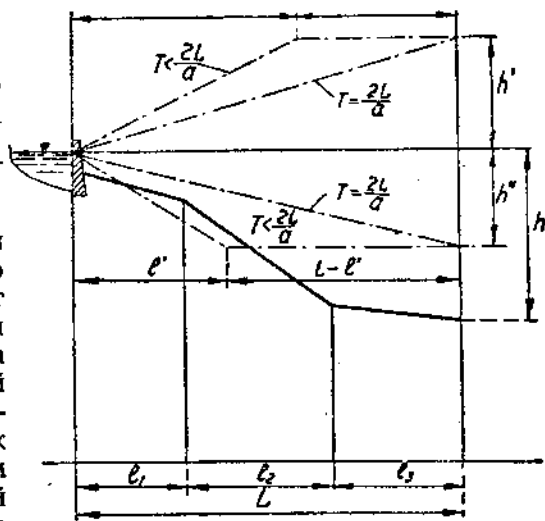


Рис. 83.

$$\frac{M_1 v_1^2}{2} + \frac{M_2 v_2^2}{2} + \dots = \frac{M v^2}{2}, \quad (35)$$

$$\frac{l_1 F_1 v_1^2}{2g} + \frac{l_2 F_2 v_2^2}{2g} + \dots = \frac{L F v^2}{2g}, \quad (36)$$

$$l_1 (F_1 v_1) v_1 + l_2 (F_2 v_2) v_2 + \dots = L (F v) v, \quad (37)$$

но

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = \dots = F v = Q. \quad (38)$$

Следовательно

$$l_1 v_1 + l_2 v_2 + \dots = L v, \quad (39)$$

$$v = \frac{\sum l v}{L}, \quad (40)$$

где v — средняя скорость течения в м/сек,

l — длина отдельных участков с постоянным внутренним диаметром в метрах,

v_1, v_2 — соответствующая средняя скорость течения в м/сек,

L — общая длина трубопровода в метрах.

По этому среднему значению v подсчитываем повышение или падение давления, пользуясь формулами (25) и (30):

$$h' = m - h - \sqrt{m^2 - m'^2},$$

$$h'' = \sqrt{n(2h + n)} - n.$$

Распределение давления вдоль трубопровода можно приближенно считать линейным (рис. 82).

2. Внезапное закрытие и открытие. При внезапном закрытии в каждом отдельном участке происходит повышение давления, соответственное скорости течения на данном участке (рис. 84). Это повышение давления затем сохраняется постоянным на длине данного участка. То же происходит с падением давления при внезапном открытии.

Падение давления можно подсчитать по вышеприведенной формуле

$$h'' = \sqrt{n(2h + n)} - n,$$

где

$$n = \frac{c^2 v^2}{2g^2 h}.$$

Причем кроме скоростей на отдельных участках надо учесть еще напоры в конце участков.

3. $T < \frac{2L}{c}$. Для этого случая, т. е. при времени закрытия, меньшем времени пробега, повышение или падение давления можно вычислить приближенно.

Для повышения или падения давления у запорного приспособления важен тот участок $l' = \frac{cT}{2}$, перед запорным приспособлением которого колебание может пройти туда и обратно за время T .

Если на этом участке имеются разные диаметры в трубопроводе, то по уравнению (40)

$$v = \frac{\Sigma kv}{L}$$

находим среднюю скорость течения, а по ней, пользуясь формулами

$$h' = \frac{cv}{g},$$

$$h'' = \sqrt{n(2h + n)} - n,$$

$$n = \frac{c^2 v^2}{2g^2 h},$$

повышение, или понижение давления у запорного приспособления.

Точно также подсчитываются по соответственной средней скорости v повышение или понижение давления на участке l' , начиная, с источника воды. Таким образом мы получим две точки кривой повышения или понижения давления. Третьей точкой будет уровень воды в источнике. Соединяя эти три точки прямой, получим приближенную линию повышения или понижения давления (рис. 85).

Все вышеприведенные формулы взяты из труда Bundschu — Druckrohrleitungen.

При проектировании деревянных трубопроводов следует обратить внимание на следующие моменты:

1) Толщина клепки должна быть взята такой, чтобы она была насыщена водой, так как это обстоятельство обеспечивает долговечность трубы и в то же время клепка не должна пропускать воду в сколько-нибудь значительных количествах.

2) Бандажки должны быть спроектированы таких размеров и иметь такое расстояние от оси до оси, чтобы был обеспечен достаточный коэффициент запаса против разрушения их, против прогиба клепки между бандажками и разрушения волокон клепки под бандажками.

Таким образом должна существовать зависимость между напряжением в бандажке, шагом бандажей, толщиной клепки и силой разбухания дерева.

3) Башмаки должны быть рассчитаны так, чтобы помимо восприятия разрывающих усилий они имели достаточную площадь, препятствующую врезанию башмака в клепку трубы.

На бандажки в трубе действуют следующие усилия:

- 1) внутреннее напряжение бандажки при затяжке;
- 2) давление воды внутри трубы;
- 3) усилие разбухания дерева;
- 4) вес воды внутри трубы и собственный вес трубы;
- 5) давление земли, если труба засыпана.

На клепку действуют следующие усилия:

- 1) сжимающее усилие бандажей;
- 2) сжимающее усилие в концах при соединении клепок;
- 3) давление воды, стремящееся изогнуть клепку между соединительными бандажками;
- 4) вес воды внутри трубы и собственный вес трубы;
- 5) давление земли, если труба засыпана.

Две последние силы стремятся сплющить трубу и раскрыть швы.

При вычислении этих усилий необходимо согласовать их значение с природой и условиями, в которых предстоит работать трубе.

Начальные усилия от затяжки бандажей.

Труба должна быть вначале совершенно плотна, и напряжения первоначальной затяжки бандажей должны быть таковы, чтобы, во-первых, создавать сжатие клепок на квадратную единицу кромок клепок большую внутреннего давления воды и, во-вторых, создавать плотное соприкосновение с поверхностью трубы, но вместе с тем не разрушать клепку под влиянием внутреннего давления.

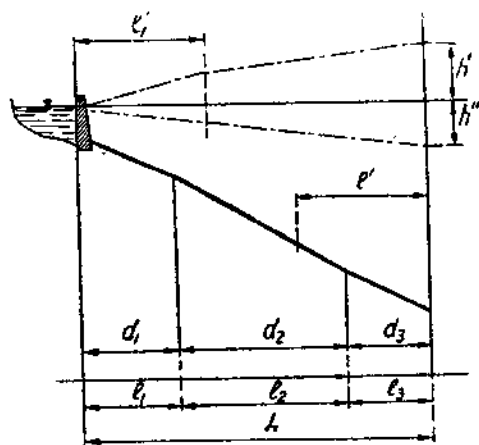


Рис. 85.

Если вышеназванные условия не выполнены, то может появиться течь, которая будет иметь место до тех пор, пока не будет достигнуто необходимое сжатие между клепками и требуемой поверхностью смятия и между клепкой и бандажами.

Напряжение от давления воды.

Напряжения, вызываемые в бандажах внутренним давлением воды, и распределение этих напряжений достаточно изучены и не требуют особых пояснений.

Напряжения от разбухания клепки.

При разбухании клепки получают добавочные напряжения, которые могут быть определены и заключаются в пределах первоначального натяжения бандажей.

При разбухании бруска появляются усилия, которые увеличивают объем бруска и изменяются в пределах упругости.

Наибольшие усилия разбухания, даваемые опытом, изменяются посредством определения сопротивления сжатию опытного бруска.

На величину усилий разбухания влияет твердость породы, направление волокон в древесине и другие свойства дерева, определяющие напряжение в бруске в пределах упругости.

Если клепка в трубе сжимается бандажами далеко от предела упругости насыщенного водой дерева, то усилий от разбухания клепки в бандаже может и не быть, а, следовательно, не будет и добавочных напряжений в бандаже от разбухания. Дальнейшее сжатие волокон будет продолжаться до установления равновесия между сжимающими напряжениями и сопротивляющимися усилиями дерева. И если сжимающие усилия ниже требуемых внутренним давлением воды, то появится течь. Если сжатие меньше, чем усилия разбухания дерева, то клепка увеличивается в объеме, вызывая соответственно увеличение напряжения в бандажах. Усилия, возникающие вследствие разбухания дерева, до некоторой степени пропорциональны увеличению объема ненасыщенного водой дерева по сравнению с насыщенным.

Появляющееся добавочное напряжение бандажей почти пропорционально площади соприкасающихся кромок клепки.

Таким образом расчет преследует цель — избежание чрезмерной толщины клепки, слишком больших расстояний между бандажами, принятие достаточной площади соприкосновения между клепкой и бандажами, придание желательных рабочих напряжений смятия дереву.

Преимущество бандажей из круглого железа по сравнению с бандажами из плоского железа заключается, помимо указанных ранее, в плотном соприкосновении круглого железа с поверхностью трубы, так как бандаж из круглого железа при затяжке вдавливаются в дерево. При разбухании дерева и появлении дополнительных напряжений в бандажах, такое железо продолжает углубляться в дерево, но вместе с тем увеличивается и площадь смятия дерева бандажом.

Таким образом часть добавочных напряжений в бандаже, возникающих от сил разбухания, погашаются таким вдавливанием круглого бандажа в дерево. В плоских же бандажах при отсутствии вдавливания их в дерево, эти последние должны воспринимать полностью те добавочные напряжения, которые возникают вследствие сил разбухания.

Усилия от веса в трубе и собственного веса трубы.

При большом диаметре трубы и при незначительном по отношению к этому диаметру внутреннем давлении необходимо обратить внимание на вес воды, который производит момент в стенке трубы, стремящийся изменить круглое сечение трубы. Аналогичное действие производит также и собственный вес трубы. Работа трубы большого диаметра будет следующая: труба собирается из клепок, которые так или иначе скреплены железными обручами, так что давление между клепками и натяжение бандажей достаточны для сохранения прочности трубы при действии сил, возникающих при наполнении ее водой. При наполнении трубы в стенках ее возникают известные усилия и изгибающие моменты, вследствие чего происходит изменение ее формы. Эти усилия и моменты могут возникнуть в продолжение сравнительно короткого времени наполнения отчасти вследствие некоторого неравномерного распределения напряжений в дереве, отчасти вследствие обычного изгибающего напряжения в железных обручах. Если труба долгое время находится в работе и следовательно подвержена влиянию сил разбухания, неравномерного распределения напряжений между клепками не будет, и труба будет иметь первоначальную форму. Дальше, в случае выпуска воды из трубы также под влиянием веса воды в трубе и собственного ее веса, когда внутреннего давления нет, может появиться сплющивание трубы. В продолжение короткого времени, когда вода вытекает из трубы и когда труба подвергается действию переменных моментов, в клепках может быть неравномерное распределение напряжений. Последующие расчеты может быть и не дадут точного значения величин, но дадут достаточно ясное и правильное понятие о работе трубы.

Давление засыпки.

При трубах большого диаметра, заложенных в землю, необходимо подсчитать влияние этого давления на работу трубы. Давление земли стремится сплющить трубу, и усилия, возникающие от этого давления, должны быть восприняты частями трубы (клепкой и арматурой) или опорами специальной формы, воспринимающими усилия, возникающие от внешней нагрузки.

Таким образом для труб малого диаметра достаточно подсчитать трубу на внутреннее давление и силы разбухания; для труб же больших диаметров, в особенности при незначительном внутреннем давлении, необходимо проверить трубу на моменты, возникающие от веса воды в трубе и собственного веса и, если труба засыпана,—на влияние этой засыпки.

Расчет клепок.

Клепку рассматриваем как балку, свободно лежащую на нескольких опорах.

Исходя из соображений, что в неразрезных балках наибольший изгибающий момент на второй и предпоследней опоре приближается по величине к опорному моменту балки, заделанной двумя концами, можно допустить введение последнего момента вместо первого.

Тогда получим (рис. 86) выражение этого момента

$$M = \frac{A^2}{12} p = \sigma_g w = \sigma_g \frac{D \pi^2}{6}, \quad (41)$$

где p — равномерно распределенное давление в килограммах,
 A — расстояние между бандажами в сантиметрах,
 t — толщина стенки трубы в сантиметрах,
 $D\pi$ — величина подвергающейся давлению площади.

Отсюда, если обозначим давление на единицу поверхности через P , то величина p будет равна

$$p = PD\pi \text{ кг/см}^2.$$

Искомая толщина стенки получится решением уравнения

$$t = 0,707 A \sqrt{\frac{P}{\sigma_x}}, \quad (42)$$

где σ_x — допускаемое напряжение дерева на смятие поперек волокон.

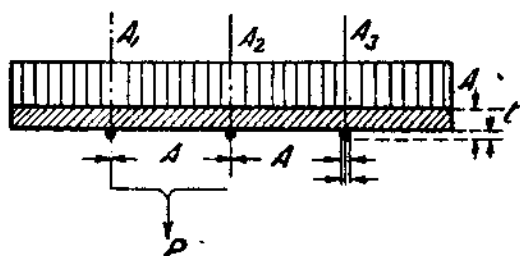
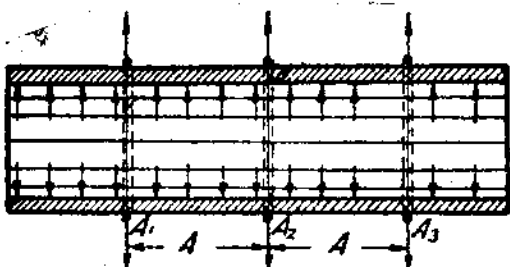


Рис. 86.

Если для мягкого, насыщенного водой дерева принять допускаемое напряжение $\sigma_x = 50 \text{ кг/см}^2$, то уравнение (42) примет вид

$$t = 0,1 \cdot A \cdot \sqrt{P}. \quad (43)$$

Величина $\sigma_x = 50 \text{ кг/см}^2$ может быть принята при расчете деревянных труб из мягких пород. Вообще же установлено, что сосновое дерево имеет временное сопротивление сжатию параллельно волокнам 162 кг/см^2 .

Величины толщины клепки, получающиеся по формуле (43), значительно отличаются от принимаемых в действительности.

На практике толщиной клепки задаются, пользуясь спецификациями, приведенными на стр. 29—33, не из соображений прочности дерева при работе на изгиб, а из соображений специфических особенностей работы деревянных труб, принимая во внимание водонепроницаемость различных сортов и пород дерева и других соображений, так что при проектировании деревянных трубопроводов нужно задаться, повторяем, толщиной клепки, а затем проверить ее толщину, пользуясь формулой (43).

В виду отсутствия до настоящего времени сведений по вопросу прогиба отдельных клепок, нужно осветить также и этот вопрос для подведения основ к расчету плотности трубопровода, так как при значительных прогибах клепки могут разойтись (Rabovsky).

Уравнение упругой линии будет

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{Mx}{EI}, \quad (44)$$

где прогиб клепки обозначен через y .

Уравнение (44) при подстановке в него величины момента

$$Mx = \frac{pA}{2} x = \frac{px^2}{2} + \frac{pA^2}{12}$$

примет вид:

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{pA}{2} \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{px^3}{2 \cdot 3} + \frac{pA^2}{12} x + C_1.$$

Откуда

$$Ely = -\frac{pA}{2} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{px^4}{24} + \frac{pA^2}{12} \cdot \frac{x^2}{2} + C_2,$$

а при $x = \frac{A}{2}$

$$Ely = -\frac{pA}{12} \cdot \frac{A^3}{8} + \frac{p}{24} \cdot \frac{A^4}{16} + \frac{pA^3}{24} \cdot \frac{A^2}{4} = \frac{pA^3}{384},$$

или

$$y = 0,0026 pA^4 \frac{1}{EI}.$$

Если модуль упругости дерева $E = 100\,000$ кг/см² и если взять за момент инерции клепки момент прямоугольного сечения

$$I = \frac{D\pi t^3}{12},$$

то прогиб клепки y будет равен

$$y = \frac{0,0026 \cdot p \cdot A^4 \cdot 12}{100000 \cdot D \cdot \pi \cdot t^3} = 0,00632 \frac{A}{Vp}. \quad (45)$$

Прогиб клепок вызывает увеличение окружности трубы.

Это увеличение может иметь наибольшее значение $2y\pi$.

Отсюда следует, что наибольшее возможное отверстие между двумя соседними клепками при числе их N будет

$$\lambda = \frac{2y\pi}{N}. \quad (46)$$

Указанная величина имеет место для всего поперечного сечения только при армировке в виде отдельных бандажей. При обмотке спирально проволокой максимальную величину прогиба получит только одна клепка, прогибы же других клепок того же поперечного сечения будут изменяться от 0 до наибольшего значения, определяемого формулой (46).

Средней величиной прогиба можно считать

$$\lambda' = \frac{y\pi}{N}. \quad (47)$$

Обозначая величину разбухания дерева в поперечном по волокнам направлении через μb , где b — ширина клепки, получим действительную величину отверстия между соседними клепками

$$\lambda_t - \mu b - \lambda \geq 0. \quad (48)$$

Следовательно пока величина

$$\mu b > \lambda,$$

трубопровод будет совершенно плотным. Однако, вследствие сил разбухания в дереве появятся дополнительные усилия, которые должны быть восприняты бандажами (H. Rabovsky — Holzdaubenrohre).

Приведенный выше подсчет плотности дает некоторые общие соображения о величине плотности трубопровода, вообще же вопрос этот мало изучен и нуждается в подтверждении лабораторными исследованиями и изучением.

Б а н д а ж и.

Вводим следующие обозначения:

S — усилие, приходящееся на бандаж в кг,

ω — сечение стержня в см^2 ,

σ_x — допускаемое напряжение железа на растяжение,

P — внутреннее давление воды в $\text{кг}/\text{см}^2$,

R — внутренний радиус трубы в см,

A — расстояние между соседними бандажами (от оси до оси) в см.

На бандажи действуют следующие усилия:

1) Внутреннее давление воды

$$S_1 = P \cdot R \cdot A.$$

2) Усилие, возникающее от разбухания дерева,

$$S_2 = K_g \cdot t \cdot A,$$

где K_g — напряжение разбухания,

t — толщина клепки в см.

3) Первоначальное натяжение, создаваемое затяжкой бандажей при их установке, принимается примерно в 1,5 раза большим расчетного внутреннего давления. Таким образом

$$S_3 = 1,5 \cdot P \cdot t \cdot A.$$

Отсюда полное усилие в бандаже

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = PRA + K_g tA + 1,5PtA. \quad (49)$$

Откуда

$$S = \omega K_g = A [P(R + 1,5t) + K_g t]$$

и тогда сечение стержня

$$\omega = \frac{S}{K_g} = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (50)$$

где d — диаметр бандажа.

При расчете сечения стержня нужно также принимать во внимание допускаемое напряжение пропитанного водой дерева на смятие поперек волокон.

При расчете предполагается, что ширина площади смятия, производимого вдавливанием железного бандажа в дерево, равна радиусу бандажа.

Тогда получим, что для прочности трубы необходимо соблюсти следующее условие

$$\frac{\pi d^2}{4} \sigma_x = \sigma_x (R + t) \frac{d}{2}. \quad (51)$$

Откуда диаметр бандажа

$$d = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_z} (R + t), \quad (52)$$

где σ_x — допускаемое напряжение железа на растяжение,

σ_z — допускаемое напряжение пропитанного водою дерева на смятие.

Практически при расчете трубопроводов как толщина клепки, так и диаметр бандажей берутся из данных, приведенных на стр. 29—33 и 37, составленных из соображений опыта при постройке трубопроводов из разных пород и сортов леса. Так что независимо от внутреннего давления, которое может быть различным в одном и том же трубопроводе, в зависимости от диаметра трубопровода, выбирается по спецификации толщина клепки и диаметр бандажа, шаг же бандажей проверяется расчетом.

Как выше указано, усилие в бандаже до впуска воды должно быть рассчитано с запасом 50% против расчетного давления P и будет равно:

$$1,5 \cdot P \cdot A \cdot t,$$

а усилие от давления воды

$$P \cdot A \cdot R.$$

Полное усилие в бандаже после впуска воды

$$S_1 = PAR + 1,5PA t. \quad (53)$$

Откуда шаг

$$A = \frac{S_1}{P(R + 1,5t)}. \quad (54)$$

Но по требованиям прочности железа

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4} \sigma_x. \quad (55)$$

Подставляя вычисленное значение S_1 в формулу (54), получим шаг бандажей, необходимый для восприятия внутреннего давления воды.

Бандажи должны также сопротивляться силам разбухания, возникающим в дереве.

Если обозначить, как выше сказано, напряжение разбухания через K_p , то наибольшее усилие разбухания, приходящееся на бандаж, будет:

$$K_p \cdot t \cdot A.$$

Усилие в бандаже будет

$$S_2 = PRA + K_p \cdot t \cdot A. \quad (56)$$

Откуда

$$A = \frac{S_2}{PR + K_p t}. \quad (57)$$

Для небольших давлений наименьшее расстояние между бандажами получается по формуле, учитывающей силы разбухания, для больших же давлений наименьший шаг получается по формуле, учитывающей лишь внутреннее давление. Поэтому для каждого отдельного случая расчет шага бандажей нужно вести по обеим формулам и брать наименьшее

из полученных значений для шага бандажей, помня, что шаг больше 25—30 см не допускается по конструктивным соображениям.

При расчете бандажей иногда не принимают во внимание сил разбухания, так как они появляются лишь вначале после пуска воды в трубу, а затем, когда бандажи несколько вомнуты в древесину стенок трубы, пропадают. Поэтому, не учитывая сил разбухания и идя заранее на некоторое перенапряжение в бандажах в начале действия трубы, получают облегчение в смысле количества железа при нормальной работе трубы. Вообще, как выше сказано, шаг бандажей при небольших напорах получается меньше, если принимать во внимание силы разбухания. При больших же напорах шаг получается меньше, если расчет вести, не принимая во внимание сил разбухания.

В этом случае, как выше указано, расчет ведется по формуле (54):

$$A = \frac{S_1}{P(R + 1,5t)},$$

где

$$S_1 = \omega \sigma_{\Sigma}.$$

Приводим таблицы и график, которые при помощи простых, легких вычислений можно употреблять для всех напоров диаметров труб и бандажей.

График построен на основании следующих соображений: для некоторого данного случая

$$\frac{\omega \sigma_{\Sigma}}{R + 1,5t} = \text{const} = C \quad (58)$$

и

$$\frac{100(R + 1,5t)}{\omega \sigma_{\Sigma}} = \text{const} = K. \quad (59)$$

Тогда шаг бандажей $A = \frac{C}{P}$ и количество бандажей на 1 пог. м трубы $N = KP$.

Вычисляем постоянные C и K для разных диаметров трубы, разных диаметров бандажей и при допускаемых напряжениях железа на разрыв 1000 кг/см² и 1200 кг/см². Приводим данные вычислений (табл. 40).

На основании табл. 40 составлен график, помещенный в конце книги, который позволяет легко определить шаг бандажей и число бандажей на пог. м трубы. График дает значения C и K для двух допускаемых напряжений 1000 и 1200 кг/см², для шести диаметров бандажей 9, 12,5, 16, 19, 22 и 25 мм, для разных диаметров труб от 350 мм до 3000 мм.

Возьмем пример:

диаметр трубы 1550 мм,
диаметр бандажа 12,5 мм,
допускаемое напряж. . . 1000 кг/см².

Требуется определить расстояние между бандажами и число бандажей на 1 пог. м трубы.

Слева на диаграмме находим диаметр трубы 1550 мм. Следуя по горизонтальной линии до встречи с наклонной линией, помеченной «12,5 мм при $\sigma_{\Sigma} = 1000$ кг/см²», находим точку пересечения этих линий. Следуя далее по вертикали из этой точки до нижней линии диаграммы, находим значение $C = 14,5$ и $K = 6,90$. Деля значение C на требуемый напор в атм., получим расстояние между бандажами в см, а умножая значение K на тот же напор, получим число бандажей на 1 пог. м трубы.

№ по пор.	Диаметр трубы мм	Диаметр бандажа мм	$\sigma_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/см}^2$		$\sigma_{\text{н}} = 1200 \text{ кг/см}^2$	
			C	K	C	K
1	350	9	29,0	3,45	34,50	2,9
		12,5	57,0	1,75	68,20	1,47
2	400	9	25,8	3,90	31,0	3,23
		12,5	51,0	1,96	61,3	1,63
3	500	9	21,5	4,65	26,0	3,87
		12,5	42,5	2,35	51,0	1,96
4	600	9	18,0	5,55	21,7	4,60
		12,5	35,4	2,83	42,5	2,38
		16	56,6	1,79	68,0	1,47
5	700	9	15,8	6,35	18,9	5,30
		12,5	31,1	3,22	37,3	2,68
		16	50,0	2,00	59,5	1,68
6	800	12,5	27,6	3,64	32,1	3,12
		16	44,2	2,26	53,0	1,88
7	900	12,5	24,5	4,10	29,4	3,37
		16	39,2	2,55	47,0	2,13
8	1000	12,5	22,3	4,50	26,8	3,74
		16	35,7	2,80	43,0	2,32
		19	50,0	2,00	60,0	1,66
9	1100	13	20,3	4,92	24,3	4,10
		16	32,4	3,09	39,0	2,56
		19	45,3	2,20	54,4	1,84
10	1200	13	18,5	5,40	22,2	4,50
		16	29,7	3,37	35,6	2,80
		19	41,5	2,41	50,0	2,00
11	1300	13	17,5	5,70	20,7	4,82
		16	27,6	3,62	33,0	3,02
		19	38,6	2,59	46,4	2,16
		22	52,4	1,91	62,8	1,59
12	1400	13	16,0	6,25	19,2	5,20
		16	25,6	3,90	30,6	3,25
		19	35,8	2,80	43,0	2,32
		22	48,5	2,06	58,2	1,72
13	1500	13	14,9	6,70	17,8	5,60
		16	23,8	4,20	28,6	3,50
		19	33,3	3,00	40,0	2,50
		22	45,2	2,21	54,2	1,85
14	1600	16	22,5	4,45	27,0	3,70
		19	31,4	3,20	38,8	2,58
		22	42,1	2,34	51,0	1,96

№ по пор.	Диаметр трубы мм	Диаметр бандажа мм	$\sigma_{ж} = 1000 \text{ кг/см}^2$		$\sigma_{ж} = 1200 \text{ кг/см}^2$	
			C	K	C	K
15	1 700	16	21,1	4,75	25,4	3,94
		19	29,6	3,38	35,5	2,82
		22	40,0	2,50	48,0	2,08
16	1 800	16	20,0	5,00	24,1	4,15
		19	28,1	3,56	33,6	2,98
		22	39,0	2,57	45,5	2,20
17	1 900	16	19,1	5,24	22,9	4,37
		19	26,8	3,74	32,1	3,12
		22	36,3	2,76	48,5	2,30
18	2 000	16	18,1	5,53	21,7	4,61
		19	25,4	3,94	30,4	3,29
		22	37,4	2,91	41,1	2,43
		25	44,0	2,27	53,0	1,89
19	2 500	16	14,7	6,12	17,6	5,70
		19	20,5	4,90	24,7	4,06
		22	27,9	3,59	33,4	3,00
		25	35,7	2,81	52,8	1,90
20	3 000	16	12,3	8,15	14,8	6,78
		19	17,3	5,80	20,8	4,81
		22	23,4	4,28	28,1	3,57
		25	30,0	3,34	36,1	2,78

Величины напряжений для железа и дерева, которые надлежит применять в вышеприведенных формулах нижеследующие.

Напряжение железа на растяжение:

$$\sigma_{ж} — 1000 \text{ кг/см}^2 — 1200 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение разбухания (K_p) по американским опытам Adams'a составляет 6—7 кг/см²; по D. Henney и A. Swickard'y 5—9,5 кг/см²; по шведским опытам Samsioe 10 кг/см²; по немецким данным Otto Graf'a 14 кг/см². Допускаемое напряжение дерева на смятие (σ_p) принимается равным 42—55 кг/см².

Как выше указано, для труб большого диаметра необходимо проверить трубу на действие моментов, производимых весом воды, когда внутреннего давления нет, а также на действие засыпки, если таковая имеется.

В иностранной литературе нет сведений о подобного рода расчетах деревянных труб, между тем усилия, создаваемые весом воды и засыпкой, необходимо учесть. В своих расчетах автор пользовался иногда для этой цели формулами E. Probst'a¹, выведенными им для расчета железобетон-

¹ Probst, D-r-Ing. Vorlesungen über Eisenbeton, Berlin 1924.

ных труб. Формулы эти применены автором по тем соображениям, что в деревянных клепочных трубах наблюдается известная аналогия с работой железо-бетонных труб, так как и в тех и в других железная арматура предполагается работающей на растяжение, а встающее на место бетона дерево,—на сжатие.

Таким образом засыпанная на известную глубину труба подвергается действию внешних сил, которые создают следующие моменты:

- I) от действия давления грунта и временной нагрузки,
- II) от собственного веса трубы,
- III) от веса заполняющей трубу воды.

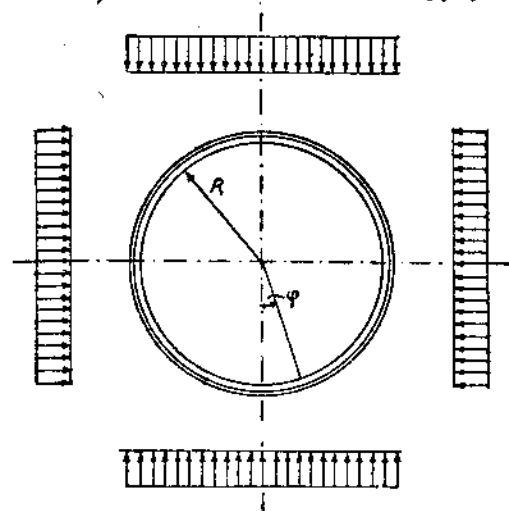


Рис. 87.

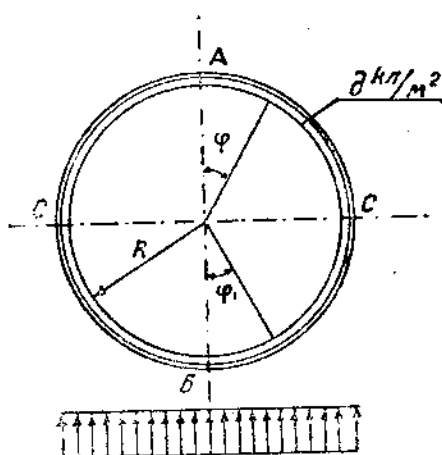


Рис. 88.

I. Давление грунта и временной нагрузки вызывает момент

$$M = \frac{R_0^3 (P_s - P_r)}{4}, \quad (60)$$

где M — момент на единицу длины трубы в кг/м,

R_0 — внешний радиус трубы в м,

P_s — вертикальная равномерно распределенная на горизонтальную проекцию диаметра трубы нагрузка на уровне верха трубы в кг/м,

P_r — горизонтальная, равномерно распределенная нагрузка на вертикальную проекцию диаметра трубы на уровне оси трубы.

Если обозначить через φ угол естественного откоса грунта, (рис. 87), то

$$P_r = P_{ср.} T_x^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (61)$$

Подставляя эти величины в формулу (61), найдем:

$$M = \frac{R_0^3 \left[P_s - P_{ср.} T_x^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right]}{4}. \quad (62)$$

Обозначим найденные моменты:

момент для сечения $\varphi = 0^\circ$ через M_{φ_0}

» » » $\varphi = 90^\circ$ через $M_{\varphi_{90}}$.

II. Действие собственного веса (рис. 88).

Момент выражается формулой для верхней половины

$$M = gR_0^2 \left[0,250 + 0,26 \cos \varphi - \left(\sin \varphi - \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]; \quad (63)$$

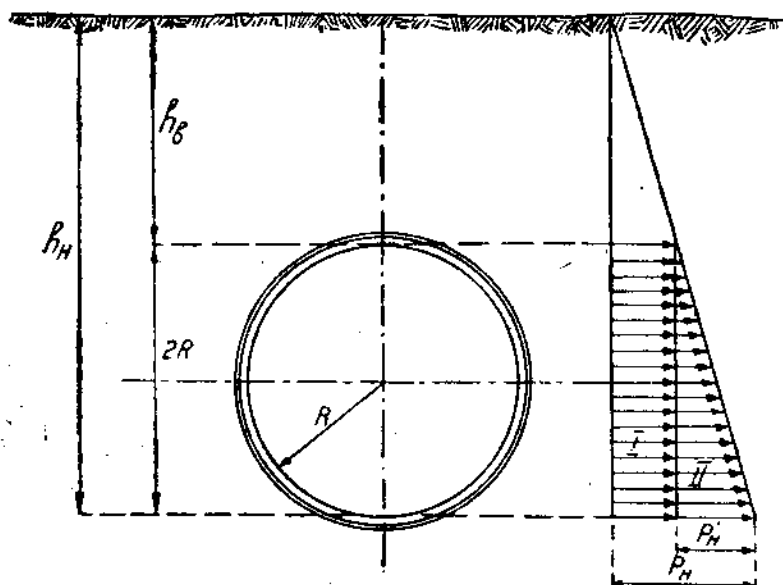


Рис. 89.

для нижней половины:

$$M = gR_0^2 \left[0,860 - 0,26 \cos \varphi_1 \left(\sin \varphi_1 - \frac{\sin \varphi_1}{2} \right) - \frac{\pi}{2} \sin^2 \varphi \right], \quad (64)$$

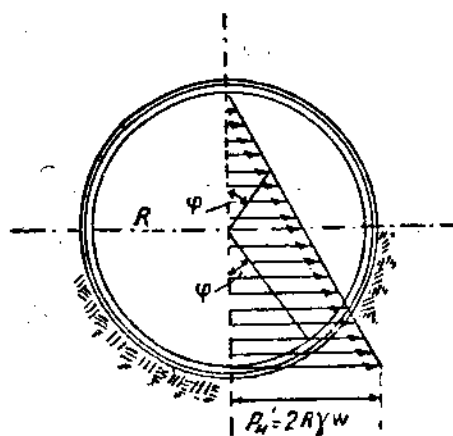


Рис. 90.

где g — вес 1 м^2 стенки трубы, φ и φ_1 указаны на рис. 88.

Для выяснения величины наибольшего момента определим моменты у вершины трубы A , у основания в точке B и у боков в точках C .

У вершины трубы в точке A будем иметь момент при $\varphi = 0$ — M_{φ_0} ;

У основания трубы — при $\varphi_1 = 0$ — $M_{\varphi_{10}}$;

У боков по любой формуле — при $\varphi = 90^\circ = \varphi_1$ — $M_{\varphi\varphi_1}$.

III. Действие веса воды, заполняющей трубы (рис. 89, 90).

Действие веса воды у верха трубы можно разделить на:

1) действие, равномерно увеличивающееся, начиная от верха трубы с давления $P'_x = 0$ до давления $P'_x = 2 R \gamma$;

2) действие равномерно распределенного на поверхность трубы давления

$$P = P_a - P_a' - P_s = \gamma h_s.$$

Это давление вызывает моменты, величины которых определяются по формулам

$$M = \frac{\gamma R^3}{2} \left(\frac{4}{\pi} - \varphi \sin \varphi - \cos \varphi \right) \quad (65)$$

для верхней половины и

$$M = \gamma R^3 \left(\frac{4}{\pi} - \varphi_1 \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1 \right) \quad (66)$$

для нижней половины.

Подставляя в эти формулы для верха трубы значение $\varphi = 0$ и для боков трубы $\varphi = \varphi_1 = 90^\circ$, получим значение моментов.

Равномерно распределенное по периметру трубы давление дается заданием.

Это давление P_0 будет вызывать в стенке трубы растягивающее усилие

$$Z = P_0 R \quad (67)$$

и будет уменьшать, вообще говоря, момент на некоторую величину

$$\Delta m = (1 - \xi) M_{\text{полн}}, \quad (68)$$

где

$$\xi = \frac{3EJ}{3EJ + P_0 R^3}. \quad (69)$$

Этим уменьшением момента в расчетах можно пренебречь, так как наиболее опасный случай будет во время наполнения и опорожнения трубы, когда внутреннего давления нет.

Далее необходимо подсчитать, пользуясь формулами, влияние продольных сил:

1) от веса грунта и временной нагрузки

$$N = -R_0 (P_s \sin^2 \varphi - P_r \cos^2 \varphi) \quad (70)$$

для низа и верха трубы получим значение N при $\varphi = 0$ и $\varphi = 180^\circ$;

2) от собственного веса трубы в верхней половине

$$N = R_0 g (0,26 \cos \varphi - \varphi \sin \varphi) \quad (71)$$

в нижней половине

$$N = R_0 g (-0,26 \cos \varphi_1 + \varphi_1 \sin \varphi_1 - \pi \sin^2 \varphi_1). \quad (72)$$

Значения N у верха трубы получим при $\varphi = 0$, у боков трубы при $\varphi = 90^\circ$;

3) от веса заполняющей трубу воды

$$N = \gamma R^2 \left(1 - \frac{\cos \varphi}{2} - \frac{\varphi}{2} \sin \varphi \right). \quad (73)$$

Значения для N для верха и низа трубы получим при $\varphi = 0$ и для боков трубы при $\varphi = 90^\circ$.

Результаты вычислений при расчете могут быть сведены в такую таблицу:

№№ по пор.	Наименование нагрузок	Моменты кг/м			Продольн. силы кг		
		у подошвы	у боков	у верха	у подошвы	у боков	у верха
1	Давление грунта и вр. нагрузки	$+M$	$+M$	$+M$	$-N_n$	$-N_6$	$-N_v$
2	Собств. вес трубы . . .	$+M'_n$	$-M'_6$	$+M'_v$	$-N'_n$	$-N'_6$	$-N'_v$
3	Вес заполн. трубу воды .	$+M''_n$	$-M''_6$	$+M''_v$	$+N''_n$	$+N''_6$	$+N''_v$
4	Внутрен. давл. воды .	—	—	—	P	P	P
	Сумма момент. и пр. сил при заполн. трубе . .	$\sum M_0$	$\sum M_1$	$\sum M_2$	$\sum N_0$	$\sum N_1$	$\sum N_2$
	Сумма момент при трубе без. давл.	$\sum M'_0$	$\sum M'_1$	$\sum M'_2$	$\sum N'_0$	$\sum N'_1$	$\sum N'_2$

Дальше подсчитываем напряжения по наибольшему моменту, пользуясь обычными формулами, применяемыми при расчете железобетонных сооружений.

При этом нужно отметить, что расчет следует вести также, рассматривая моменты и продольные силы, действующие по вертикальному диаметру трубы, когда получаются растягивающие напряжения в дереве.

В результате вышеприведенных подсчетов может оказаться, что арматуры, поставленной из расчета на восприятие внутреннего давления и сил разбухания, недостаточно, и тогда придется или соответственно увеличить арматуру, или, в случае применения опор, сконструировать их так, чтобы усилия, действующие в крайних точках горизонтального диаметра и стремящихся раздуть трубу, были восприняты этими опорами.

Для расчета труб на внешнюю нагрузку, помимо приведенных выше формул Пробста, можно пользоваться также формулами Форхеймера, Завацкого, Тома и т. п. но нужно сказать, что все они рассматривают трубы, лежащие на сплошном основании. Данные о расчете труб, лежащих на опорах можно найти в труде Форо'я—Drang und Zwang, а также в труде Н. Schorer (Proceed. Ames. Soc. of. civ. Eng 1931 г. № 7). Изложение приведенных в вышеназванных трудах формул заняло бы слишком много места, поэтому автор и отсылает читателя к первоисточникам.

Рассмотрим остальные силы, действующие на трубопровод.

Температурные силы. В деревянных трубах температурные силы, в виду малой теплопроводности дерева, имеют самое незначительное влияние. Но все же для полноты и сравнения с другими трубопроводами приводим соображения относительно расчета.

Участок трубопровода длиной l при повышении температуры на $t^\circ \text{C}$ стремится удлиниться на величину

$$\Delta l = \alpha t l. \quad (74)$$

Если этому удлинению что-нибудь препятствует, то возникают так называемые температурные усилия. При таких материалах как железо, железобетон и т. п. и в особенности тогда, когда трубопровод не защищен засыпкой или каким-либо другим покрытием, температурные усилия могут приобрести значительную величину.

Если повышение или понижение температуры $= t^{\circ}\text{C}$, то в закрепленном трубопроводе возникают сжимающие или растягивающие усилия, которые можно выразить следующей формулой

$$P_t = w \cdot E \cdot f \cdot t, \quad (75)$$

где P_t — сжимающая или растягивающая сила при нагревании или охлаждении на $t^{\circ}\text{C}$ в т,

w — коэффициент расширения (см. таблицу 42),

E — модуль упругости в т/м^2 ,

f — поперечное сечение стенок трубы в м^2 ,

t — повышение или понижение температуры в градусах по формуле (75) показывает, что сжимающая или растягивающая сила не зависит от длины участка трубопровода.

Если участок трубопровода между двумя неподвижными точками состоит из нескольких отдельных участков с разными поперечными сечениями материала, то температурная сила равна:

$$P_t = wE \frac{\sum l}{\sum f} t. \quad (76)$$

ТАБЛИЦА 42.

Материал трубы	Модуль упругости E т/м^2	Коэфф. расширения w	wE т/м^2
Железо и сталь	20 000 000	0,000012	240
Бетон и железобетон	2 000 000	0,000010	20
Дерево	1 000 000	0,000004	4

В бетонных трубах возникают еще усадочные напряжения, которые учитываются также, как температурные, причем за эквивалент усадочных усилий можно при нормальной конструкции бетонных труб принять понижение температуры на 10°C .¹

В деревянных трубах не может быть сил поперечного сжатия, так как клепки в швах могут иметь движение, но в бетонных и железных трубах эти силы могут приобрести значительную величину. Приводим для полноты также и соображения об учете этих сил.

Внутреннее давление в трубопроводе вызывает поперечное сжатие стенок, равное

$$\Delta r' = \frac{p}{mE} l. \quad (77)$$

Если этому сжатию что-нибудь препятствует, то в стенках возникают соответствующие растягивающие усилия

$$P_g = \frac{\sigma f}{m}. \quad (78)$$

¹ F. B u n d s c h u. Druckrohrleitungen.

При $\sigma = \frac{DH}{2s}$ и $f = \pi ds$

$$P_g = \frac{\pi D^2 H}{2m} \quad (79)$$

где P_g — растягивающая сила от поперечного сжатия в т,
 D — внутр. диаметр трубы в м,
 H — напор в м (статическ. и динамич.),
 m — число Пуассона,
 E — модуль упругости в т/м²,
 σ — растягивающие напряжения в стенках вследствие внутреннего давления в т/м²,
 f — поперечное сечение стенок в м²,
 s — толщина стенок трубы в м,
 l — длина участка труб в м.

При этом:

для железных и стальных труб $m = 3,3$,
 для бетонных труб $m = 7$.

Сила поперечного сжатия, так же как и температурные усилия, не зависят от длины трубопровода.

Если участок труб между двумя неподвижными точками состоит из нескольких отдельных участков с разными диаметрами, напорами и толщиной стенок, то сила поперечного сжатия будет

$$P_g = \frac{\pi}{2m} \cdot \frac{\sum D^2 H \frac{l}{f}}{\sum \frac{l}{f}} \quad (80)$$

При практическом решении этого вопроса обыкновенно в формулу

$$P_g = \frac{\pi D^2 H}{2m}$$

подставляют преобладающий на участке диаметр D и средний напор H .

Составляющая сила собственного веса трубы в направлении осей трубопровода на участках, уложенных с небольшим уклоном, воспринимается силами трения.

На участках, уложенных под значительным углом к горизонту, эту силу нужно полностью учитывать.

Силы трения между трубой и опорой различны в зависимости от того, наполнен трубопровод или нет. В деревянных трубах, в виду наличия выступающих частей-бандажей, силы трения настолько значительны, что лишь при больших уклонах следует вести проверку и вычисление осевой силы и принимать меры в виде устройства анкерных опор.

При подсчете сил трения для других трубопроводов отправной точкой могут служить следующие коэффициенты трения. Для железных трубопроводов:

Опоры с железными подушками	0,12
» из бетона	0,20
Непрерывная бетонная плита	0,40
Земля	0,70

Центробежными силами на закруглениях при умеренных скоростях, по сравнению с другими силами, можно пренебречь. Можно пренебречь также и так называемыми *волочащими силами*, которые выражаются формулой

$$P_s = fh_v \quad (81)$$

и представляют ту растягивающую силу, которая появляется в стенках трубы от сил трения жидкости о стенки трубы.

В предыдущей формуле (81)

P_s — сила трения в т,

f — поперечное сечение трубы в свету в м²,

h_v — потеря напора в м.

В сальнике при соединении деревянной трубы с железной возникает сила сальника, между набивкой и стенкой раструба, получающаяся от давления воды. Эта сила стремится раздвинуть обе части трубопровода (рис. 91). Она выражается:

$$P_s = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d^2) H, \quad (82)$$

P_s — сила сальника в т,

d_1 — внешний диаметр набивки в м,

d — внутр. диаметр трубы в м,

H — давление воды в м (статическое плюс динамическое).

При больших давлениях воды эта сила может достигнуть значительной величины.

Переход от большого диаметра к меньшему осуществляется в деревянных трубопроводах путем вставки железной конической части.

При этом в направлении оси трубы действует сила P_n , возникающая от давления воды.

$$P_n = (F_n - F_n) H \quad (83)$$

где: P_n — давление воды на переходную часть в т,

F_n — верхнее живое сечение трубы в м²,

F_n — нижнее живое сечение трубы в м²,

H — общий напор в м (статическ. плюс динамическ.).

Напор H практически измеряется на середине переходной части. Силу P_n выгодно перенести непосредственно на какую-либо неподвижную точку. С этой целью переходы помещают перед закрепленной неподвижно кривой частью, иначе сила P_n должна быть передана ближайшей неподвижной точке через стенки трубы.

В точках перелома должно быть соблюдено равновесие между силами, производимыми напором воды и реакциями опор. Силы, играющие тут ту или иную роль, перечислены выше: Силы, производимые напором воды, равны равнодействующей от давления воды на верхнее и нижнее живое сечение. За действующий напор считается напор в осевом сечении.

Точку перелома, в которой и в горизонтальном направлении имеется угол, можно назвать пространственной точкой перелома. Если α — угол

в горизонтальной плоскости, а β_1 и β_2 —углы в вертикальной плоскости (рис. 92), то пространственный угол определится из уравнения:

$$\cos \alpha = \cos \beta_1 \cos \beta_2 + \sin \beta_1 \sin \beta_2, \quad (84)$$

Величину и направление равнодействующей пространственной точки перелома можно определить, разложив силы, действующие в той и другой стороне угла в каждом случае на горизонтальную и вертикальную силы. Полученные горизонтальные и вертикальные силы складывают в горизонтальную и вертикальную составляющие. Равнодействующая этих сил дает общую силу по величине и направлению.

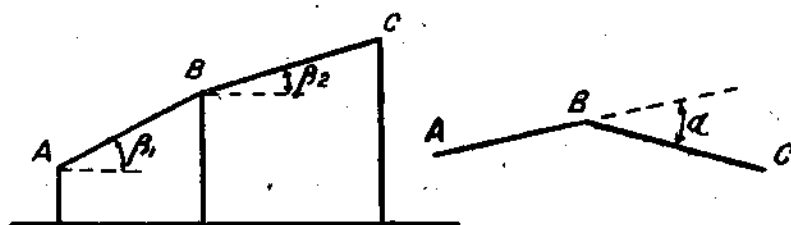


Рис. 92.

Скорости течения в трубопроводах для предупреждения заиливания их не должны быть меньше 0,5—1,0 м.

Перемещение гравия, мелких камней и т. п. начинается при следующих скоростях течения:

ТАБЛИЦА 43.

Положение оси трубы	$Tg \alpha$	Скорость м/сек.
Вертикальная	—	7,00
	2,00	6,00
	1,00	4,00
	0,30	2,00
Наклонена вверх	0,15	1,50
	0,10	1,30
	0,06	1,20
	0,03	1,1
	0,00	1,00
Горизонтальная	0,03	0,9
	0,06	0,8
Наклонена вниз	0,15	0,0

Оседание ила и песка в отстойных бассейнах может происходить при скоростях не выше 0,3 м/сек.

Если скорость больше известного предела, то это влияет на стенки трубопровода.

Наибольшая допустимая скорость зависит от того, сколько взвешенных частиц несет вода. В среднем можно принять следующие наибольшие допустимые скорости в напорных трубопроводах:

Бетонные трубы — 6 м/сек.

Железные трубы — 15 м/сек.

Деревянные трубы — 12 м/сек.

Экономически выгодные скорости при учете потерь напора практически всегда меньше вышеприведенных значений и зависят от многих обстоятельств.

В длинных пологих трубопроводах в общем не допускают скоростей больше 3,0 м/сек.

Экономически выгодные диаметры (а следовательно и скорости) для деревянных труб можно точно выяснить лишь путем сличительных подсчетов. Приблизительно наивыгоднейший диаметр деревянного трубопровода можно определить, заменив мысленно деревянный трубопровод железным, и вычислить по нижеприведенным формулам наивыгоднейший диаметр такой железной трубы, а затем считать, что определенный диаметр будет наиболее экономичным и для деревянной трубы. Можно меньшую стоимость деревянной трубы учесть, подставив соответственно меньшую единичную стоимость железа.

По свидетельству Р. Bundschu¹ такой метод приводит к достаточно правильным результатам.

W. Bauersfeld² и Adolf Ludin³ разработали математические приемы расчета определения наиболее выгодного диаметра труб.

С увеличением диаметра труб стоимость трубопровода увеличивается, но зато уменьшаются потери напора, т. е. повышается пропускная способность. Этот выигрыш в производительности не сказывается существенно на увеличении стоимости остальных частей оборудования источника водоснабжения. Таким образом мы получим экономически наиболее выгодный диаметр, когда годовая стоимость трубопровода плюс годовой денежный эквивалент потери напора дает минимум.

Существуют три вида эксплуатационных устройств:

1) турбинные устройства,

2) насосные устройства (водоснабжение),

3) турбинно-насосные устройства (силовая установка с запасным водоемом).

Для турбинных устройств экономический диаметр трубы получается по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{101,3 \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \sigma W_1 (t_1 Q_1^3 + t_2 Q_2^3 + \dots)}{\left(1 + \frac{P}{100}\right) \gamma \cdot C^2 \cdot H \cdot W_2}} \quad (85)$$

где D — экономически наивыгоднейший диаметр (внутр.) в м,

η_1 — к. п. д. турбины (обычно 0,82),

η_2 — к. п. д. генератора (обычно 0,82),

η_3 — коэффиц. сравн. качества сваренных и клепаных швов (0,70—0,90),

σ — допускаемое напряжение материала трубы в т/м²,

W_1 — средняя цена киловатт-часа на клеммах генератора

t_1, t_2 — число часов работы при впусках воды в турбину,

Q_1, Q_2 — впуски воды в турбину м³/сек.,

¹ F. Bundschu. Druckrohrleitungen.

² W. Bauersfeld: Die Wirtschaftliche Berechnung der Hochdruckturbinenleitungen.

³ Adolf Ludin. Die Wirtschaftliche Bemessung von Triebwasserleitungen.

p — процент надбавки к весу трубы на флянцы, раструбы и пр. (ок. 10%),

γ — удельный вес материала трубы (жел. 7,8),

C — коэффициент Шези,

H — общий напор в м,

W_2 — годовая стоимость (процент амортизации и ремонт одной тонны затраченного железа, транспорт, монтаж, фундамент, опоры, земл. работы и пр.).

Насосные устройства:

$$D = \sqrt[7]{\frac{101,3 \cdot \eta_3 \cdot \sigma_1 \cdot W_2 (t_1 Q_1^3 + t_2 Q_2^3 + \dots)}{(1 + \frac{p}{100}) \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot \gamma \cdot C^3 \cdot H \cdot W_2}} \quad (86)$$

где: D — экономически наивыгоднейший диаметр в м,

η_3 — коэфф. сравнительного качества сваренного и клепанного шва (0,70—0,90),

σ — допускаемое напряжение для материала трубы,

W_2 — стоимость одного киловатт-часа перед клеммой мотора,

t_1, t_2 — число часов эксплуатации при производительности,

Q_1, Q_2 — производительность в м³/сек,

p — надбавка к весу трубы в процентах для фланцев, раструбов, расширит. частей и пр. (обычно—10%),

η_4 — к. п. д. насоса (0,80),

η_5 — к. п. д. эл. мотора (0,90),

γ — удельный вес материала трубы (железо—7,8 т/м³),

C — коэффициент Шези,

H — общий напор в м,

W_2 — годовая стоимость (проценты, амортизация и ремонт) 1 т затраченного железа (включая транспорт, монтаж, основания, земляные работы и пр.).

Если насос приводится в действие не посредством мотора, а, например, при помощи пара, то η_5 отпадает, но зато стоимость киловатт-часа (W_2) перед клеммой мотора нужно в этом случае заменить стоимостью киловатт-часа на валу насоса.

Турбинно-насосное устройство.

Для определения наивыгоднейшего диаметра применяется формула:

$$D = \sqrt[7]{\frac{101,3 \cdot \eta \cdot \sigma_2 [\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot W_1 (t_1 Q_1^3 + t_2 Q_2^3 + \dots) + \frac{W_2}{\eta_4 \cdot \eta_5} (t_{p1} Q_{p1}^3 + t_{p2} Q_{p2}^3)]}{(1 + \frac{p}{100}) \cdot \gamma \cdot C^3 \cdot H \cdot W_2}} \quad (87)$$

где D — экономически наивыгоднейший диаметр в м,

η_1 — к. п. д. турбины (0,82),

η_2 — к. п. д. генератора (0,92),

η_3 — коэфф. сравн. качества сваренного и клепаного шва (0,70—0,90),

η_4 — к. п. д. насоса (0,80),

η_5 — к. п. д. электромотора к насосу (0,90),

σ — допускаемое напряжение для материала труб т/м²,

W_1 — средняя цена киловатт-часа на клеммах генератора,

W_2 — стоимость киловатт-часа перед клеммой мотора (рабочий ток насоса),

t_1, t_2 — число часов эксплуатации турбин при пусках воды в турбину,
 Q_1, Q_2 — пуски воды в турбины м³/сек.,
 tp_1, tp_2 — число часов работы насосов при производительности,
 Qp_1, Qp_2 — производительность насосов в м³/сек.,
 p — надбавка к весу труб в процент. на фланцы, раструбы и пр. (10%),
 γ — уд. вес материала труб (жел. 7,8 т/м³),
 C — коэффициент Шези,
 H — полный напор,
 w_2 — годовая стоимость одной тонны затраченного железа.
 Для определения экономически наивыгоднейшего диаметра можно
 также пользоваться следующими приближенными формулами:
 Турбинные установки:

$$D = \sqrt[7]{\frac{60570 \cdot W_1 \cdot t \cdot Q^3}{C^2 \cdot H \cdot W_2}} \quad (88)$$

где D — наивыгоднейший диаметр в м,
 W_1 — средн. цена киловатт-часа на клеммах генератора,
 t — число часов эксплуатации в год,
 Q — средний в году пуск воды в турбины в м³/сек.,
 C — коэффициент Шези,
 H — полный напор в м,
 W_2 — годовая стоимость (‰) амортизация, ремонт 1 т затраченного
 железа.

Насосные установки:

$$D = \sqrt[7]{\frac{101,3 \cdot \eta_3 \cdot \sigma \cdot W_3 (t_1 Q_1^3 + t_2 Q_2^3 \dots)}{\left(1 + \frac{p}{100}\right) \cdot \gamma_4 \cdot \eta_5 \cdot \gamma \cdot C^2 \cdot H \cdot W_2}} \quad (89)$$

D — наивыгоднейший диаметр в м,
 η_3 — коэф. сравн. качества свар. и клеп. швов (0,70—0,90),
 W_3 — стоимость киловатт-часа перед клеммой мотора,
 t_1, t_2 — число часов эксплуатации в год,
 Q_1, Q_2 — средняя в году производительность м³/сек.,
 C — коэффициент Шези,
 H — полный напор в м,
 W_2 — годовая стоимость 1 т затраченного железа,
 σ — допускаемое напряжение для материала трубы
 Турбинно-насосные устройства:

$$D = \sqrt[7]{\frac{60570 (W_1 t Q^3 + 1,84 \cdot W_3 \cdot tp Q^3 p)}{C^2 \cdot H \cdot W_2}} \quad (90)$$

D — наивыгоднейший диаметр в м,
 W_1 — средняя цена киловатт-часа на клеммах генератора,
 t — число часов эксплуатации турбин в году,
 Q — средний в году впуск воды в турбины в м³/сек.,
 W_3 — стоимость киловатт-часа перед клеммами мотора,
 Q_p — средняя годовая производительность насосов в м³/сек.,
 tp — число часов работы насосов в году,
 C — коэффициент Шези,
 H — полный напор в м,
 W_2 — годовая стоимость 1 т. затраченного железа.

Величины W_1, C и H во всех вышеприведенных формулах меняются
 в зависимости от диаметра D . Следовательно, сначала надо задаться ими

для какого-либо значения D , взятого приближенно, и если потом расчет даст существенно иное значение для D , то его надо повторить, соответственно изменив значение величин.

Величину W_1 , т. е. цену киловатт-часа на клемме генератора, мы получим, если годовую стоимость всех расходов на установку разделим на число имеющихся за год на клеммах генератора киловатт-часов.

Годовую стоимость W_2 для 1 т затраченного железа мы получим, если годовую стоимость устройства трубопровода разделим на вес труб всего трубопровода.

Все вышеприведенные формулы взяты автором из труда F. Bundschu-Druckrohrleitungen.

К определению экономически наивыгоднейшего диаметра можно также подойти следующим путем.

Наивыгоднейшим диаметром будет тот, при котором окажется наименьшей сумма:

а) стоимости трубы со всеми работами, отнесенными по ежегодным уплатам — T ,

б) стоимости машин, по ежегодным уплатам — M ,

в) годовой стоимости эксплуатации — $\mathcal{E}$,

т. е. нужно найти минимум суммы

$$E = T + M + \mathcal{E} \quad (91)$$

$$1. T = \frac{KLp}{100} \quad (92)$$

где K — стоимость 1 пог. м трубы, которую далее выражаем через диаметр D ,

p — процент ежегодной уплаты за постройку трубы.

$$2. M = \frac{Q(H+H_1)1000}{75} \cdot m \cdot \frac{p_2}{100}, \quad (93)$$

где Q — расход воды в м³/сек,

$H+H_1$ — полный напор в м,

p_2 — погашение капитала и амортизация в процентах,

m — стоимость машин.

3. Ежегодная стоимость эксплуатации:

$$\mathcal{E} = \frac{(H+H_1)1000}{75} n, \quad (94)$$

где n — стоимость эксплуатации 1 л. с. в год.

Подставляя величины T , M и $\mathcal{E}$ в уравнение (91) получим:

$$E = \frac{KLp}{100} + \frac{Q(H+H_1)1000}{75} \cdot m \cdot \frac{p_2}{100} + \frac{(H+H_1)1000}{75} n. \quad (95)$$

Выразим K — стоимость 1 пог. м трубы через диаметр.

Пусть

$$K = \mathcal{K} + \mathcal{Z} + C, \quad (96)$$

где $\mathcal{K}$ — стоимость металлической арматуры трубы на 1 пог. м,

$\mathcal{Z}$ — стоимость клепки на 1 пог. м,

C — стоимость работ по сборке, монтажу, земляным работам, транспорту и пр.

Выразим $\mathcal{K}$ и $\mathcal{Z}$ в зависимости от диаметра D .

Принимая за средний напор P_{cp} , имеем растягивающее усилие на бандаж на 1 пог. м трубы

$$S = P_{cp} R \cdot 100 \text{ кг}, \quad (97)$$

где R — внутр. радиус трубы в см

$$R = \frac{100D}{2},$$

где D — диаметр трубы в м

$$S = \frac{PD}{2} 10^4.$$

Сечение бандажей на 1 пог. м трубы будет

$$fe = \frac{P_{cp} D \cdot 10^4}{S} = \frac{P_{cp} 10^4 D}{1500} = 6,6 \cdot P_{cp} \cdot D. \quad (98)$$

Задаваясь примерной толщиной клепки t и диаметром бандажа d , получим диаметр охватывающего трубу бандажа

$$Do = D + 2t + d. \quad (99)$$

Объем железа бандажей:

$$\left. \begin{aligned} v &= \pi D \cdot fe \cdot 100 = \pi (D + 2t + d) 6,6 \cdot P \cdot D \cdot 100 = \\ &= 3,14 \cdot 100 \cdot 6,6 \cdot P_{cp} \cdot D (D + 2t + d) = \\ &= 21 \cdot P_{cp} \cdot D (D + 2t + d) \gamma \end{aligned} \right\} \quad (100)$$

а вес железа на 1 пог. м трубы

$$g = \gamma v,$$

где γ — уд. вес железа — 7,85. Подставляя

$$g = 7,85 \cdot v = 7,85 \times 21 \cdot P_{cp} \cdot D (D + 2t + d), \quad (101)$$

прибавляя 40% на башмаки, гайки, шайбы, обрезки, имеем

$$g = 1,4 \cdot 7,85 \cdot 21 \cdot P_{cp} D (D + 2t + d). \quad (102)$$

Если 1 кг железа в деле стоит q_0 , то получим

$$Ж = q_0 \cdot 231 \cdot P \cdot D (D + 2t + d). \quad (103)$$

Стоимость клепки на 1 пог. м трубы обозначим через 3.

Если стоимость клепки принять за 1 м³, то получим стоимость 1 пог. м трубы:

$$3 = q_1 \pi \cdot D. \quad (104)$$

Стоимость сборки, опор, земляных работ при незначительных изменениях диаметра трубы считаем постоянной—С.

По формуле Scobey'я

$$\begin{aligned} i &= 0,000885 \frac{v^{1,8}}{D^{1,17}}, \text{ откуда} \\ v &= 49,7 \cdot i^{0,556} D^{0,65}, \\ v &= \frac{4Q}{\pi D^2}, \\ i &= \frac{0,000885}{D^{1,17}} \left[\frac{4Q}{\pi D^2} \right]^{1,8} = \frac{0,000885 \cdot 4^{1,8} \cdot Q^{1,8}}{D^{4,77} \cdot 3,14^{1,8}}, \end{aligned} \quad (105)$$

Потеря на длине трубопровода L

$$H = i, L = \frac{0,000885 \cdot 4^{1,8} \cdot Q^{1,8}}{3,14^{1,8} \cdot D^{4,77}} \quad (106)$$

Если обозначим известные величины

$$\frac{0,000885 \cdot 4^{1,8} \cdot Q^{1,8} \cdot L}{3,14^{1,8}} \text{ через } B,$$

то получим:

$$H = \frac{B}{D^{4,77}} \quad (107)$$

В формулах (103); (104) и (106) все величины за исключением диаметра известны. Обозначим:

$$231q_0 P_{cp} \text{ через } a,$$

$$2t + d \quad \text{„} \quad b,$$

$$q_1 t \pi \quad \text{„} \quad c.$$

Тогда формула (96) напишется так:

$$K = aD(D + b) + cD + C. \quad (108)$$

Подставляя значение K , выраженное через D , в формулу (95), получим:

$$E = [aD(D + b) + cD + C] \frac{Lp}{100} + Q(H_1 + \frac{B}{D^{4,77}} \times \frac{1000 mp_2}{75 \times 100} + \left. \begin{aligned} &+ \left(H_1 + \frac{B}{D^{4,77}}\right) \frac{1000 n}{75} \end{aligned} \right\} \quad (109)$$

Если взять от последнего выражения производную по D и приравнять ее нулю, то получим уравнение, удовлетворяющее условию минимума

$$E = T + M + \mathcal{E}.$$

После многочисленных преобразований, приравненной нулю производной $\frac{dE}{dD}$, получим уравнение такого вида:

$$A_1 D^{6,77} + A_2 D^{3,77} - A_3 = 0. \quad (110)$$

Решая это уравнение, определим значение наивыгоднейшего диаметра. Уравнение это можно решить графически, нанося на график величины $T, M, \mathcal{E}$ при различных значениях диаметра.

Строительная стоимость трубы, приведенная к ежегодной уплате

$$T = \frac{KLp}{100} = \frac{L \cdot p}{100} [aD(D + b + cD + C)]. \quad (111)$$

Постоянной C пренебрегаем, так как она почти не влияет на вычисления.

После подстановок и преобразований, получим выражение такого вида:

$$T = B_1 D^2 + B_2 D \quad (112)$$

где D — выражено в м, а T в руб.

Давая диаметру разные значения, получим соответствующую величину T .

Таюже последовательно вычисляем и наносим на график различные значения $M + Э$. Затем складываем графически кривые T и $(M + Э)$ и находим точку минимума на суммарной кривой. Эта точка и определит наивыгоднейший диаметр трубы.

10. Свойства, достоинства и недостатки деревянных клепочных труб.

Деревянные трубы имеют ряд свойств, отличающих их от труб, изготовленных из других материалов. Эти свойства обуславливаются тем обстоятельством, что деревянные трубы делаются из пористого материала, содержащего вещества, способные в определенных условиях загнивать. В деревянных трубах, в противоположность трубам металлическим, стенки трубы служат только для удержания воды или другой жидкости, перемещающейся по трубам, внутреннее же давление воспринимается арматурой. Материал деревянных клепочных труб не однороден, так как трубы состоят из деревянных стенок и железной арматуры, да и самые стенки делаются из материала разных пород, разного качества, разной прочности и плотности. Все эти обстоятельства, как выше указано, создают те отличительные признаки деревянных труб, которые и являются предметом, подлежащим обсуждению в настоящей главе.

Остановимся подробнее на главнейших свойствах деревянных труб, присущих только трубам этого вида.

1. Пропускная способность деревянных труб в общем больше, чем труб чугунных и железных.

F. Scobey¹ приводит нижепомещенную таблицу для суждения о пропускной способности деревянных клепочных труб по сравнению с новыми чугунными трубами, новыми железными клепаными, чугунными 10-летнего срока службы и чугунными 20-летнего срока службы. Эти виды труб учтены различными коэффициентами C_w в формуле Williams'a и Hazen'a, а именно:

$C_w = 130$ для новой чугунной трубы,

$C_w = 110$ для новой железной или стальной клепаной или 10-летней чугунной,

$C_w = 100$ для 20-летней чугунной или 10-летней клепаной железной или стальной трубы.

Величины, приведенные в таблице, даны в принятых американцами футовых мерах, а так как в этой таблице важно выявление процентных соотношений в скоростях, соотношения же эти остаются неизменными независимо от принятых единиц измерений, то нет нужды пересчитывать таблицу в метрические меры.

Скорости в деревянных трубах для соответствующих диаметров вычислены по формуле Scobey'я. За основание при сравнении скоростей были приняты скорости в металлических трубах. Например, потери напора в новой чугунной трубе ($C_w = 130$) диаметром 72" (80 мм) при скорости 3,01 ф/сек составляют 0,349 ф. (на 1000 ф. длины). Для той же скорости в новой клепаной стальной или железной трубе или чугунной

¹ F. Scobey. The flow of water in wood stave pipes.

трубе со сроком службы 10 лет ($C_w = 110$) потери напора в такой же трубе составляют 0,476 ф. При той же скорости в 10-летней стальной клепаной или 20-летней чугунной ($C_w = 100$) потери напора составляют 0,570 ф. Скорость в деревянной клепочной трубе при потере напора 0,349 ф. будет 2,90 ф. или на 3,6% меньше, чем в такой же новой чугунной трубе при той же потере напора. Скорость в такой же деревянной клепочной трубе при потере напора 0,476 ф. будет 3,50 ф/сек. или на 16% больше, чем в новой железной или стальной клепаной трубе или 10-летней чугунной.

ТАБЛИЦА 44.

Диаметры дм	Чугун. и клепан. жел. трубы				Дерев. клеп. трубы			% скорости в дер. труб. по отнош. к таким же в метал. труб. (ст. 2) соотв. 6, 7, 8		
	Скор. ф/сек	Потеря напора при			Скорости соотв. потерям в столб. 3, 4, 5					
		$C_w=130$	$C_w=110$	$C_w=100$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	1,02	1,380	—	2,230	0,94	—	1,24	-7,8	—	+22
4	3,06	10,500	—	17,100	2,90	—	3,90	-5,2	—	+26
4	6,64	44,000	—	72,000	6,50	—	8,70	-2,1	—	+31
12	0,99	0,360	0,480	0,580	0,920	1,08	1,25	-7,1	+9,1	+21
12	2,96	2,730	3,710	4,430	2,83	3,33	3,70	-4,4	+12,0	+25
12	6,89	13,200	17,900	21,300	6,80	8,00	8,80	-1,3	+16,0	+28
36	1,09	0,121	0,164	0,196	1,02	1,25	1,34	-6,4	+15,0	+23
36	3,06	0,810	1,110	1,320	2,90	3,50	3,80	-5,2	+14,0	+24
36	7,00	3,740	5,100	6,100	6,90	8,10	9,00	-1,4	+16,0	+29
72	0,98	0,044	0,060	0,072	0,92	1,10	1,20	-6,4	+12,0	+22
72	3,01	0,349	0,476	0,570	2,90	3,50	3,80	-3,6	+16,0	+24
72	7,11	1,720	2,340	2,790	7,00	8,30	9,10	-1,4	+17,0	+28
108	1,10	0,034	0,046	0,055	1,00	1,20	1,35	-8,1	+11,0	+23
108	3,14	0,237	0,321	0,382	3,00	3,60	4,00	-4,5	+15,0	+27
108	6,92	1,020	1,380	1,650	6,90	8,00	9,00	-0,3	+16,0	+30
144	1,06	0,023	0,031	0,037	1,00	1,20	1,35	-5,7	+13,0	+21
144	3,01	0,156	0,211	0,252	2,90	3,40	3,80	-3,7	+13,0	+26
144	7,07	0,760	1,230	1,230	7,90	8,30	9,10	-1,0	+17,0	+29

Скорость в этой же деревянной трубе при потере напора 0,570 ф. на 1000 ф. будет 3,80 ф/сек или на 24% больше, чем в 10-летней железной клепаной трубе или в 20-летней чугунной при той же потере напора.

Как видно из таблицы 44, сравнительная пропускная способность изменяется в зависимости от диаметров и средних скоростей. Но вообще, рассматривая таблицу, можно вывести заключение, что пропускная способность деревянных клепочных труб, примерно, на 5% меньше пропускной способности новых чугунных труб, на 15% больше, чем в новых железных клепаных трубах и 10-летних чугунных и на 25% больше, чем в 10-летних железных клепаных трубах и 20-летних чугунных.

Одна из американских фирм ¹ дает следующую таблицу эквивалентных диаметров труб из разного материала и разного срока службы:

¹ Remco Redwood Pipe.

ТАБЛИЦА 45.

Деревянные трубы мм	Чугунные трубы		Железные трубы	
	Новые мм	10-летние мм	Новые мм	10-летние мм
300	312	331	331	400
600	625	662	662	687
900	925	988	988	1 025
1 200	1 237	1 312	1 312	1 412
1 500	1 550	1 650	1 650	1 712
2 400	—	—	2 637	2 737
3 600	—	—	3 925	4 087

Как видно из этой таблицы, пропускная способность деревянных труб считается практически больше пропускной способности металлических труб, причем эта разница с увеличением срока службы металлических труб возрастает в пользу труб деревянных.

2. Деревянные трубы обладают меньшей теплопроводностью, чем трубы металлические или бетонные, а потому могут быть укладываемы на меньшую глубину. Существует много примеров, когда деревянные трубы уложены по поверхности. Из уложенных в Союзе трубопроводов большого диаметра некоторые также уложены поверху. Из них можно назвать следующие: диаметром 1000 мм на Акбашской гидроустановке (С. Кавказ), трубопровод диаметром 1600 мм в Боровичском округе Ленинградской области, трубопровод диаметром 1100 мм на Хариузовской гидростанции (Алтай) и несколько трубопроводов на Кавказе. Все эти трубопроводы, проложенные частью в местностях с суровым климатом, с морозами, доходящими зимой до 50°C (Алтай), работают бесперебойно, и никаких недоразумений за время их работы с ними не происходило. Правда, во всех этих трубопроводах имеется налицо более или менее значительная скорость. Вода же, находящаяся в движении даже в открытых каналах при скорости не менее 0,6 м/сек, ¹ уже не замерзает. Но во всяком случае деревянные трубы, даже замерзнув, не представляют такой опасности, как трубы чугунные, которые под влиянием мороза разрушаются. Из иностранной (американской) литературы автору известен лишь один случай катастрофического замерзания деревянной трубы. Приводим описание этого случая ².

Гор. Everett Wash. снабжается водой из р. Sultan по деревянной непрерывной трубе протяжением $26\frac{1}{2}$ миль, диаметром 28". Около 8 миль этого водовода проложены по поверхности земли и каждый год в течение зимнего времени в трубе образовывалось некоторое количество льда, которое обыкновенно не влияло на подвод воды к городу. В 1925 году зима в штате Washington отличалась необыкновенной суровостью. Под влиянием этих холодов в трубе образовался значительный слой льда, который, увеличиваясь, сократил в конце концов диаметр трубы до 8", вследствие чего город Everett на 5 суток был лишен воды.

Обычно в С.-З. штатах Сев. Америки практикуется употребление деревянных клепочных труб с засыпкой их там, где это возможно, так как

¹ Н. Рабоvскы. Holzdaubenröhre.

² Eng. News-Record 1925. Dec. 31, p. 1077.

укладка трубопроводов по поверхности создает в некоторых случаях опасность замерзания и повреждения трубопроводов какими-либо внешними причинами. Описываемый водовод был прикрыт землей вообще недостаточно, а часть его, как выше указано, совсем не была засыпана. В продолжение нескольких дней до катастрофы свирепствовали сильные штормы с резким ледяным ветром и большими морозами. В продолжение этого периода было замечено, что у стенок трубы образовался слой льда толщиной 3", причем лед нарастал со скоростью 1" в 24 часа. Погода все более ухудшалась, и толщина льда возросла до 10" с каждой стороны трубы, оставив лишь 8" в центре. Вся незасыпанная часть трубы на протяжении 8 миль представляла такую картину. Толщина льда точно определялась через отверстия, просверленные в стенках трубы и в слое льда. Кроме того сокращение диаметра было проверено путем измерения количества воды, подаваемого трубопроводом. Эти вычисления диаметра по расходу близко подходили к величине 8", полученной прямым измерением слоя льда. Когда погода изменилась к лучшему, солнце нагрело трубу, и оттаявший лед был вынесен в отверстие в низовом конце трубы, скорость воды в трубе равнялась 3,5 ф/сек.

Во время замерзания трубы были обнаружены следующие повреждения. Клепки трубы были соединены металлическими язычками, вставленными в прорезы на торцах клепок. Вследствие действия мороза часть клепок над прорезами отщепилась. Этого явления не наблюдалось в тех местах, где бандаж приходился у самого соединения и был крепко затянут. Поэтому там, где трубе угрожает опасность промерзания, нужно следить, чтобы бандажи находились у торцевых соединений клепок в состоянии не больше 5 см друг от друга и были хорошо затянуты.

В наших условиях до настоящего времени мы укладываем деревянные трубы ниже линии промерзания, так как влияние понижения температуры на деревянные трубы в точности неизвестно.

В настоящее время в лаборатории Ленинградского отделения Всесоюзного института водоснабжения ведутся опыты, имеющие целью выяснить действие замерзания на деревянные трубы. Опыты эти представляют значительный интерес, так как в конечном результате должны дать ответ на вопрос о глубине заложения деревянных труб. Опыты в настоящее время еще не закончены и результаты их будут опубликованы в ближайшем будущем.

3. Деревянные трубы нечувствительны к жидкости, содержащей кислоты, щелочи и другие химические или минеральные примеси.

Дерево не подвержено действию вод, содержащих кислоты или щелочи в слабом разведении, и хорошо переносит действие таких вод. Вообще нужно сказать, что если деревянные трубы небольших диаметров для целей водоснабжения будут вероятно со временем заменены трубами металлическими, применение коих в настоящее время ограничивается дефицитностью их, то применение деревянных труб для перемещения агрессивных вод будет всегда целесообразным именно вследствие хорошей сопротивляемости дерева неконцентрированным растворам кислот и щелочей.

В журнале *Die Wasserkraft und Wasserwirtschaft* (1929 г., Heft 6) описан деревянный трубопровод, построенный на одном из германских калийных заводов для отвода щелочных вод. К материалу трубопровода были предъявлены чрезвычайно строгие требования, так как щелочные воды, подлежащие удалению, были очень концентрированы и в короткий срок разрушали железо. Бетон и кирпичная кладка разрушались еще быст-

рее. Температура щелочных вод колебалась очень сильно и в короткое время изменялась от 10—15 до 80° С и более.

Один из трубопроводов для щелочи (безнапорный) был изготовлен из гончарных труб. Вследствие резко меняющейся температуры протекающей щелочи в гончарных трубах образовались трещины и дыры уже после нескольких месяцев работы, а после года эксплуатации трубопровод пришел в полную негодность. Одновременно с гончарным трубопроводом был уложен деревянный трубопровод. Общая длина трубопровода около 1000 м, диаметр 600 мм. Укладка произведена на глубине 5 м.

Вследствие стесненности места трубопровод был собран из звеновых труб. Однако из опасения, что относительно слабая армировка труб проволокой будет разрушена щелочным грунтом, отдельные звенья трубопровода были армированы железными бандажами, скрепленными башмаками из серого чугуна. Для возможно лучшей защиты бандажей от разъедания они были покрыты асфальтовым лаком и обвиты джутом. Толщина клепок — 30 мм.

После сборки трубопровод был тщательно засыпан. Вследствие давления земли вертикальный диаметр трубы уменьшился приблизительно на 2 см, так что трубопровод получился слегка сплюснутым. Однако на плотность трубопровода такое сплющивание не повлияло. Трубопровод с 1926 г. находится в постоянной работе.

ТАБЛИЦА 46.

Диам. мм	Количество древесины		Количество арма- туры в кг		Колич. чугуни. литья кг	Колич. асфальт. смеси кг	Полный вес в кг	
	м³	кг	звен. труб	непр. труб			звен. труб	напр. труб
100	0,009	4,32	1,57	—	—	1,90	7,79	—
150	0,0125	6,00	2,53	—	—	2,50	11,03	—
200	0,024	11,50	3,83	—	—	3,26	18,59	—
250	0,029	13,90	5,22	—	—	3,90	23,02	—
300	0,033	15,85	7,26	—	—	4,65	27,76	—
350	0,039	18,70	8,27	12,30	4,00	5,27	32,25	35,00
400	0,0445	21,40	11,43	13,50	5,10	5,90	38,73	40,00
450	0,0467	22,40	14,31	—	—	6,67	43,38	—
500	0,058	27,40	15,94	21,33	7,35	7,20	50,54	56,80
600	0,070	33,60	—	29,80	9,00	—	—	72,40
700	0,079	37,90	—	37,00	12,15	—	—	87,05
800	0,094	44,10	—	43,70	9,50	—	—	97,30
900	0,127	61,00	—	52,00	11,55	—	—	114,55
1 000	0,148	71,00	—	66,30	13,23	—	—	150,53
1 100	0,164	78,80	—	72,50	15,00	—	—	166,30
1 200	0,218	104,60	—	85,70	14,00	—	—	204,30
1 300	0,234	112,20	—	117,80	33,00	—	—	263,00
1 400	0,250	120,00	—	131,30	36,80	—	—	288,10
1 500	0,320	153,50	—	152,00	42,50	—	—	348,00
1 600	0,343	165,00	—	171,00	47,70	—	—	383,70
1 700	0,366	175,50	—	190,00	53,20	—	—	418,70
1 800	0,398	191,00	—	211,50	46,20	—	—	448,70
1 900	0,465	194,50	—	239,00	49,45	—	—	482,95
2 000	0,484	232,00	—	252,00	52,80	—	—	536,80
2 500	0,610	292,50	—	323,00	53,75	—	—	669,25
3 000	0,820	394,00	—	380,00	67,50	—	—	841,50

Другой трубопровод для отвода щелочной (калиевой) воды был построен на заводе в Wehra Tahl. Щелочные воды были отведены в старую заброшенную шахту и под давлением подавались в расщелины горных пород. Трубопровод был сделан из звеновых машинно-обмоточных труб диаметром 400 мм. Клепка была сделана из пихты. Толщина клепки 25 мм. Муфты скреплялись бандажми, причем на каждую муфту длиной 25 см было поставлено по три бандаж диаметром 12 мм. Трубопровод проложен на глубине 60 см от поверхности земли. По прошествии некоторого времени было установлено, что давления 4—5 атм., под которым работал трубопровод, недостаточно для нагнетания жидкости в расщелины, а потому оно было повышено до 7—8 атм. В стыках у муфт появилась течь, как следствие того, что бандаж на муфтах вдавился в мягкую пихту, из которой они были сделаны. Установкой на каждую муфту четвертого бандаж и устройством подкладок под бандажми течь была ликвидирована.

У нас также деревянные трубы начинают находить применение на химических, кожевенных и др. заводах, где требуется перемещение кислотных, щелочных и других жидкостей.

4. Далее, вес деревянных труб меньше веса чугунных или железных, что, конечно, облегчает их транспорт, удешевляет его, а также делает деревянные трубы более удобными при манипуляциях с ними во время сборки и укладки по сравнению с трубами металлическими.

Вес деревянных труб одного и того же диаметра находится в зависимости от расчетного напора, так как с повышением этого последнего увеличивается количество арматуры в виде железа, чугунного литья или проволоч.

В вышеприведенной таблице (стр. 159) дается теоретический вес 1 пог. м деревянных труб для среднего давления 4 атм.

Для сравнения приводим вес труб чугунных и железных (см. табл. 47).

5. Деревянные трубы имеют значительный срок службы, который позволяет им конкурировать с трубами, изготовленными из других материалов.

В начале настоящего труда был приведен ряд примеров долговечности сверленных деревянных труб, которые показывают, что сверленные деревянные трубы могут работать в течение столетий. Что же касается деревянных клепочных труб, то срок их службы меньше, но все же американцы ставят срок службы деревянных клепочных труб на второе место после чугунных, относя железные трубы на третье место. У нас нет сколь-нибудь значительного опыта применения деревянных клепочных труб, который позволил бы утверждать о том или ином сроке их службы, хотя имеются сведения о построенной на одном из Уральских заводов в 1892 г. деревянной клепочной трубе диаметром 1000 мм, которая работает до настоящего времени, т. е. уже 40 лет. Для суждения о долговечности труб обращаемся к американским данным. В журнале «Eng. News» за 1915 г. имеется статья D. C. Henpy с результатами исследования деревянных труб, причем обследованию подвергались как трубы непрерывные, так и звеновые.

Ниже приведены результаты обследований (табл. 48—51).

Нужно вообще сказать, что при состоянии полного насыщения дерева трубы служат хорошо. При незначительном давлении еловые трубы пропадают очень быстро.

ТАБЛИЦА 47.

№№ по порядку	Диаметр трубы мм	Вес одного пог. м		
		Чуг. трубы с раструбами кг	Чуг. трубы с фланцами кг	Железные клепа- ные трубы для напора 4 атм. с заклепками кг
1	100	23,19	24,66	—
2	150	37,78	39,43	—
3	200	54,98	57,46	—
4	250	74,58	77,85	—
5	300	96,89	102,47	33,06
6	350	115,45	124,47	—
7	400	141,77	151,81	49,82
8	450	170,78	185,06	—
9	500	202,23	218,70	70,75
10	600	273,18	293,95	94,00
11	700	353,93	383,33	115,00
12	800	445,69	491,32	—
13	900	547,70	602,85	197,20
14	1 000	660,87	727,70	220,40
15	1 100	—	—	—
16	1 200	918,43	1027,03	301,50
17	1 300	—	—	—
18	1 400	—	—	429,20
19	1 500	—	—	471,00
20	1 600	—	—	—
21	1 700	—	—	592,00
22	1 800	—	—	621,00
23	2 000	—	—	754,00
24	2 500	—	—	1038,00
25	3 000	—	—	1518,00

Как видно из нижеприведенных таблиц некоторые трубы вследствие недостаточного внутреннего давления, не обеспечивавшего пропитку дерева водой, а также вследствие других причин пришли в негодность через несколько лет службы.

Заключения, которые можно вывести из данных обследований, нижеследующие:

Срок службы деревянных труб зависит в значительной степени от окружающих условий, но имеют также значение и индивидуальные свойства, в частности качество пиломатериала.

Срок службы труб повышается, если они закопаны в плотный тяжелый грунт (глина и т. п.).

Трубы, засыпанные песком, гравием и тому подобными пористыми грунтами, пропускающими воздух, загнивают быстрее. Засыпку труб растительным грунтом допускать нельзя, так как в таком грунте трубы портятся очень быстро.

Трубы, проложенные поверху, более долговечны, чем закопанные в слабый грунт (песок, гравий, вулканический пепел и пр.).

При невысоком внутреннем давлении или работе неполным сечением трубы, изготовленные из ели, сокращают срок службы до $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{3}$ своей нормальной жизни. При невысоком давлении нежелательно применять клепку с заболонью.

Непрерывные словые трубы, непокрытые.

Местополо- жение трубы	Длина мм	Диам. дм	Давление в фут. вод. ст.	Почва	Год пост.	Примечания
Astoria . . .	7,5	18	0—150	Глина и песок с ослабл. растит.	1895	Постеп. увелич. утечки вследствие ослаблен. дерева
Basin, Wyo .	—	40—96	—	Не установл.	1906	В хорош. сост. исклю- чая места с непост. наполн.
Bella Fourch .	0,3	36	—	Глина	1912	В хорош. состоянии
"	0,4	42	—	"	1912	То же
Carcron, W. .	7,0	48	—	Вулк. почва, слаб. скала	1907	В слаб. скал. почв. раз- рушена, опережает 400 фут.
"	4,0	40	—	То же		Трубы замен. в 1911 г. 1 000 фут.
"	1,5	32	—	"		
Everett, Wash.	1,5	20	50—125	Глина и слаб. грунт	1909	Ослабл. искл. в местах, где укладка в глине, замен. 2 600 фут.
Gotherbourg .	0,2	72	0—46	Слаб. песч., часть трубы непокрыта	1890— 1891	Ослабл. в непокр. местах с увел. утечки, нов. тр. в 1913 г. покр.
Logan, Utah .	1,2	60	15—80	Не закопан.	1904	Ослабл. в швах
Loveand, Cal.	8,0	12	0—200	Покр. на 1—3 ф.	1902	Некот. ослабл. наверху трубы
Ogden, Utah .	5,0	72	0—200	То же	1897	Небольш. ослабл. при мал. давл. в порист. грунте
Post Falls . .	5,0	42	0—40	Глинист. грав. слаб.	1910	1 миля с макс. давлен. ослабл. частично не- сколько ослаблена вся
Preston . . .	0,6	60	0—300	Не покрыты	1905	В хорош. сост. искл. утечку в местах осе- дания
Pueblo, Colo .	—	48	—	В необожжен. кирпиче	1906	Неб. утечка в 1909 г. Серьезн. осл. в 1913 г.
"	0,5	54	—	Глина, песок, гравий	1899— 1900	Частично ослабл. и пе- реконструирована
"	13,5	44	—			
"	8,5	32	—			
Sugar City, C.	4,0	—	—	Почва не уст., покр. 2—4 ф.	1904	Труба не ослабл., бан- дажи $\frac{1}{2}$ дм. разбеди- нены и заменены в 1910 г. $\frac{5}{8}$ дм. жезл.

Местоположение трубы	Длина мм	Диам. мм	Давление в фут. вод. ст.	Почва	Год постр.	Примечания
Sunnys. Wash.	2,1	55	25—130	Вулк. песок	1903	Непокр. и ослабл. в 1913 г.
"	0,3	48	130	Грав. 1 $\frac{1}{2}$ улож. наверху грунта	1908	Частью покрытая в 1913—14 г.
Utah Power pip.	1,6	36	—	На опорах	1903—1904	Разрушились
"	2,1	36	6—226	В откр. кан.	1907	В хорош. состоянии
"	3,1	58	8—180	Улож. на зем.	1910	То же
"	1,5	30	4—91	В откр. кан.	1908	"
"	4,7	30	12—13	На земле	1910	Не разрушилась
"	1,8	24	10—37	То же	1907	Дер. из стар. канала 1901 г. в прекр. сост.
"	2,7	78	24—44	"	1913	Дер. в хорош. сост.
"	4,3	132	—	На бет. опор.	1914	То же
"	0,8	102	15—125	На дер. опор.	1908	Некот. ослаб. в соедин.
"	1,3	74	—	Закопана	1909	Некот. ослаб.
"	1,2	24	—	На земле	1908	В хорош. состоянии
Wencotchee W.	1,7	44	0—100	Закопана и глину, искл. мост	1903	Часть не наполн., мост замен. в 1908 г.
"	2,3	42	—		1907	Остаток трубы

ТАБЛИЦА 49.

Непрерывные, непокрытые трубы „Красное дерево“.

Местоположение трубы	Длина мм	Диам. мм	Давление в фут. вод. ст.	Почва	Год постр.	Примечания
Butte, Mont.	9,1	24	0—150	Глина с гр.	1892	Здорова, исключая мест со слаб. грунт.
"	6,2	26	0—150		1899	То же
"	8,5	24	0—150		1900	"
Denver. Colo.	16,4	—	—	Покр. земл., грунт невыясн.	1890	Наход. в работе
Greensb. N.C. ¹	1,3	18	20—200	Закопана	1907	Здоровы дерево и бандажи
"	3,0	20	20—200	Грунт невыясн.	—	
"	2,5	24	20—200		—	

¹ Часть трубы из техасской сосны

Местополо- жение трубы	Длина мм	Диам. дю	Давление в фут. вод. ст.	Почва	Год постр.	Примечания
Hollywood. C.	0,3	12	50	Глина	1898	Дерево разруш. в 10-м году, вероятно от неб. давл. и сух. грунта
"	6,9	14	50	"	—	
Uthaca N. S.	1	1	1	Не установл.	1905	Наход. в хор. состоянии
Logan Utah	1,5	18	0—70	Грав. и ст. грунт	1893	В превосх. состоянии
Los. Alamit. Cal.	3,5	18	30—50	Не установл.	1906	Действ. 4 раза в год для снабж. сахар. факт., дерево слегка разр., банд. заменены
Mount Nebo Ut.	0,3	48	0—70	Тоже	1895	Дерево и банд. здоров.
"	1,1	72 ²	0	На дерев. опор.	1895	Дерево слегка тронул., банд. заржав., некот. заменены
North Jakima	0,2	32	0—90	Тяж. грунт, част. скал.	1894	Дерево, осл. на конц. банд. немного заржав.
"	0,2	32	0—90	Тоже	1903	Дерево здорово, банд. слегка ржав., заменен в 1914 г.
Ogden Utah	5,5	24	—	Не установл.	1890	4 674 фут. под легким давл., замен. в 1911 г., остальн. в хор. сост.
Palo Alto Cal.	1,4	12	0	Солян. почвы	1900	Замен. в 1908 г. на 3 000 фут., в 1911 г. на 1 025 фут. банд. развед.
Paso Cal.	0,03	72	10	Песок	—	Работает для ирриг. в хорош. состоянии
Provo, Utah	5	14	0—125	Глина, гравий	1891	Хорош. состояние
"	0,5	60	—	Глина (мост 500 ф.)	1910	Клепка мест. ослабл., в соед. утечка, наполни. 4 раза в год
Redland, Cal.	0,4	48	Легкое	Часть в земле, часть на опорах	1892	Разруш. в соед. с землей. были заменены в 1912 г.
Tample, Tex.	1,7	18	5—35	Не установл.	1899	В хорош. состоянии
Utah Power pip.	2,1	26	6—144	На земле	1910	Тоже
"	1,1	28	5—176	—	1907	"
"	1,7	22	3—137	Закопана	1907	"
Jumo, Ark.	2,1	26	90—120	Щебень, песок, гравий	1892	В очень хорошем состоянии

¹ Не установлено.² Заполнение на половину

Еловые трубы — непрерывные и звеновые — покрытые.

Местоположение трубы	Тип трубы	Длина милл	Диам. мм	Давление в фут. вод. ст.	Почва	Год постр.	Характер покрытия	Состояние трубопровода
Butte Mont	Непр. Звен.	0,3 4,4	60 14	0 — 20 0 — 300	Глина Все рода почв	1914 1911 1895	2 асф. руб. Норм.	Дерево здорово Хорошее состояние
Clareson. W.	"	1	1	60 — 300	Вулкан. грунт	1903		" То же, искл. некот. соед. из мягк. забол. древес. Хорошее состояние. Часть замен. в 1910 г. из-за невысокого давления
Colfax. Cal	"	14,0	8 — 10	0 — 200	—	1904		Хорош. сост. 6 клеп. осл. Некот. муфты разруш. Дерево крепк. утеч. в соедин.
Crecley Colo	"	38,0	20	0 — 205	Не установл.	1907		Хорош. сост., некот. кольца ослабли
Hood River	"	5,6	2 — 20	10 — 150	Глина	1905		Дерево в хор. сост. Под легк. давл. клепка ослаб. через 5 л. Ослабл. в коль- цах через 5 л. Проволока сильно разъедена
Priston Idaho	"	1	1	100 — 300	Не установл.	1906		Хорошее состояние
Montrose	"	1	1	—	Крепк.	1905		"
North Platte	Непр. Звен.	0,4 0,3	24 18	— —	Слаб. песчан. глина —	1914 1913	Смола 2 руб. $\frac{1}{16}$ " Тоже	"
North Yakima	"	0,1 —	16 4 — 20	— 10 — 200	Глина и грав.	1913 1905	" "	Дерево в хор. сост. Башм. разруш. утечка в соед.

1 Различ. разм.

Местоположение трубы	Тип трубы	Длина мили	Диам. ди	Давление в фут. вод. ст.	Почва	Год постр.	Характер покрытия	Состояние трубопровода
Olimpia, Wash	Звен.	10,0	2 — 12	100 — 200	Глина, местами гравий	1898 — 1912	Смола 2 рубашки ^{1/16} дюйма	Превосх. сост., исключ. проволаку
"	Сверл.	4,5	2 — 8	100 — 200	То же	1890 — 1900	То же	В хор. сост., искл. железн. обручи
Post Falls, Idaho	Звен.	5,0	12 — 24	0 — 50	Гравий и глина	1910	"	В хор. сост., искл. кольца
Provo, Utah	"	2,5	21	Легк. *	Гравелист.	1907	"	Ослаб. треб. перестр.
"	"	2,6	18 — 24	больш. *	"	1911	"	Некот. осл. труб, разр. манжет
Pueblo, Colo	Непр.	3,0	24	"	Кирп. глина, сланец	1904	Вероятно тоже	Дерево здорово, провод. замен. в 1912 — 1913 г.
South Belling	"	—	*20	0 — 200	Глина и слаб. грунт	1900	Асфальт	В прекрасн. состоянии
Spokane, Wash	Звен.	1	1	4	Гравел. грунт	—	—	Через 5 л. разруш. от гидр. удара
Sunnyside Wash	Сверл.	1	1	5	Вулк. пепел, грав., закол. на 4 — 8 фут.	1898	—	Хорошее состояние
"	"	0,4	13	3 — 15	То же на 1,5 — 2 ф.	1903	—	Здор., мет. немного разъед.
"	Звен.	0,4	4	10 — 60	Вулк. пепел	1898	Слегка окр. кре- озотом	Разрушилась через 4 года
"	"	—	24	—	—	1906	—	Здор., треб. ремонт дер. муфт.
"	"	—	14	0 — 25	Песч. глина	1908	—	Здор., искл. 1000 ф. не пол. водой, замен. 1912 г.
Tooele Ut.	"	—	—	—	Закопана	1890	—	Дерево в хорош. сост.

1 Различ. разм.

2 Большое давление.

3 Не установлено.

4 Рабоч. давление.

5 Легкое давление.

ТАБЛИЦА 51.

Различные породы дерева. Непрерывные трубы непокрытые.

Место-полож. трубы	Породы дерева	Длина труб мм	Диам. дм	Давление в фут. вод. столб.	Почва	Год постр.	Состояние трубопровода
Denver Col.	Сосна	—	—	—	Не устан.	1884	Часть верхн. клепки разр. Около реки в сыр. почве действ. до 1912 г.
"	Желт. сосна	7,7	24	—	"	1886—1887	Заменено елью в 1907 г.
Pueblo Col.	"	16,4	30	—	"	1890	Находится в действии
"	"	—	28 ¹	—	Глина	1900	В 1913 г. ослабли $\frac{1}{4}$ — $\frac{3}{4}$ клепки. Банд. разъед. в сыр. почве
"	"	—	54 ²	—	Не устан.	1890	Часть покрыта смолой, часть асфальт. 1500 ф. наполн. частично заменен в 1895 г. Часть окр. асф. заменен в 1910 г. Часть окр. смоя. Здорова. 1910 г.

¹ Частично красного дерева.² Покрытая.

Результаты данных исследований сгруппированы в нижеследующей таблице, которая дает данные о долговечности труб в разных условиях к моменту производства исследований.

ТАБЛИЦА 52.

№№ по пор.	Порода дерева	Состояние трубопровода	Число лет службы
1	Ель	Непокрытые предохранит. составом	20
2	"	Непокрытые в слабом грунте	4—7
3	"	Непокрытая на воздухе	12—20
4	Кр. дерево . . .	Непокрытые, закопанные в плотн. грунт (глина или песок с гравием)	выше 25
5	Ель	Хорошо покр. в плотном грунте	25
6	"	Хорошо покр. в слабом грунте	12—20

Помимо долговечности дерева на срок службы деревянных труб имеет влияние срок службы арматуры, состоящей из проволоки или бандажей, поэтому на предохранение от ржавления арматуры в особенности для труб, укладываемых ниже поверхности земли, необходимо обращать самое серьезное внимание.

Таким образом для обеспечения долговечности деревянных труб необходимы следующие условия:

- 1) достаточное для пропитки стенок трубы давление (не меньше 6 м водяного столба),
- 2) плотный грунт (в случае если труба засыпана),
- 3) надлежащее качество леса,
- 4) надлежащее предохранение арматуры трубы от ржавления.

При соблюдении этих условий срок службы непрерывных деревянных труб по американским данным составляет 40 и больше лет, а в отдельных случаях доходит и до 50 лет. Наибольший срок службы звеновых труб можно установить примерно в 25—30 лет.

Интересно также привести данные обследования деревянных труб в Америке, произведенного William H. Nalder'om (Reclamation Record—декабрь 1921 г.). Этот отчет дает сведения о 196 деревянных трубопроводах на 18 постройках, произведенных обществом U. S. Reclamation Service.

Нижеследующие таблицы дают качественную оценку обследованных трубопроводов (табл. 53—55).

Из данных таблицы 55 видно, что деревянные трубопроводы при укладке поверху оказываются в лучшем состоянии, чем при укладке ниже поверхности земли.

Нужно сказать, что большая часть данных, приведенных в таблицах 53, 54 и 55, относится к трубам, служащим для ирригационных целей, т. е. они не находятся постоянно под напором, а, наоборот, работают лишь вопросительные периоды, что конечно является неблагоприятным условием для срока их службы и способствует их более быстрому загниванию.

ТАБЛИЦА 53.

№ по пор.	Состояние в день обследов.	Для всех трубопроводов				Трубопр., постр. в 1910 г. и ранее			
		Отд. участ.		Длина участ.		Отд. участ.		Длина участ.	
		Число	%	км	%	Число	%	км	%
1	Совершенное	1	0,5	0,3	0,3	—	—	—	—
2	Отличное	7	3,6	4,9	3,9	—	—	—	—
3	Оч. хорошее	7	3,6	2,1	1,7	—	—	—	—
4	Хорошее	120	61,5	67,4	53,7	3,4	48,0	13,1	29,2
5	Удовлетв.	31	15,9	20,0	16,0	20	28,0	13,3	30,2
6	Не вполне удовлетв.	17	8,7	21,3	17,0	7	9,9	10,5	23,4
7	Плохое	5	2,6	2,9	2,3	4	5,6	2,8	6,2
8	Очень плохое	1	0,5	1,2	1,0	—	—	—	—
9	Почти непригодное	4	2,1	4,0	3,8	4	5,6	4,8	10,7
10	Соверш. непригодн.	2	1,0	0,3	0,3	2	2,8	0,3	73
Итого		195	100	125,2	1 000	71	1 000	44,8	1 000

ТАБЛИЦА 53а.

№ по пор.	Состояние в день обследования	Год постройки 1911 — 15				Год постройки 1916 — 20			
		Отд. участ.		Длина участ.		Отд. участ.		Длина участ.	
		Число	%	км	%	Число	%	км	%
1	Совершен.	1	1,7	0,3	0,9	—	—	—	—
2	Отличное	3	5,1	3,6	10,1	4	6,2	1,3	2,9
3	Оч. хорошее	3	5,1	1,3	3,5	4	6,2	0,5	1,9
4	Хорошее	32	54,2	14,2	39,1	54	83,2	40,0	90,6
5	Удовлетв.	11	18,6	6,7	18,5	—	—	—	—
6	Не вполне удовлетв.	7	11,9	8,7	21,1	3	4,6	2,1	4,6
7	Плохое	1	1,7	1,6	0,4	—	—	—	—
8	Очень плохое	1	1,7	1,2	3,3	—	—	—	—
9	Почти непригодное	—	—	—	—	—	—	—	—
10	Соверш. непригодное	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого		59	100	57,2	100	65	100	43,6	100

ТАБЛИЦА 54.

№ по пор.	Конструкция	Данные о всех трубопроводах				Год постройки 1910 и ранее			
		Хор и отл.		Не вполне уд. и плохое		Хор. и отл.		Не вполне уд. и плохое	
		Число труб	Длина км	Число	Длина	Число	Длина	Число	Длина
1	Звен. трубы, матер.— ель подзем. укл.	93	43,5	22	23,4	43	18,7	13	14,1
	надзем. укл.	27	18,4	2	0,3	5	1,6	2	0,3
2	Звен. трубы, матер.— сосна подзем. укл.	2	11,8	1	0,1	—	—	—	—
3	Непр. трубы, мат.— ель подзем. укл.	14	8,1	2	2,6	1	1,1	—	—
	надзем. укл.	22	14,0	2	4,0	5	4,9	2	4,0
4	Непр. трубы, мат.— сосна подзем. укл.	1	0,1	—	—	—	—	—	—
	надзем. укл.	7	3,2	—	—	—	—	—	—
Итого		166	94,1	29	30,4	54	26,3	17	18,4
В процентном отношении		85,1	75,6	14,9	24,4	76,0	59,0	29,0	41,0

Кроме того все трубопроводы подводят воду, содержащую большой процент щелочей, и проложены в грунте, также содержащем значительную примесь щелочей, что также укорачивает срок их службы.

Помимо указанных выше свойств, деревянные трубы имеют еще некоторые достоинства, присущие исключительно трубам этого вида.

К таким достоинствам является легкость, сравнительная дешевизна, простота укладки и пр.

Более подробные сведения об укладке деревянных труб приведены ниже в соответствующей главе.

ТАБЛИЦА 54а.

№ по порядку	Конструкция	Год постройки 1911—15				Год постройки 1916—20			
		Хор. и отл.		Не вполне уд. и плохое		Хор. и отл.		Не вполне уд. и плохое	
		Число	Длина	Число	Длина	Число	Длина	Число	Длина
1	Звен. трубы, мат.— ель подзем. укл. . .	21	9,8	6	7,3	29	15,5	3	2,0
2	Звен. трубы, мат.— надзем. укл. . . .	7	4,0	—	—	15	8,0	—	—
3	Звен. трубы, мат.— сосна подзем. укл. .	1	0,5	1	0,1	1	11,4	—	—
4	Непр. трубы, мат.— ель подзем. укл. . .	11	6,8	1	2,5	2	0,3	—	—
5	Непр. трубы, мат.— надзем. укл. . . .	10	5,2	—	—	7	3,7	—	—
6	Непр. трубы, мат.— сосна подзем. укл. .	—	—	—	—	1	0,1	—	—
7	Непр. трубы, мат.— надзем. укл. . . .	—	—	—	—	7	0,2	—	—
	Итого	50	26,3	8	9,9	62	42,2	3	2,0
	В процентном отношении . . .	84,7	12,2	15,3	27,8	95,4	95,4	4,6	4,6

ТАБЛИЦА 55.

Способ укладки	Данные о всех трубопроводах				Год постройки 1910 и ранее			
	Хор. и отл.		Не вполне уд. и плохое		Хор. и отл.		Не вполне уд. и плохое	
	Число	%	Число	%	Число	%	Число	%
Подземн. укл. . . .	108	82,0	24	18,0	44	77,2	13	22,8
Надземн. укл. . . .	49	92,5	4	7,5	10	71,5	4	28,5
	Год постройки 1911—15				Год постройки 1916—20			
Подземн. укл. . . .	32	82	7	18	31	91,3	3	8,7
Надземн. укл. . . .	17	100	—	—	22	100	—	—

¹ Эта таблица выведена из таблиц 53 и 54 и дает представление о сроке службы трубопроводов как для надземной, так и для подземной укладки.

Деревянные трубы эластичны и легко переносят как гидравлические удары, так и небольшие подвижки грунта. Об эластичности в этом отношении деревянных труб можно судить по следующему примеру. Осенью 1928 г. на Казацком крахмало-паточном заводе был уложен деревянный трубопровод непрерывного типа диаметром 350 мм и протяжением 1 км. Вода подается из насосной станции к заводу и служит для производственных целей завода. Трубопровод, как видно из рис. 93 (а, б), проложен в траншее, идущей по берегу реки Воргол. Как выше сказано, трубопровод был уложен осенью 1928 г. и чтобы проследить за его работой в течение зимнего периода, траншея на зиму не была засыпана. Весной 1929 г. был значительный паводок, причем траншея с трубопроводом была залита водой.

Вследствие своего небольшого веса трубопровод был поднят паводочными водами, так что возникло опасение, что он будет унесен и потребовались специальные мероприятия для предотвращения этой опасности. Некоторое время трубопровод работал под напором на-плаву, а затем, когда вода спала, он опустился на дно траншеи. Часть траншеи была затянута илом, так что после спада воды ось трубопровода в вертикальной плоскости представляла волнообразную линию. После небольшого ремонта трубопровод был вновь пущен в работу и продолжал давать чистую воду, необходимым по условиям производства, что показывает, что особых нарушений плотности трубопровода не произошло.

Известны также примеры из американской практики, когда у трубопровода, проложенного поверху, были снесены паводком несколько опор, трубопровод провис между оставшимися опорами, но продолжал работать, пока опоры не были восстановлены.

Так же сравнительно хорошо деревянные трубопроводы переносят гидравлические удары. При значительных ударах швы трубопровода слегка открываются, вытекающая вода смягчает удар, а затем при восстановлении нормального давления восстанавливается и первоначальное состояние трубопровода. Иногда при значительных ударах в этих случаях требуется некоторая подтяжка бандажей у непрерывных труб. По свидетельству инж. В. А. Богомолова на трубопроводе Хариузовской гидростанции при явлениях гидравлического удара, доходившего до 11 атм. (при нормальном рабочем давлении около 6 атм.), железные патрубки, соединяющие деревянные трубопроводы с турбинами, дали трещины в нескольких местах, между тем как деревянный трубопровод после раскрытия, под влиянием удара, швов и выхода воды — вскоре пришел в нормальное состояние. Из американской литературы также известен случай, когда во время действия деревянного трубопровода в него попал большой ком пакли, который мгновенно закупорил выходное отверстие. Давление моментально повысилось в несколько раз, между тем деревянный трубопровод не разрушился и после удаления попавшего комка пакли продолжал работать. Несомненно, что при подобных же обстоятельствах всякая труба, сделанная из какого-либо другого материала, разрушилась бы.

Таким образом деревянные трубы являются как бы сплошным компенсатором.

Далее нужно указать, что, протекающая по деревянным трубам, вода не получает с течением времени никакого привкуса или окраски, что иногда случается с трубами металлическими.

Обстоятельство это очень важно как для питьевых водопроводов, так и для водопроводов, подающих воду для производственных целей,

требующих воды высокого качества в смысле ее чистоты, что относится в особенности к пищевой промышленности. К этому нужно добавить,



Рис. 93-а. Трубопровод Казацкого крахм.-паточн. завода.



Рис. 93-б. Сборка трубопровода крахм.-паточн. завода.

что вода, протекающая по деревянным трубам, вследствие низкой теплопроводности дерева подвержена незначительным колебаниям температуры и остается почти одинаковой температуры в течение года.

Бывали случаи, когда металлические трубы, проложенные параллельно электролиниям высокого напряжения, разрушались под действием тока, вследствие электролиза. Деревянные трубы электролизу не подвержены и в этом отношении имеют преимущество перед металлическими.

Обычно по длине трубопровода статический напор изменяется. В этом случае деревянные трубы очень легко приспособить под то или иное давление, соответствующее данному участку, путем установки соответствующего количества арматуры. Это обстоятельство позволяет рассчитывать трубу при определении количества арматуры не на наибольшее, а на среднее давление.

Вместе с тем, если непрерывная труба рассчитана на какой-либо напор, а потом по каким-либо обстоятельствам потребовалось приспособить трубу для большего напора, то это очень легко осуществить посредством установки дополнительной арматуры, так как дерево обычно работает, как выше указано, с большим запасом прочности и клепки подходят для всякого напора, возможного для деревянных труб, внутреннее же давление воспринимается исключительно арматурой.

Деревянные трубы могут укладываться в сырых и болотистых грунтах. Влажный грунт способствует сохранению древесины трубы. Вес трубы не больше веса вытесняемой ею воды, так что небольшая осадка грунта опасности для трубы не представляет.

Коэффициент расширения дерева от действия изменений температуры крайне незначителен, так что деревянные трубы не требуют устройства температурных швов, что усложняет работу по прокладке поверху металлических, бетонных или железобетонных труб и требует конструирования для них специальных приспособлений. Те крайне небольшие подвижки, которые могут возникнуть в материале деревянной трубы под действием изменений температуры, вполне компенсируются имеющимися незначительными неплотностями между стыками торцев клепок.

Деревянные клепочные трубы безопасны в пожарном отношении. Одной из американских фирм (Pacific Wood Pipe Co) были произведены такие опыты.

Звеновая труба (рис. 94) была заглушена с обоих концов и поставлена под напор. Труба была положена на костер из сухих обрезков досок, которые были облиты керосином. После того как костер был подожжен, под влиянием повышения температуры, арматура трубы, состоящая из спирально навитой проволоки, удлинилась, швы трубы раскрылись и вытекающая вода потушила пламя. После того как костер был таким образом потушен, проволока вновь приняла свою первоначальную длину, стянула трубу, течь прекратилась и труба пришла в свое нормальное состояние. После этого опыта труба была тщательно осмотрена, причем никаких повреждений, за исключением небольшого обугливания, обнаружено не было.

Эксплуатация и ремонт деревянных труб прост. Замена отдельных бандажей и отдельных клепок на непрерывных трубах или смена отдельных звеньев трубопровода, собранного из звеновых труб, не встречают особых затруднений.

Стоимость деревянных труб при нормальных условиях работы, нормальной постановке дела и нормальном снабжении материалами, отвечающим техническим условиям, гарантирующим нормальное количество отходов, дешевле труб металлических, причем нужно сказать, что разница в цене тем более увеличивается в пользу деревянных труб, чем больше

их диаметр. Кроме того при сравнении деревянных труб с трубами из других материалов в смысле их стоимости нужно учитывать большую их пропускную способность по сравнению с другими трубами, меньшие расходы при транспорте, меньшие расходы при укладке и пр. Более подробные указания о стоимости деревянных труб и прочих свойствах приведены ниже в главах 11 и 12.

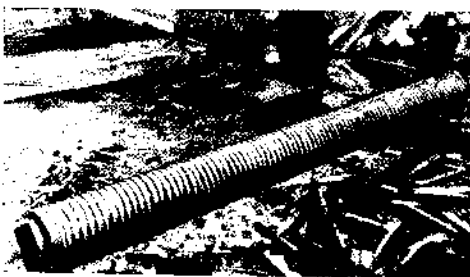
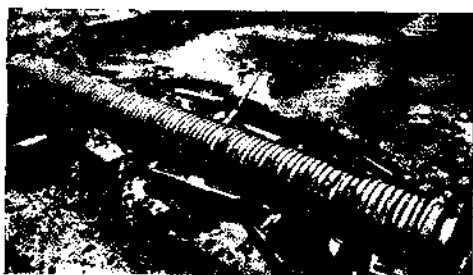


Рис. 94. Испытание деревянной трубы на огонь.

На ряду со своими достоинствами деревянные трубы имеют и недостатки, которые нужно учитывать при проектировании линий из деревянных труб.

Одним из главнейших недостатков деревянных труб является совершенно неизбежная утечка из них. Утечка из деревянных труб двоякого вида: а) утечка вследствие фильтрации воды сквозь поры древесины и б) утечка в швах и стыках.

Утечка сквозь поры древесины зависит от качества леса, из которого построена труба, величина же утечки сквозь швы и соединения по большей части является функцией качества изготовления, сборки и укладки труб.

Утечка сквозь поры древесины при лесе надлежащего качества не имеет практического значения и, наоборот, показывает, что древесина клепки пропиталась насквозь водой, а это является одним из факторов, способствующих долговечности труб. Что же касается утечки из швов и стыков, то с ней нужно всячески бороться, так как ее наличие указывает на дефектное состояние трубопровода. О способах борьбы с утечкой говорится ниже в гл. 13.

С утечкой из продольных швов легче бороться, чем с утечкой из стыков. Это в особенности относится к звеновым трубам, стыки которых вообще являются слабым местом труб этого вида. Как правило, утечка из непрерывных труб меньше утечки из труб звеновых и вообще на всех непрерывных трубах, с которыми автору пришлось иметь дело, утечка не имела практического значения. Ее, конечно, следует учитывать на водоводах большого протяжения, оборудованных насосами, так как всегда нужно иметь в виду, что часть воды, подаваемая насосами, никогда не дойдет до места назначения, а это обстоятельство необходимо компенсировать увеличением мощности насосной станции.

Данные о величине утечки из деревянных труб, имеющиеся в иностранной литературе, многообразны, разноречивы и неопределенны. Нигде нет твердых указаний с точными цифрами утечки. Объясняется это несомненно тем большим количеством факторов, которые имеют влияние на величину утечки из деревянных труб.

Качество пиломатериала, содержание влажности в древесине во время изготовления трубы, качество работы по изготовлению труб, качество изготовления отдельных, кажущихся незначительными и неважными, деталей труб, способы транспорта и хранения труб до укладки, способы и качество укладки, сборки и монтажа, эксплуатация линии и своевременный и правильный ремонт — вот та серия причин, которые влияют на качество деревянных трубопроводов и сказываются, главным образом, на той или иной степени утечки.

Проф. Д. П. Рузский¹ на основании американских источников устанавливает размер утечки из деревянных труб 500 галлонов на 1 дюйм диаметра и на милю протяжения в сутки.

По данным американской литературы средняя утечка может быть принята равной 300 галлонов на 1" диаметра и на милю протяжения в сутки. Некоторые американские фирмы деревянных труб выпускают продукцию с гарантией величины утечки не более 100 галлонов на 1" диаметра и на милю протяжения в сутки. Это показывает, что утечку можно при тщательной работе свести к сравнительно небольшой величине.

Действительно имеются американские примеры установок, где утечка составляет всего 50 галлонов на 1" диаметра и на милю протяжения в сутки.

Если принять за среднюю утечку 300 галлонов, то при пересчете на метрические меры (1 американский галлон — 3,785 л, 1 миля — 1,61 км), получим 280 литров на 1 см диаметра и 1 км протяжения в сутки. Некоторые американские источники считают нормальной утечку, равную 8-ми литрам на 1 м² поверхности трубы при рабочем давлении в сутки.

Немецкий автор Н. Rabovsky упоминает о величине утечки, равной 2% от расхода в трубопроводе, но говорит, что ему неизвестно обоснова-

¹ Д. П. Рузский, Деревянные трубы, «Технико-экономический вестник» 1922 г.

ний этой цифры, хотя и добавляет, что для большинства трубопроводов указанное значение утечки можно считать допустимым.

Установление процентного количества утечки в зависимости лишь от расхода воды нам кажется неправильным, так как размеры утечки зависят не только от количества протекающей воды, но и от напора в трубопроводе.

В американских данных при указаниях на ту или иную утечку также совершенно не принимается во внимание напор.

У нас еще не было сколько-нибудь значительных опытов над утечкой из деревянных трубопроводов. Только на одной лишь Хариузовской гидростанции была в 1928 г. измерена утечка из 2-х трубопроводов диаметром 1100 мм каждый, общей длиной 1460 м при напоре около 6 атм. и общем расходе 4,50 м³/сек. Измерения дали цифру утечки меньше 0,4 л/сек, а если эту утечку привести на 1 см диаметра на 1 км протяжения в течение 24 часов, то утечка составит примерно 160 литров, а на 1 атм. давления 26,6 литров.

Проф. Н. Н. Гениев¹ считает утечку из деревянных труб от 4000 до 6000 литров на дециметр диаметра на 1 км протяжения и на 1 атм. напора в 24 часа.

В настоящее время Ленинградским отделением Всесоюзного института водоснабжения ставится ряд опытов на существующих линиях для определения утечки. Результаты опытов будут опубликованы в ближайшем будущем.

К недостаткам деревянных труб нужно отнести также и то, что трубы значительных диаметров, проложенные ниже поверхности земли при недостаточно внимательном проектировании и прокладке, могут быть сплюснуты или разрушены совершенно. Американская практика указывает, что трубы диаметром порядка 1800 мм нельзя укладывать на глубину большую 0,6—1,2 м, а трубы меньших диаметров на глубину больше 2—3,5 м. При этом нельзя допускать сверху значительной временной нагрузки. При прокладке труб под проезжими дорогами необходимо предвидеть устройство мостов или каких-либо других конструкций, воспринимающих временную нагрузку. Известен ряд случаев из американской практики, когда трубы были разрушены давлением земли при глубоком заложении и непринятии соответствующих мер против расплющивания.

Деревянные трубы плохо выдерживают вакуум, поэтому если предвидится возможность вакуума, то американцы советуют употреблять торцевое соединение для клепок системы Kelsey, передающего усилие на 4 клепки (2 соединяемых и 2 прилегающих). Кроме того, в таких случаях совершенно необходимо при проектировании предвидеть установку воздушных клапанов для выпуска и впуска воздуха.

В нашей практике известен случай, когда труба диаметром 1100 мм, уложенная на глубине 3 м, была разрушена вследствие получившегося разрежения. Разрушение произошло, когда трубопровод был остановлен, впускное отверстие было закрыто задвижкой, а в колодце, находящемся примерно в 100 м ниже впускного отверстия, поставили центробежный насос диаметром 250 мм и начали качать воду для освобождения трубы. В повышенной точке трубопровода имелся воздушный кран, который при откачке не был открыт. При этом образовалось разрежение, которое вместе с давлением засыпки разрушило трубу на протяжении около 15 м.

¹ Проф. Н. Н. Гениев, Водоснабжение.

11. Стоимость деревянных труб и ее сравнение со стоимостью труб из других материалов.

При подсчете стоимости крупных водоводов из разных материалов, кроме первоначальной стоимости сооружения, нужно принять во внимание также прочность, т. е. долговечность труб из тех или иных материалов, утечку из них и прочие данные для того, чтобы можно было получить сравнимые величины и выявить преимущество того или иного материала с экономической точки зрения.

Приводим пример такого подсчета стоимости трубопровода, взятого из американских источников. Цены на трубы и работу взяты американские с переводом в рубли, считая кругло 1 доллар = 2 рублям, так что на подсчет нужно смотреть лишь как на метод и в каждом отдельном случае соответственно исправлять цифры.

Предположим, что нам нужно построить водовод длиной 40 км, диаметром 1350 мм. Водовод должен давать 190 000 м³ воды в сутки из своего нижнего конца. Подсчитываем стоимость водовода в предположении, что он может быть построен из четырех материалов: чугуна, стали, бетона и дерева. При коэффициенте $C_w = 100$ в формуле Williams-Hazen'a для чугунных и стальных труб, потеря на трение в каждой из этих двух труб была бы равна примерно 78 м. В бетонной трубе при $C = 130$ потеря на трение составит 47,9 м, а в клепочной деревянной трубе при $C = 115$ потеря на трение составит 60,7 м.

Предположено, что если водовод будет чугунным или стальным, то средний напор воды в нем будет 45 м, в бетонном—30 м, а в деревянном—37 м. Разница между этими напорами для каждой из двух труб равняется примерно половине разницы между потерями напора на трение в тех же двух трубах.

Принято, что будет построена плотина для образования водохранилища в верхнем конце водовода и паровая насосная станция, берущая воду из водохранилища и создающая напор в водоводе.

Стоимость постройки плотины, насосной станции и пр. принята равной 3 600 000 р. для того или другого водовода, а стоимость насосов и котлов исчислена для чугунных и стальных труб в сумме 550 000 р., в 400 000 р. для бетонных труб и в 470 000 р. для деревянных труб. Разница в стоимости оборудования насосами и котлами обуславливается разностью в напорах, при которых производится работа насосов.

Стоимость 1 пог. м трубы для соответствующих напоров принята равной для чугунной трубы 234 р. 40 к., для стальной трубы 180 р. 90 к., для бетонной трубы 143 р. 70 к., для деревянной трубы 105 р. 60 к.

Стоимость работ по отчуждению земли для водовода принимается равной 3 р. на 1 пог. м трубы. В таблице 56 (стр. 178) сведена стоимость работ.

Оборудование насосами при чугунном водоводе обойдется на 150 000 рублей дороже, чем при бетонном, а при деревянном водоводе на 70 000 рублей дороже, чем при бетонном.

Для уравнивания этой разницы нужно прибавить к стоимости 1 пог. м чугунных и стальных труб 3 р. 75 к., а на 1 пог. м деревянного водовода 1 р. 75 к. Тогда можно будет сравнить стоимость всех водоводов на основании стоимости оборудования насосами.

Операционные расходы на рабочую силу будут одни и те же во всех четырех случаях, но так как пропускная способность бетонной трубы

№ по порядку	Наименование работ	Стоимость в рублях из разн. материал.			
		Чугун	Сталь	Бетон	Дерево
1	Плотина, насосная станция, соединения и недвижимое имущество .	3 600 000	3 600 000	3 600 000	3 600 000
2	Оборудование насосами .	550 000	550 000	400 000	470 000
3	Водопровод	9 376 000	7 238 000	5 748 000	4 224 000
4	Отчуждение	120 000	120 000	120 000	120 000
		13 646 000	11 506 000	9 868 000	8 414 000

больше всех, то для остальных труб понадобится, для подачи такого же количества воды 190 000 м³ в сутки, большая мощность насосов и в конце концов больший расход топлива. В нашем случае исчислено, что при цене 1 т. топлива 20 р., годовая стоимость его при чугунных и стальных трубах будет равна 92 300 р., при бетонных—56 600 р. и при деревянных—71 800 р. Разница в расходе на топливо между чугунными и стальными трубами, с одной стороны, и бетонными, с другой,—будет 35 700 р., а между бетонными и деревянными 15 200 р. Первая цифра, будучи капитализирована по 6%, дает примерно 595 000 р., а вторая—252 500 р. Поэтому к стоимости постройки с чугунным или стальным водоводом мы должны прибавить сумму 595 000 р., а к стоимости постройки с деревянным водоводом — сумму 252 500 р. для того, чтобы уравнивать полную стоимость работ, учитывая большую пропускную способность бетонного водовода. Эти расходы лягут на 1 пог. м чугунного или стального водовода суммой 14 р. 90 к., а на 1 пог. м деревянного водовода — суммой 6 р. 30 к.

Далее предполагается, что утечка в чугунном, стальном и бетонном водоводе будет 95 л в 24 часа на 1 см диаметра и на 1 км протяжения (100 галлонов в 24 часа на дюймо-милю), а в деревянном водоводе 330 л в 24 часа на 1 см диаметра и 1 км протяжения (350 галлонов в 24 часа на дюймо-милю), так что на деревянный водовод нужно набавить стоимость 235 л на 1 см диаметра на 1 км протяжения для того, чтобы уравнивать все четыре водовода в смысле утечки. Эта утечка при вышеуказанных предположениях дойдет в нашем случае до 1270 м³ в сутки, что составляет 0,67% всей чистой пропускной способности водовода. Стоимость всех работ в предположении постройки варианта с деревянным водоводом будет равна 8 414 000 р. Принимая вышеназванное процентное отношение, получим лишний основной расход в 56 400 р. вследствие большей утечки из деревянного водовода. Этот расход ляжет суммой 1 р. 14 к. на 1 пог. м водовода.

Затем к стоимости деревянного водовода нужно прибавить стоимость накачивания 1270 м³ воды, которая никогда не достигнет нижнего конца водовода. Считая стоимость накачивания 1 м³ — 40 к., найдем, что годовая стоимость накачивания 1270 м³ в сутки, будет составлять 1850 р. Капитализируя эту сумму из 6%, получим сумму 30 800 р., что дает увеличение стоимости 1 пог. м деревянного водовода на 77 к.

Кроме того, нужно принять в расчет различный срок службы рассматриваемых водоводов. Первоначальная стоимость 1 пог. м водоводов из

разного материала принята, как указано в табл. 57. Предположим, что чугунная труба может прослужить 100 лет, стальная и бетонная — по 70 лет. Тогда на стоимость каждой из 2-х последних нужно набавить $\frac{3}{7}$ стоимости возобновления через 70 лет, чтобы уравнять их с чугунной. Стоимость в настоящий момент $\frac{3}{7}$ от 180 р. 90 к., которые должны быть уплочены через 70 лет, это — 1 р. 52 к.; сумму эту необходимо прибавить к стоимости стальной трубы, чтобы уравнять ее с более долговечной чугунной. Теперешняя стоимость трех седьмых от 143 р. 70 к., выплачиваемых через 70 лет, это — 1 р. 20 к. Последнюю сумму нужно прибавить к стоимости бетонной трубы.

Долговечность деревянной трубы принята 40 лет, следовательно эта труба потребует полного возобновления через 40 лет и половину возобновления через 80 лет. Стоимость в настоящий момент 105 р. 60 к., уплачиваемых через 40 лет, составляет 7 р. 70 к., а стоимость половины 105 р. 60 к., уплачиваемых через 80 лет, — 70 к. Следовательно сумму 8 р. 40 к. нужно прибавить к стоимости деревянной трубы для уравнивания ее со стоимостью чугунной, принимая во внимание срок службы той и другой.¹

Приводим все цифры, имеющие целью найти равноценные расходы при постройке водовода из четырех вышеназванных материалов.

ТАБЛИЦА 57.

№ по порядку	Наименование расходов	Стоимость 1 пог. м в рублях для разн. материал.			
		Чугун	Сталь	Бетон	Дерево
1	Первоначальная стоимость	234,40	180,90	143,70	105,60
2	Надбавка за счет пропускной способности	3,75	3,75	—	1,75
3	Надбавка за счет стоимости накопления	14,90	14,90	—	6,30
4	Надбавка за счет утечки	—	—	—	1,41
5	Надбавка за счет амортизации	—	1,52	1,20	8,40
	Уравненная стоимость	253,05	201,07	144,90	123,46

Таким образом получилось, что по американским данным действительная стоимость деревянного водовода, принимая во внимание все недостатки деревянных труб по сравнению с трубами из других материалов и учитывая эти недостатки в денежном выражении, на 15% дешевле бетонного водовода, на 40% дешевле стального и на 51% дешевле чугунного, или если принять стоимость деревянной трубы за 1, то первоначальная стоимость чугунной, стальной и бетонной труб будет соответственно 2,24, 1,80 и 1,35, а если внести поправки на пропускную способность, долговечность, утечку и пр.—это соотношение представится в виде: 1 : 2,06 : 1,65 : 1,18.

По другим американским подсчетам для трубы диаметром 750 мм, если стоимость деревянной трубы принять за единицу, то стоимость такой же бетонной трубы будет 1,7 и чугунной — 2,4. А если внести поправки

¹ Приводимый подсчет применяется в американской практике.

на большую утечку в деревянных трубах, большую пропускную способность и меньшую долговечность, то соотношение стоимости деревянной, бетонной и чугунной трубы выразится пропорцией 1,6 : 1,7 : 3,4.

По американским данным стоимость 1 пог. м деревянных труб для давления несколько большего 4 атм. нижеследующая.

ТАБЛИЦА 58.

№ по порядку	Диаметр мм	Стоимость звеновых труб в долларах		Стоимость непрерывных деревянных труб из красн. дерева в долларах
		Сосна	Кр. дерево	
1	150	3,14	—	—
2	300	4,90	—	—
3	500	7,50	12,10	11,15
4	600	9,50	15,90	13,75
5	750	13,55	—	17,30
6	900	13,55	—	20,80
7	1 200	13,55	—	31,20

Американский инженер D. C. Неппу считает, что в смысле наименьшей стоимости деревянные трубы стоят на первом месте, бетонные — на втором и чугунные — на третьем.

В наших условиях цены на деревянные трубы небольших диаметров лишь немного дешевле цен на чугунные трубы. С увеличением диаметра разница становится все больше и больше в пользу деревянных труб.

Правда, у нас в Союзе действовал до последнего времени, лишь один завод деревянных труб в Ленинграде, имеющий несовершенное оборудование, находящийся вдали от сырьевой базы, так что на него нужно смотреть как на опытный завод, поэтому и цены его нельзя назвать нормальными.

На некоторых вновь запроектированных и ныне строящихся непосредственно на сырьевой базе заводах намечено снижение стоимости на трубы против Ленинградского завода примерно на 40%. Для сравнения ныне существующих цен на деревянные трубы с ценами запроектированными и ценами на чугунные и железные трубы приводим следующие данные.

ТАБЛИЦА 59.

Звеновые трубы при напоре 4 атм.

№ по порядку	Диаметр мм	Цена за 1 пог. м	Цена, сни- женная на 40%	Цена чугун- ных труб	Цена же- лезных труб
		в р у б л я х			
1	100	5,15	3,09	4,52	5,78
2	150	6,80	4,08	7,03	11,05
3	200	8,55	5,18	9,95	19,25
4	250	9,70	5,82	13,50	21,45
5	300	13,10	7,86	17,54	24,00
6	350	16,70	8,46	19,25	30,20
7	400	19,30	11,58	24,75	36,48
8	450	22,50	12,50	23,50	40,00
9	500	25,30	15,18	35	44

Что касается сравнения стоимости непрерывных труб по существующим ныне ценам и стоимости их по предполагаемым ценам со стоимостью чугунных и железных труб, то ниже приводим эти данные (давление 2 атм).

ТАБЛИЦА 60.

№ по порядку	Диаметр мм	Стоимость 1 пог. м	Предпола- гаемая стоимость 1 пог. м	Стоимость чугунных труб	Стоимость железных труб
		в р у б л я х			
1	500	32,10	19,26	35	44
2	600	36,90	22,14	46,65	52,90
3	700	40,00	24,00	61,17	68,80
4	800	48,20	28,92	78,44	84,80
5	900	56,30	33,78	98,46	102,80
6	1000	64,80	38,88	110,45	119,20
7	1100	68,00	40,80	—	148
8	1200	76,00	45,60	—	235,60
9	1300	88,00	52,80	—	259,20
10	1400	108,00	64,80	—	295,35
11	1500	137,50	82,50	—	339,60
12	1800	180,00	72,00	—	475,20
13	2000	250,00	123	—	529,20

В таблицах 59 и 60 цены на деревянные трубы по преискуранту Ленинградского завода деревянных труб, цены на чугунные трубы по справочнику Ленинградского управления строительного контроля, цены на железные трубы до диаметра 200 мм по тому же справочнику, а выше толщина стенок определена по формуле, приведенной у Бриллинга

$$S = 0,0012 D \cdot P + 0,2 \text{ см},$$

где S — толщина стенки трубы в см,

D — диаметр трубы в см,

P — внутр. давление в кг/см².

К полученному таким образом весу железа на 1 пог. м трубы, прибавлен вес заклепок и стоимость железа в деле принималась равной 800 руб. за 1 т, для труб диам. до 1000 мм и 1200 р. для труб большего диаметра, что, мы полагаем, не является преувеличенным. Если же сравнить стоимость деревянных звеновых труб и чугунных с укладкой в готовые траншеи, приняв во внимание начисления на зарплату в размере 24%, получим следующие цифры (табл. 61).

ТАБЛИЦА 61.

Из таблицы видно, что чем больше диаметр, тем значительнее разница в стоимости между трубами деревянными и металлическими.

№ по порядку	Диаметр мм	Стоимость деревянных труб	Стоимость чугунных труб
1	100	5,30	5,29
2	150	7,00	7,97
3	200	8,78	11,50
4	250	9,95	15,52
5	300	13,40	20,10
6	350	17,05	22,08
7	400	19,70	27,77
8	450	23,07	32,11
9	500	25,92	39,19

Если же в ближайшем будущем после опытов с промерзанием будет доказано, что деревянные трубы можно закладывать на меньшую глубину, то разница в первоначальной стоимости в пользу деревянных труб будет еще больше.

А если в действительности на вновь строящихся заводах будет осуществлено упомянутое выше снижение стоимости, то деревянные трубы во всех случаях их применения могут быть оправданы с экономической точки зрения.

12. Сравнение деревянных труб с трубами из других материалов в отношении их свойств.

Сравнение деревянных труб с трубами из других материалов в смысле их пропускной способности, приведено в гл. 10, а сравнение в смысле стоимости — в гл. 11.

О долговечности деревянных труб говорилось в гл. 10, причем было установлено, что деревянные клепочные трубы непрерывного типа, будучи сделаны из надлежащего материала и находясь в хороших условиях могут служить 40 и больше лет, а звеновые — до 30 л. Существуют примеры, когда деревянные клепочные трубы дают даже больший срок службы.

В смысле долговечности только чугунные трубы стоят выше деревянных, давая срок службы от 70 до 90 и даже до 100 лет. Что же касается железных труб, то они вследствие подверженности ржавлению, дают гораздо меньший срок службы. Американцы ставят в смысле долговечности, как уже упоминалось, чугунные трубы на первое место, деревянные — на второе, а железные и стальные — на третье.

Кроме того как чугунные, так и железные трубы с течением времени зарастают, значительно уменьшая свой диаметр, увеличивая коэффициент шероховатости и тем самым уменьшая пропускную способность.

Между тем в деревянных трубах этих явлений не наблюдается, наоборот, некоторые авторы утверждают, что с течением времени, благодаря образованию слизи на внутренней поверхности деревянной трубы и уменьшению коэффициента шероховатости, их пропускная способность увеличивается. Это обстоятельство, правда, не проверено, но можно с уверенностью сказать, что пропускная способность старых деревянных труб не меньше, чем новых. Можно наблюдать теперь сверленные деревянные трубы 100-летнего срока службы, совершенно не уменьшившие своего диаметра.

При назначении срока амортизации деревянных труб нужно все же очень внимательно отнестись к этому вопросу и при проектировании учесть все обстоятельства, влияющие на долговечность деревянных труб; на качество материалов, из которых они изготавливаются, на способы изготовления их и пр.

Большую роль в сроке службы деревянных труб играет также правильная укладка их и американский авторитет Creager в своей книге *Hydroelectric Handbook* прямо говорит: «расчет и постройка деревянных труб с удовлетворительными результатами требуют специальных знаний, основанных исключительно на опыте».

В той же главе 10 приведены некоторые сведения об утечке из деревянных труб, причем указано, что американцы за среднюю утечку принимают в переводе на метрические меры величину 280 литров на

1 см диаметра на километр протяжения в сутки. Что утечку из деревянных труб можно понизить, показывает то обстоятельство, что некоторые американские фирмы, как выше указано, гарантируют утечку из труб не более 100 литров на 1 см диаметра и на 1 км протяжения в сутки.

Утечка из чугунных и железных труб конечно меньше, нежели из деревянных и при нормальных условиях вообще не должна иметь места.

Интересно привести для сравнения данные об испытании на утечку стальных труб, опубликованные в журнале Eng. News-Record за 5 авг. 1926 г. Испытания были произведены в Detroit'e на трубах диаметром 42", 48" и 60".

ТАБЛИЦА 62.

№ по порядку	Диаметр дм	Длина участка мили	Давление фн/дм ²	Утечка на 1" диам и на милю протяж. в сутки в галлонах
1	42	0,435	100	141
2	42	0,595	100	118
3	42	0,455	100	122
4	48	0,402	100	337
5	48	0,429	100	103
6	48	0,391	100	106
7	48	0,110	100	109
8	48	0,282	100	84
9	60	0,385	100	83
10	60	0,156	100	78
11	60	0,308	100	85
12	60	0,146	100	53
13	60	0,337	100	87
14	60	0,275	100	11
15	60	0,209	100	23
16	60	0,318	100	70
17	60	0,202	100	7
18	60	0,240	100	75
19	60	0,250	100	82
20	60	0,253	100	84

Как видно из таблицы, утечка колебалась в значительных пределах от 7 галлонов на дюймо-милю в сутки до 337 галлонов. Если же подсчитать среднюю утечку на основании данных вышеназванных испытаний, то получится цифра 90 галлонов на дюймо-милю в сутки.

Для определения утечки из деревянных труб следовало бы помимо постановки специальных опытов, которые будут проведены в ближайшее время, собирать сведения со всех мест, где имеются линии из деревянных труб и где эти линии снабжены водомерами. Такие сведения дали бы очень многое и позволили бы судить о работе труб в отношении утечки. Вместе с тем там, где на линии имеются водомер и запорный вентиль, произвести такого рода наблюдения не представляет особых затруднений.

Выше указано, что деревянные трубы обладают меньшей теплопроводностью, чем трубы металлические. Нужно сказать, что сухое дерево имеет совершенно определенный коэффициент теплопроводности и если бы дерево в трубах было сухим, то можно было бы с той или иной точностью иметь

суждение о влиянии на деревянные трубы понижения температуры, а следовательно и о глубине их заложения. Но в деревянных трубах мы имеем дело с деревом, пропитанным водой, величина коэффициента теплоотдачи которого занимает, вероятно, какое-то среднее место между металлом и сухим деревом. Поэтому до постановки соответствующих опытов трудно решить вопрос о промерзаемости деревянных труб и, в связи с этим, о глубине их заложения. В настоящее время Ленинградским отделением Всесоюзного института Водоснабжения ведутся опыты над промерзанием деревянных труб. В ближайшее время намечаются также опыты с прокладкой деревянных труб в вечной мерзлоте. И те и другие опыты несомненно дадут ответ на целый ряд вопросов по поводу теплотехнических свойств деревянных труб и может быть установят, на какую глубину при тех или иных местных условиях можно закладывать деревянные трубы.

Сейчас же можно сказать лишь одно, что если замерзание металлических труб ведет обыкновенно к повреждению их, имеющему характер катастрофы, то при деревянных трубах, при особо неблагоприятных условиях (гл. 10) может получиться лишь уменьшение сечения трубы. Не было примеров, чтобы под влиянием понижения температуры деревянная труба разрушилась или пришла в негодность. Далее, если сравнить эластичность деревянных трубопроводов с трубопроводами металлическими, то тут преимущества целиком на стороне дерева. Чугунные и железные трубы не переносят подвижки грунта. Их нужно укладывать в бодотистых грунтах на солидном жестком основании. Деревянные трубы этого не требуют.

Затем, при гидравлических ударах, чугунные и железные трубы разрушаются там, где в деревянной трубе появится лишь временная течь.

Все остальные свойства деревянных труб и сравнение их с трубами из других материалов приведены в гл. 10.

13. Укладка и сборка деревянных труб.

Деревянные трубы укладываются как по поверхности земли, так и ниже ее поверхности. Звенные трубы, закапываемые в землю в сухих грунтах, укладываются непосредственно в траншею, дно которой предварительно выравнивается. При этом укладка ведется как обычно раструбом вперед (если соединение труб осуществляется помощью обыкновенной вставки). Для этого заготавливается специальный вкладыш такого диаметра, чтобы края его точно соответствовали заплечикам внутренней выточки трубы. Такой вкладыш изготавливается из дерева какой-либо твердой породы и оковывается полосовым железом (рис. 95). Конец трубы, снабженный втулкой, вставляется в раструбный конец и загоняется в него вручную до тех пор, пока он входит. Дальнейшая забивка до плотного вхождения втулки в раструб осуществляется ударами деревянного молота (барса) по вкладышу. Нужно следить за тем, чтобы одно звено плотно вошло в другое, и продолжать удары барсом не только тогда, когда последнее вставляемое звено вошло вплотную, но дать еще несколько ударов, следя за тем, чтобы ранее вставленные звенья, стыки коих могли несколько разойтись при работе, вплотную вошли друг в друга. Перед вставкой заточки в раструб можно промазать заплечики суриковой замазкой для уплотнения зазоров в стыках.

Удовлетворительные результаты дает применение при устройстве соединения битумный состав «железнодорожный». В этом случае железнозем

обмазывается наружная заточка конца трубы и в таком виде конец трубы загоняется в раструб.

«Железньоль» состоит из смеси равных частей естественного битума и извести — пушонки (в порошке). Смесь варится при постоянном перемешивании. После остывания «железньоль» представляет плотную массу, которая разогревается перед употреблением.

Можно, вставив одну трубу в другую, дальнейшую работу вести не ударами, а давлением домкратом, устроив соответствующий упор.

После укладки, трубопровод засыпают, производя с боков тщательную трамбовку и следя за тем, чтобы в траншею не попадали камни, крупные комья земли и другие посторонние предметы.

При укладке трубы необходимо опускать в траншею на веревках, не допуская сбрасывания их с берега на дно траншеи. На закруглениях укладку и соединение стыков нужно вести особо внимательно, причем во время засыпки следить за тем, чтобы трамбование засыпки с наружной стороны закругления было произведено с полной тщательностью. Особенное внимание нужно обращать на трамбовку с боков звеновых труб значительного диаметра во избежание сплющивания их.

Если соединение звеньев труб осуществляется помощью заточки и раструба с дополнительным укреплением хомутом, то этот хомут нужно затягивать осторожно, не давая ему слишком большой затяжки, так как сильная затяжка может сдвинуть концы труб, ослабить проволочную обмотку и вызвать течь. Недостаточная затяжка также нежелательна, так как в этом случае роль хомута сводится к нулю. При применении звеновых труб, снабженных деревянными или металлическими муфтами, укладку труб производят вышеуказанным образом в случае, если муфты не разборные. При применении разборных деревянных муфт, соединение отдельных звеньев производится помощью затяжки муфты бандажми, причем в этом случае также нужно следить за тем, чтобы не перетянуть бандажми, хотя при этом опасность образования течи будет меньше, чем в случае применения хомутов без муфты, так как муфта обыкновенно делается точно, сообразуясь с наружным диаметром трубы, и большого сжатия самой трубы ожидать трудно.

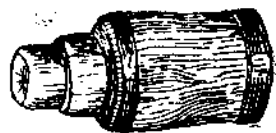


Рис. 95. Вкладыш, применяемый при укладке труб.

При укладке труб на подкладки, что может потребоваться в мокрых грунтах, такие прокладки нужно класть у стыков труб под раструбную часть в непосредственной близости от стыка. Подкладку под самый стык укладывать нельзя, так как это затрудняет осмотр стыка со всех сторон, а при применении муфт передает весь вес трубы и засыпки на муфту, что нежелательно. Под среднюю часть трубы также нужно положить подкладку и затем хорошо подбить трубу землей.

При укладке звеновых труб в скалистых или каменных грунтах трубы желательно укладывать на песчаную подсыпку. Слой подсыпки должен иметь толщину не менее 20—30 см.

В болотистых грунтах трубы можно укладывать без всяких искусственных оснований, так как, как выше сказано, вес деревянных труб не больше веса вытесняемой ими воды, поэтому осадки грунта не опасны.

Звеновые трубы, укладываемые на поверхности земли, располагаются на поперечных подкладках, устанавливаемых поблизости стыков так,

чтобы стыки не закрывались подкладкой из тех же соображений, которые приведены выше в описании укладки труб в мокрые грунты.

По данным, помещенным в каталоге одной из американских фирм, расход рабочей силы и быстрота укладки деревянных звеновых труб в 10-часовой рабочий день нижеследующая:

ТАБЛИЦА 63.

№ по порядку	Диаметр мм	Число рабочих	Колич. пог. м укладки
1	150	4	600
2	200	4	570
3	250	4	510
4	300	4	450
5	350	6	420
6	400	6	360
7	450	6	300
8	500	8	240
9	600	8	180

У нас имеется еще сравнительно небольшая практика укладки звеновых труб, но некоторые данные о стоимости ее в наших условиях привести можно.

Нижеследующая таблица дает ориентировочную стоимость укладки звеновых труб поверху или в готовые траншеи на прямых участках (в цены входит только стоимость зарплаты без начислений).

ТАБЛИЦА 64.

№ по порядку	Диаметр труб	Тип	Стоимость укладки 1 пог. м коп.
1	100	Звен.	12
2	150	"	16
3	200	"	18
4	250	"	20
5	300	"	24
6	350	"	28
7	400	"	32
8	450	"	46
9	500	"	50

Непрерывные деревянные трубы, так же как и звеновые, укладываются либо по поверхности земли, либо зарываются. Хотя нужно сказать, что по данным американской литературы (W. Creager and J. Justin. Hydroelectric Handbook) трубы диаметром порядка около 2 м нельзя укладывать на глубину большую 0,6—1,2 м, считая до верха трубы. Трубы меньших размеров могут выдержать нагрузку 2—3,5 м.

Трубы этого типа, имеющие обычно значительный диаметр, большую частью идут поверху.

Даже в местах с суровым климатом, при условии наличия постоянного движения воды с достаточной скоростью, возможность замерзания таких труб исключается, как указано выше. По свидетельству немецкого автора Н. Рабоуску вода, перемещающаяся со скоростью не меньше 0,6 м/сек., не замерзает даже в открытых каналах, и вышеуказанный автор считает замерзание воды в деревянных трубопроводах невозможным. На самом деле в Америке в г. Ноте на Аляске при наличии сурового климата де-

ревянные трубы уложены по поверхности земли и работают вполне исправно.

В наших условиях имеются трубопроводы, построенные в Ленинградской области и на Алтае, где морозы доходят до 50°C . Трубопроводы проложены поверху, снабжают водой турбины гидростанций и работают уже в около 5-ти лет.

Сборка непрерывных труб производится на седлообразных опорах. Типы опор, расстояние между ними и их ширина выбираются и устанавливаются в соответствии с указаниями, помещенными в соответствующих главах настоящего труда.

К сборке деревянной непрерывной трубы приступают с нижней ее части и после того, как уложено несколько первых клепок, устанавливают кружало, по которому и ведут дальнейшую сборку. Как только собрано первое звено, его схватывают бандажом, слегка затягивая, а одно из кружал, которых вообще применяется два для каждой группы рабочих, передвигают вперед на вновь собираемую часть трубы.

Особенное внимание должно быть обращено на правильную вставку соединительных язычков в торцах клепок, так как соединения вообще являются наиболее слабым местом всякой трубы.

Лучше всего во время работ организовать вставку язычков в прорезы на торцах клепок на стороне. Если эта работа сосредоточена в одном месте, за ней легче наблюдать, и вообще можно вести ее более тщательно. При такой постановке дела на сборку идет клепка со вставленным уже в один из ее торцов соединительным язычком. Далее нужно следить, чтобы торцы соседних клепок были в расстоянии не меньше, чем 0,5 м друг от друга. Таким образом получится, что все отдельные клепки пойдут в перевязку (рис. 5). Если вся клепка одинаковой длины, то и расстояния между концами соседних клепок получатся одинаковыми, и следовательно, в этом случае, все стыки отдельных клепок будут расположены в одной плоскости. Если при этом труба предназначена для небольшого напора, а следовательно бандажи расположены редко, то на стыковой плоскости клепок следует поставить дополнительный бандаж.

Обыкновенно в наших условиях клепка поступает разной длины, поэтому не удастся получить расположения стыков в одной плоскости и тогда нужно только по предыдущему следить, чтобы концы соседних клепок находились друг от друга в достаточном расстоянии.

Во время сборки трубы нужно кроме того следить, чтобы в швы трубы, т. е. в щели между клепками, не попадала щепа, земля или какие-либо другие посторонние предметы, так как в дальнейшем в таких местах будет течь.

Как указано выше, труба в процессе сборки затягивается лишь слегка бандажами, устанавливаемыми примерно через 2 м друг от друга. Затем начинается установка и затяжка всех требующихся по расчету бандажей, причем если каждый бандаж состоит из одной части, то одновременно со сборкой клепок желательно надевать с торцевой части трубы и нужное количество бандажей, так как если их устанавливать потом уже на стянутую сборочными бандажами трубу, то их придется разгибать, чем в дальнейшем во-первых затрудним установку башмаков, а во-вторых можем придать бандажу неправильную форму и вызвать затруднения при их окончательной затяжке. Бандажи вообще должны плотно прилегать к трубе и быть затянуты с достаточным натяжением, поэтому при установке бандажа нужно во-первых наблюдать за тем, чтобы бандаж

был поставлен строго перпендикулярно коси трубы, а во-вторых — плотно прилегал к ней во время затяжки. Для плотного прилегания банджа к трубе нужно во время затяжки постукивать по бандажу деревянным молотом (барсом), сделанным из дерева какой-либо твердой породы и окованным для прочности железом. Таким же барсом вгоняется клепка с язычком в другую клепку, причем удары нужно производить с обязательным применением подкладки под торец клепки. Башмаки устанавливаются на трубе вразбежку, как показано на рис. 44, группируя их по три. Такое расположение башмаков позволит затягивать бандаж с большим удобством, а при больших напорах, где требуется установка большого количества бандажей, позволит установить максимальное их количество. Затяжка бандажей производится сперва для ускорения работы специальным торцевым ключом, имеющим форму коловорота, окончательная же затяжка достигается обыкновенными гаечными ключами с удлинненными рукоятками для создания большего плеча рычага. Окончательную затяжку бандажей никогда не удаётся произвести сразу, так как затяжка соседних бандажей ослабляет натяжение ранее поставленных, поэтому приходится несколько раз подтягивать все бандажы, прежде чем их можно считать окончательно затянутыми. Степень натяжения бандажей определяется чисто опытным путем.

Установку бандажей, состоящих из 2-х частей, применяемых для труб диаметром от 1400 мм и выше, можно производить уже после предварительной схватки трубы первоначальными бандажками, так как последующая установка двойных бандажей не вызывает затруднений. При затяжке двойных бандажей нужно, чтобы затяжка шла одновременно на обоих башмаках одного и того же банджа. Этим достигается равномерное натяжение бандажей и одинаковое использование нарезанных частей бандажей.

Перед окончательной затяжкой бандажей нужно осмотреть всю трубу и, если диаметр трубы позволяет, пройти внутрь ее и постукиванием деревянным молотком привести все клепки в правильное положение, уничтожив таким образом неровности, получающиеся во время сборки вследствие выступления отдельных кромок клепок.

После окончательной затяжки трубы нужно выравнивать изнутри рубанком неровности, могущие получиться у торцевых соединений вследствие расположения прорезов в торцах не на одной высоте по толщине клепки.

Если труба должна быть засыпана, то нужно с особенной тщательностью производить такую засыпку. Совершенно нельзя допускать для засыпки камни, комья земли или какие-либо посторонние предметы. Очень тщательно нужно вести трамбовку засыпки с боков трубы, засыпая землю равномерными слоями толщиной 10 см и трамбуя каждый слой обязательно с обеих сторон трубы одновременно.

Вообще укладка деревянных труб большого диаметра ниже поверхности земли требует крайне осторожного подхода, расчета и исполнения работ. Иногда приходится усиливать арматуру во избежание возможности раскрытия швов, а иногда нужно конструировать опоры, которые воспринимали бы часть усилий, сплюсчивающих трубу. Особенно в этих случаях нужно учитывать возможность образования вакуума в трубе, так как бывали случаи, когда наличие вакуума и засыпки вело к катастрофе.

Деревянные непрерывные трубы, проложенные поверху, обыкновенно ничем не закрашиваются. Трубы, уложенные ниже поверхности

земли, можно осмолить. Употребление масляной краски рекомендовать нельзя, так как такая краска препятствует проникновению воды сквозь поры трубы и таким образом не предотвращает загнивания трубы, а скорее способствует ему.

При укладке непрерывных труб в траншею необходимо, чтобы дно ее было спланировано и чтобы между сторонами и боковой поверхностью трубы было расстояние по крайней мере 0,35 м с каждой стороны.

Стоимость укладки непрерывных труб дороже стоимости укладки труб звеновых, так как при укладке непрерывных труб происходит фактически и их сборка.

Ориентировочно можно считать, что стоимость сборки в готовой траншее или попереху непрерывной трубы по готовым опорам нижеследующая.

ТАБЛИЦА 65.

Диаметр	Тип	Стоимость сборки руб.	Диаметр	Тип	Стоимость сборки руб.
350	Непр.	0,60	1 000	Непр.	1,10
400	"	0,70	1 200	"	1,30
500	"	0,80	1 500	"	1,50
600	"	0,90	1 800	"	1,80
800	"	1,00	2 000	"	2,10

В указанные в табл. 65 цены входит стоимость сборки, т. е. сама сборка клепки на кружалах, установка первоначальных бандажей через расстояние 1—2 м и окончательная выправка трубы перед затяжкой бандажей. Для получения полной стоимости укладки трубы к вышеуказанным цифрам следует еще прибавить стоимость установки и затяжки бандажей, количество которых на 1 пог. м трубы зависит от напора, для которого труба предназначена. Стоимость установки одного бандажа для труб диаметром от 350 до 2000 мм колеблется от 10 до 25 коп. за штуку в зависимости от размера бандажа. Так как размеры бандажа (длина и диаметр) зависят главным образом от диаметра трубы, то по нижеследующей таблице можно считать ориентировочно стоимость установки и затяжки одного бандажа.

ТАБЛИЦА 66.

Диаметр трубы	Стоим. уст. банд. в коп.	Диаметр трубы	Стоим. уст. банд. в коп.
350	10	1 000	15
400	11	1 200	18
500	12	1 500	20
600	13	2 000	25
800	14		

Приведенные выше единичные расценки на сборку деревянных труб относятся к прямым участкам трубы. Сборка труб на криволинейных участках требует несколько большего количества рабочей силы. Что же касается установки бандажей, то цены относятся одинаково как к прямо-

линейным участкам, так и к закруглениям. Стоимость сборки труб без установки бандажей на криволинейных участках нужно увеличить на 10—25% в зависимости от радиуса закругления, делая большую накидку на закругления с малым радиусом.

О радиусах закруглений непрерывных труб нормальных и минимальных говорилось выше, в гл. 6. Что же касается выполнения закруглений, то они производятся следующим образом: труба собирается так же, как и на прямом участке, ставятся первоначальные бандажи через 1—2 м и затем помощью оттяжек или домкратов ей дается нужный изгиб. После каждой такой операции по изгибу труба уплотняется ударами молота по торцам клепок, затем операция повторяется и т. д.

При укладке линии значительной длины для развития фронта работ укладку начинают вести с середины трубы и идут двумя бригадами рабочих от середины к концам. Если на линии большого протяжения имеются какие-либо соединительные части, колодцы и т. п., то на каждый такой отдельный участок, заключенный между двумя соединительными частями или колодцами, ставятся две бригады рабочих, которые и ведут работу, как выше указано, от середины к концам. Таким образом схема сборки трубопровода может быть представлена в следующем виде (рис. 96).

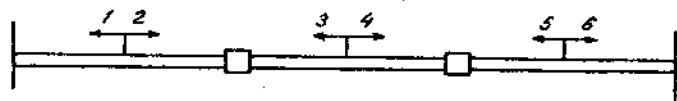


Рис. 96.

Деревянные трубы необходимо укладывать так, чтобы ось трубы лежала ниже линии наименьшего возможного гидравлического уклона. Если какая-нибудь точка оси трубы находится выше линии гидравлического уклона, то должны быть запроектированы надлежащие выпуски и воздушные клапаны для впуска и выпуска воздуха. Эти клапаны должны быть защищены от замерзания, так как иначе в нужный момент они могут отказаться работать, что может послужить причиной сплющивания и разрушения трубы.

При прокладке трубы должны быть приняты меры для устранения опасности вымывания грунта из-под трубы. Там, где это возможно по экономическим соображениям, фундаменты для поддержки конструкции должны быть сделаны каменные или бетонные. В случаях, где имеет место ток воды вдоль боков трубы или снизу ее, должны быть запроектированы соответствующие задерживающие перемычки для ограничения возможности вымывания грунта. В легко размываемых грунтах должны быть приняты меры против истирания трубы, для чего должны быть запроектированы перемычки из коротких шпунтовых свай поперек траншеи с продолжением их на небольшое расстояние по сторонам траншеи, чтобы вода, получающаяся вследствие обычной утечки, собиралась и текла через гребень шпунтового ограждения. Перемычки должны быть достаточно плотными и устроены так, чтобы между последовательными рядами было небольшое вертикальное падение.

Во всех случаях, когда имеется налицо легко размываемый грунт, необходимы устройства для контролирования воды, поступающей вследствие утечки и для удаления ее из траншеи на безопасное расстояние. Если этого не сделано, возможно вымывание грунта вследствие утечки,

получающейся как при первоначальном наполнении трубы, так и в дальнейшем.

Слабый грунт может разрушить трубу при выпуске из нее воды, если не запроектирован надлежащий дренаж. Дренаж в мокрых грунтах необходим и для того, чтобы грунтовые воды не попадали в трубу, когда она пуста. После сборки трубы и присоединения ее к соответствующим устройствам, пуск воды в трубопровод нужно производить чрезвычайно медленно, так как первоначальную затяжку бандажей обыкновенно не удастся произвести так, чтобы не было никакой утечки, и желательно, чтобы эта утечка происходила при наименьшем гидростатическом давлении, дабы по возможности ограничить количество воды, вытекающей из трубы.

Важным обстоятельством, требующим медленного наполнения трубы водой, является необходимость дать усилиям разбухания, передающимся бандажам, уменьшиться вследствие некоторого вдавливания бандажей в стенки трубы, прежде чем труба получит полное гидростатическое давление. Это особенно важно, когда усилие, передающиеся бандажам от разбухания дерева, велики, т. е. тогда, когда расстояния между бандажами значительны.

Как только вода приходит в соприкосновение с деревом, некоторое ее количество впитывается в древесину, заставляя клепки разбухать. Обычно первоначальная утечка прекращается после разбухания дерева, причем до 70% утечки исчезает уже через сутки после наполнения трубы водой. Полное же разбухание клепок продолжается до 30 дней и больше. Та утечка, которая не прекращается даже после обстукивания бандажей и дополнительной их подтяжки, ликвидируется способами, указанными ниже.

Деревянные трубы приходится обыкновенно транспортировать по железной дороге, зачастую на значительные расстояния, поэтому небезынтересно привести цифры, касающиеся количества звеновых труб, помещающихся на железнодорожную платформу нормального типа.

ТАБЛИЦА 67.

Диаметр мм	Помещается на платформу пог. м	Диаметр мм	Помещается на платформу пог. м
100	до 1000	350	до 170
150	" 800	400	" 130
200	" 400	450	" 120
250	" 250	500	" 110
300	" 210		

Трубы непрерывного типа отправляются в разобранном виде, а потому транспорт их более удобен, так как вагоны получаются полногрузные. Нижеследующая табл. 68 дает ориентировочные цифры вместимости клепки на железнодорожную платформу в зависимости от диаметра трубы.

Что касается арматуры трубы (бандажей и башмаков), то вместимость их в вагоне можно подсчитать, взяв в соответствующей таблице вес арматуры на 1 пог. м трубы в зависимости от напора и считая грузоподъемность вагона нормального типа 16,5—18 т.

ТАБЛИЦА 68.

Диаметр трубы мм	Колич. клепки на платформе пог. м трубы	Диаметр трубы мм	Колич. клепки на платформе пог. м трубы
350	950	1 300	135
400	840	1 400	125
500	650	1 500	105
600	535	1 600	98
700	475	1 700	92
800	410	1 800	85
900	300	1 900	82
1 000	250	2 000	70
1 200	230	2 500	55
1 200	145	3 000	41

Непрерывные деревянные трубы переносят с известными предосторожностями всякую перевозку и могут доставляться к месту работ даже при отсутствии дорог выюками, что может иметь место в гористых местностях.

Звенные трубы в этом отношении требуют большего внимания. Во время транспорта бывают случаи облома заточенных концов, в особенности если соединение осуществляется не муфтами, а заточкой с раструбом. В этом случае на концах получаются более тонкие части клепок, которые при ударах обламываются. Также нередки случаи порчи покрытия труб. При укладке таких труб покрытие можно восстановить уже во время укладки на месте работ. Больше неудобств возникает при поломке концов, хотя заточку можно восстановить также на месте работ вручную, отодвинув и закрепив предварительно витки обмотки и обрезав трубу в нужном месте. Все же работа эта достаточно кропотливая и при дальних перевозках с несколькими перегрузками звенные трубы должны быть снабжены деревянными шайбами, вкладываемыми в оба конца трубы на время их транспортировки.

Чтобы закончить настоящую главу, необходимо сказать несколько слов о ремонте деревянных труб. Почти всякое повреждение деревянной трубы, за исключением повреждения покрытия ее, вызывает утечку воды, следовательно к ликвидации этой утечки и относятся все мероприятия по ремонту деревянных труб. Утечка в звенных трубах может возникнуть по следующим причинам: а) недостаточность плотности швов, как следствия какого-либо повреждения граней клепки или недостаточно точной пригонки их; б) утечки вследствие выпадения сквозного сучка, пропущенного случайно при браковке клепки. Это обстоятельство наиболее возможно при изготовлении труб из ели, в которой часто попадаются мелкие, незаметные, карандашные сучки, которые при браковке могут быть пропущены; в) вследствие повреждения обмотки; г) вследствие недостаточной плотности стыков и д) при повреждении клепки.

При недостаточной плотности швов трубы определяют место утечки, раздвигают в этом месте витки проволоки, параллельно со швом трубы с одной или обеих сторон его в расстоянии примерно 10 мм от шва, делают стамеской, ножом или каким-либо другим режущим инструментом небольшие щели и в эти щели загоняют плоские клинья из дерева. Ни в коем случае нельзя вгонять клин в самый шов, так как от этого шов расклинится, разойдется еще более и течь не уменьшится, а увеличится. Загнан-

ные же рядом со швом клинья уплотняют шов и почти во всех случаях течь, возникшая по вышеназванной причине, прекращается. Если течь возникла вследствие выпадения сучка, то также отодвигают виток обмотки, если он приходится над сучком, делают пробку из дерева и загоняют в дыру, образовавшуюся на месте выпавшего сучка.

Если утечка происходит вследствие повреждения обмотки, т. е. обрыва ее по каким-либо причинам, то в этом случае необходимо закрепить скобками оставшуюся часть обмотки в местах, где она имеет еще нормальное натяжение, обрезать проволоку и освобожденную от обмотки часть стянуть бандажами.

При недостаточной плотности стыков, если стык осуществлен при помощи разборной муфты, обыкновенно для устранения течи достаточно подтянуть бандажи на муфте; если же соединение исполнено путем вставки заточки одного конца трубы в раструб на другом конце, то первым делом нужно попробовать устранить течь помощью установки на такой стык бандаж. Если это не помогает, то конопатят зазор в стыке просмоленной паклей, кладут на зазор резиновую прокладку или прокладку из какого-либо другого уплотняющего материала и затягивают такую прокладку бандажом из полосового железа. Если и такой способ не помогает, то дело усложняется, так как тогда необходимо вынуть звено с неудовлетворительным стыком и если обнаружится, что утечка происходит или вследствие слишком большой обмотки стыка или вследствие имеющихся отщепов по граням отдельных клепок, то нужно промазать стыковую часть каким-либо подходящим материалом и загнать опять одну трубу в другую. Удовлетворительные результаты дает в этом случае вышеупомянутой вышеназванный состав, железный, который хорошо заполняет указанные выше дефекты на обточенных концах труб. Вообще же вынимание звена из линии, когда соединения исполнены путем вставки одного конца трубы в другой — вещь довольно сложная и неприятная, поэтому всегда при укладке труб нужно самым внимательным образом осматривать стыки.

При повреждении клепки вследствие удара или по каким-либо другим причинам остается только удалить поврежденное звено, что связано, как уже говорилось выше, с известной сложностью и неудобством.

Можно удалить не все звено, а вырезать поврежденную часть, вставить новый отрезок трубы соответствующей длины, а соединение такого патрубка со старым трубопроводом осуществить помощью разборной муфты. Ремонт непрерывных труб, когда они идут по поверхности земли, не связанный с отрывкой траншеи, проще, нежели ремонт звеновых труб. Утечку из швов часто удается прекратить простым обстукиванием бандажей в местах утечки, затем, если утечка не прекращается, нужно подтянуть бандажи и уже после того, как эти способы испробованы и не дали положительных результатов, нужно, по предыдущему, ликвидировать течь путем уплотнения швов клинышками. Если утечка происходит в соединенных язычками торцах клепок и притом ее нельзя устранить конопаткой стыка, то нужно наложить на такой стык пластырь из какого-либо уплотняющего материала (резина, просмоленный холст и пр.), наложить на пластырь пластинку из листового железа и все это стянуть бандажом.

• При разрушении клепки нужно освободить часть трубы от бандажей, вырезать поврежденную часть клепки и заменить ее новой вставкой. Такая операция не вызывает особенных затруднений.

Можно, вырезав часть сгнившей клепки, если это имеет место, заделать отверстие цементным раствором состава 2 : 1 с армировкой проволокой № 10 (Creager - Hydroelectric handbook).

При зарытых трубах ремонт производится таким же образом, но в этих случаях приходится конечно отрывать трубу, что удорожает работу. Отрывку трубы нужно производить очень осторожно и все время следить за тем, чтобы после того, как траншея отрыта до верха трубы, дальнейшую отрывку производить одновременно с обеих сторон трубы, иначе неравномерное давление грунта, возникающее при односторонней отрывке, может разрушить трубу.

14. Меры предохранения деревянных труб.

За последнее время в Америке с целью увеличения долговечности деревянных труб все чаще и чаще прибегают к пропитке древесины клепок каким-либо антисептиком. В особенности это часто встречается в тех случаях, когда трубы предназначаются для работы неполным сечением, где не может быть полной пропитки стенок трубы водой и где, следовательно, нельзя ожидать от неконсервированного дерева достаточного срока службы.

Трубы, предназначенные для канализационных целей, должны при требовании от них достаточного срока службы обязательно пропитываться каким-либо консервирующим составом.

В Америке в качестве антисептика для пропитки клепки применяется почти исключительно креозотовое масло.

Пропитку можно вести либо способом открытых ванн, когда клепка погружается сперва в ванну с горячим креозотом, а потом в ванну с холодным креозотом, но наиболее распространенным методом креозотирования является способ так называемого ограниченного поглощения, или способ «Рюпинга». При этом способе пропитка ведется в закрытых цилиндрах с повышением давления до 4-х и 7-ми атм. с последующим разрежением. В этом случае все оборудование состоит из пропиточных цилиндров, расходного цилиндра с подогревом, компрессора для нагнетания креозота в поры дерева, воздушного насоса для получения разрежения в пропиточных цилиндрах, центробежного насоса для перекачки креозота и запасного для него же бака.

Процесс пропитки по методу Рюпинга идет примерно следующим образом:

Воздушное нагнетание до 2—3 атм.	— ч. 10 м.
Выдержка	— „ 10 „
Нагнетание подогретого до температуры 90°C креозота	— „ 15 „
Поднятие давления до 6—8 атм.	— „ 45 „
Выдержка	— „ 30 „
Разрежение	— „ 25 „

Всего . . . 2 ч. 15 м.

По данным Американского общества предохранения дерева, расход креозота составляет 126 кг на 1 м³ древесины (8 фунт. на 1 ф.³).

На основании вышеприведенных данных можно ориентировочно подсчитать количество нужных для пропитки цилиндров. Длительность процесса вместе с загрузкой и выгрузкой можно считать около четырех часов.

Диаметр пропиточных цилиндров ходовых размеров имеет величину от 1,5 до 2,3 м.

Расход тепла для подогрева креозота в расходном цилиндре от температуры t_1 до температуры t_2 определяется по формуле

$$Q = C_k M (t_2 - t_1), \quad (11^2)$$

где: Q — расход тепла в калор..

C_k — теплоемкость креозота — 0,56,

M — вес креозота в цилиндре в кг,

t_1 — начальная температура в градусах С,

t_2 — конечная » в градусах С.

Так как клепки деревянных труб имеют тенденцию загнить с торцев, а также там, где они имеют повреждения, то иногда в Америке практикуется погружение концов клепок в креозот перед сборкой непрерывной трубы.

Креозотирование горячим способом с пропаркой ослабляет древесину и ее сопротивление сжатию поперек волокон на величину около 30%, между тем при способе ограниченного поглощения такого ослабления не получается.

Американцы применяют креозотированные деревянные трубы не только для канализационных линий, но также и для питьевых водопроводов.

На некоторых трубопроводах Бюро промышленных исследований Вашингтонского университета произвело ряд наблюдений над временем, в течение которого в воде, проходящей по креозотированной трубе, чувствуется запах креозота, причем в одном случае с 56"-й трубой, проложенной на протяжении $22\frac{1}{2}$ миль при скорости воды 5 фут/сек после 13 дней работы вкус креозота не был замечен лишь при разведении испытуемой воды 2-мя частями свежей воды. После 29 дней работы водопровода вкус креозота исчез совершенно.

В другом случае труба в Wenatchee Valley, состоящая из 2-х участков, одного — диаметром 63" на протяжении 5675 фут. и другого — диаметром 60" на протяжении 2470 фут., уже через 11 дней после пуска в нее воды не давала следов креозота.

Стоимость креозотирования труб удорожает их на 15—20% (по американским данным).

Для предохранения звеновых труб, укладываемых в землю, они покрываются с наружной поверхности смесью битумных веществ. Смесью битумных веществ разогревается до полного перемешивания, и затем труба или погружается в такой состав или обмазывается им. После такой ванны труба прокатывается по песку, опилкам или каким-либо волокнистым веществам, которые, прилипая к смолистым веществам, образуют предохранительную рубашку. Операцию по устройству такой рубашки желательно повторить два раза.

Существуют, как выше указано, предположения производить эту операцию помощью разбрызгивания смеси пневматическим способом, но пока опытов с этим способом еще не было.

Главнейшие требования, которые должны быть предъявлены к покрытию деревянных труб, следующие: 1) покрытие не должно оплывать под действием солнечных лучей, т. е. должно быть тугоплавким; 2) не должно прилипать к окружающим предметам при нормальной температуре; 3) покрытие не должно растворяться в воде нормальной температуры;

4) оно должно быть достаточно вязким, прочным и эластичным; 5) покрытие не должно отскакивать на холоду от легких ударов.

Существует несколько рецептов составов для покрытия деревянных труб. Приведем некоторые, применяемые в настоящее время рецепты составов:

I. полугудрон	4	весов. части	II. полугудрон	3	весов. части
гудрон	2	" "	гудрон	2	" "
смола каменноугольная	1	" "	смола каменноуг.	1	" "
смола древесная	1	" "	смола древесная	2	" "
III. пек жидкий	1	весов. часть			
пек твердый	3	весов. части			

На Ленинградском заводе деревянных труб применялся, до последнего времени, III состав.

Расход состава на 1 пог. м трубы указан в табл. 46.

Нужно сказать, что ни один из составов нельзя назвать удовлетворительным и полностью отвечающим всем предъявленным к составам требованиям. Точка плавления вышеназванных составов примерно 50°C, а это, конечно, мало. При такой точке плавления покрытие труб под действием лучей солнца оплывает.

Вышеназванный состав железноль дает гораздо лучшие результаты, как показали предварительные опыты, и его-то вероятно придется принять для покрытия деревянных труб.

Надо сказать, что покрытие деревянных труб имеет большое значение, так как защищает проволоку обмотки от ржавления, и хотя проволока берется обычно оцинкованная, но всегда можно ожидать повреждения в некоторых частях оцинковки, которые и подвергаются ржавлению, не будучи предохранены.

Бандажи и башмаки непрерывных труб перед постановкой их в дело также нужно защищать каким-либо покрытием.

В качестве такового можно употреблять сурик, разведенный на олифе асфальтовый лак или так называемый «кузбаслак».

15. Вопрос об испытании деревянных труб и некоторые данные исследований.

Все более и более широкое применение деревянных труб в различных областях народного хозяйства ставит в порядок дня вопрос о тех способах, посредством которых надлежит производить испытание деревянных труб.

К деревянным клепочным трубам нельзя применить тех методов, которые обычно применяются при испытании труб металлических.

Дерево — материал пористый, а потому в деревянных трубах всегда имеется налицо некоторая фильтрация, которая невозможна сквозь стенки металлических труб.

Утечка из металлических труб происходит исключительно в стыках или вследствие образования трещин.

Воду в пределах тех давлений, которые обычно применяются при испытании труб, можно считать несжимаемой, поэтому в деревянных трубах просачивание даже незначительного количества воды вызовет понижение давления, а поэтому основной способ испытания металлических труб, когда такой трубопровод подвергается пробному давлению в течение определенного промежутка времени, к деревянным трубам неприменим.

Процент утечки вследствие фильтрации воды сквозь поры дерева настолько незначителен по сравнению с полным расходом, что уменьшения угла склонения линии гидравлического уклона не происходит, что очень важно при гидроустановках.

* Исходя из названных положений, можно установить тот путь, по которому нужно идти при установлении норм для испытания деревянных труб.

Должно быть найдено и установлено количество той максимальной утечки, приходящей в продолжение известного промежутка времени и отнесенной к единице диаметра и единице давления, которая может быть допущена.

Такую минимальную или среднюю утечку можно установить лишь опытным путем, для чего и ведутся в настоящее время соответствующие опыты. Выше, в гл. 10, приведены американские сведения об утечке, пользуясь которыми и можно судить о пределах, допустимых для нормальной утечки. Далее, при испытании деревянных труб нужно пускать воду медленно, с соблюдением предосторожностей в смысле выпуска воздуха из повышенных точек линии и пр. и никогда не давать сразу же полного давления. Нужно в продолжение нескольких дней давать напор не выше 1 атм. и только тогда, когда клепку трубы можно считать почти забухшей, дать полное давление.

За последнее время Ленинградским отделением Всесоюзного института водоснабжения был проведен ряд опытов по деревянным трубам. Опыты эти касались возможности увеличения шага обмотки в звеновых трубах, определения времени разбухания деревянных труб, усилий, возникающих в трубах под влиянием сил разбухания и пр.

Что касается применявшейся аппаратуры, способа ведения работ и подробного описания опытов, то их можно найти в Бюллетене № 2 за 1931 г. Ленинградского отделения Государственного института сооружений, а теперь в сборнике Ленинградского отделения института водоснабжения за 1932 г., посвященного деревянным трубам. Здесь же помещаем лишь результаты опытов.

Во-первых выяснилось, что вполне возможно увеличить шаг проволоки, принимая за допускаемое напряжение проволоки на разрыв 1200 кг/см^2 .

Соответствующие таблицы настоящего труда, приводящие данные о шаге проволоки, и дают этот шаг при допускаемом напряжении на разрыв 1200 кг/см^2 . Далее выяснилось, что полное разбухание деревянных труб, сделанных из лиственницы, при первоначальной влажности дерева 14—16% длится в среднем 24,2 суток, а для сосны — 17,1 суток. Среднее напряжение разбухания для сосны и лиственницы было найдено равным $7,792 \text{ кг на } 1 \text{ см}^2$ соприкасающихся граней клепок. Мы в наших расчетах принимаем (гл. 9) это напряжение, равным 8 кг/см^2 , так что не делаем большой ошибки.

16. Область применения деревянных труб.

Область применения деревянных труб чрезвычайно обширна. В Америке, где дело производства деревянных клепочных труб существует уже свыше 60-ти лет, имеются сотни установок, применяющих деревянные клепочные трубы для самых разнообразных целей, причем существуют отдельные линии длиной до 150 км.

Область применения деревянных труб обуславливается их свойствами.

Выше, в главе 10, было выяснено, что срок службы деревянных труб составляет от 30 лет для звеновых труб и до 40 — 50 лет для труб непрерывных; далее было определено, что деревянные трубы имеют утечку, превосходящую утечку из труб металлических, что стыки являются слабым местом деревянных труб.

Относительно напора было установлено, что напор, при котором они исправно работают, составляет в наших условиях нормально не свыше 5 атм.

В главе 10 выяснены достоинства и недостатки деревянных труб по сравнению с трубами из других материалов.

Исходя из этих предпосылок, можно установить границы, в которых целесообразно применение деревянных труб.

Деревянные трубы в большом масштабе употребляются для целей водоснабжения. Нужно сказать, что в этой области деревянные трубы наиболее целесообразно употреблять для водоводов, так как они обычно имеют значительный диаметр и лишены всяких боковых ответвлений. Первое обстоятельство дает возможность экономически оправдать применение деревянных труб, так как разница в стоимости увеличивается в пользу деревянных труб по сравнению с другими трубами вместе с увеличением диаметра. Второе обстоятельство — отсутствие ответвлений дает минимум утечки, которая главным образом имеет место на стыках и соединениях.

Наоборот, применять деревянные трубы для разводящей сети, в особенности в случаях устройства отдельных вводов в каждый дом, менее целесообразно. Вообще нужно сказать, что в водопроводном деле вода представляет товар, подчас довольно дорогой, поэтому с утечкой нужно считаться и учитывать ее при проектировании.

В Америке деревянные трубы в большом масштабе применяются для целей ирригационных. Нельзя сказать, чтобы применение деревянных труб в этой области было вполне целесообразно. Дело в том, что трубопроводы, предназначенные для ирригационных целей, работают обыкновенно не полный год, а несколько месяцев в году, составляющих оросительный период. Такое попеременное влияние сухости и влаги вредно действует на деревянные трубы и укорачивает срок их службы. При таких условиях лучше всего пропитывать клепку каким-либо антисептиком, что способствует увеличению долговечности труб.

Наиболее благоприятной областью применения деревянных клепочных труб, главным образом непрерывных, являются гидроустановки, где требуется подвод воды к турбинам. В самом деле, в этой области трубы употребляются обычно большого диаметра, что экономически оправдывает их применение, они всегда находятся под напором, что обеспечивает им достаточный срок службы. В этих случаях никогда не встречается ответвлений, что сводит к возможному минимуму утечку. Трубы, предназначенные для подвода воды к турбинам гидроустановок, обыкновенно прокладываются по поверхности земли, что обеспечивает правильный надзор, уход и своевременный ремонт их. Наконец они обычно заменяют в этих случаях железные трубы, требующие большого количества металла, а также в разобранном виде могут доставляться в места, где доставка всяких громоздких и тяжелых материалов представляет известное затруднение.

К области, где деревянные трубы вполне могут оправдать их применение, относятся также водопроводы для подвода воды с целью охлаждения машин. Своевременные тепловые электростанции, пользующиеся

в огромном числе случаев в качестве двигателей паровыми турбинами, требуют громадных количеств воды для их охлаждения. В этих случаях деревянные трубы дают экономическое, быстрое и надежное разрешение вопроса. Условия работы труб в этих случаях: постоянный расход и напор, отсутствие ответвлений, большие диаметры и пр., создают все предпосылки для применения деревянных труб.

Для канализационных линий, работающих обыкновенно неполным сечением и перемещающих жидкости, содержащие большое количество гнилостных бактерий, деревянные трубы непригодны. Их можно применять в этих случаях только после предварительной пропитки клепки креозотом или каким-либо другим консервирующим древесину составом, не выщелачиваемым жидкостью. В Америке существуют примеры установок деревянных труб для канализационных целей, но в этих случаях всегда применяется, как выше сказано, креозотирование.

Деревянные трубы, как указано выше в гл. 10, хорошо сопротивляются действию вод, содержащих химические и минеральные примеси, поэтому за границей они получили широкое применение на химических заводах и для удаления вод из рудников, шахт и предприятий, дающих агрессивные воды.

В настоящее время у нас делаются попытки применить деревянные трубы для теплофикационных целей. Пока вопрос этот находится в стадии опытов. Также в стадии опытов находится вопрос по применению деревянных труб для перемещения нефтепродуктов. Для этой цели придется, повидимому, брать клепку из какого-либо дерева, не содержащего смолы так как нефтяные продукты, растворяя смолу и освобождая таким образом смоляные ходы, создают условия, способствующие утечке.

Деревянные трубы могут быть употреблены для перекачки жидкостей, несущих большое количество взвешенных частиц, например при землесосных работах. При таких работах железные трубы изнашиваются очень быстро, деревянные же трубы более стойки в этом отношении.

Иногда при применении деревянных труб для вышеописанных целей, главным образом в тех случаях, где труба работает самотеком, в трубы вставляются вкладыши (рис. 97), которые заменяются новыми по мере их износа.

В настоящее время ведутся также опыты по применению деревянных труб в условиях вечной мерзлоты, что имеет большое значение для водоснабжения крайнего севера нашего Союза.

Вообще деревянные трубы завоевывают у нас все большую и большую область применения и несомненно в ближайшие же годы получат применение в тех областях хозяйства, где до сего времени употреблялись лишь трубы металлические, смягчая таким образом дефицит в этих последних.

Нужно только при употреблении деревянных труб учесть все обстоятельства, могущие повлиять на их работу и, как советуют американцы, умело запроектировать и построить соответствующие сооружения.

Кроме вышеуказанных целей принцип изготовления деревянных труб используется при производстве чанов и баков различного назначения, деревянных лотков, силосных башен. Все перечисленные конструк-



Рис. 97. Трубы со вкладышами при перемещении воды с большим количеством наносов.

ции, так же как и деревянные непрерывные трубы, собираются из отдельных клепок и стягиваются отдельными бандажами, так что способ изготовления, расчет этих сооружений соответствует расчету деревянных труб в смысле восприятия усилий, возникающих от внутреннего давления. Отличие в конструкции того или иного сооружения от деревянных труб заключается в том, что лоток состоит из трубы, как бы разрезанной по горизонтальному диаметру (рис. 98), чан или бак любого назначения — это та же труба более или менее значительного диаметра, поставленная вертикально и снабженная днищем, силос — это тоже деревянная, поставленная вертикально на бетонное или каменное основание и снабженная крышкой труба. Все методы изготовления лотков, силосов или чанов совершенно таковы же, как непрерывных деревянных труб.

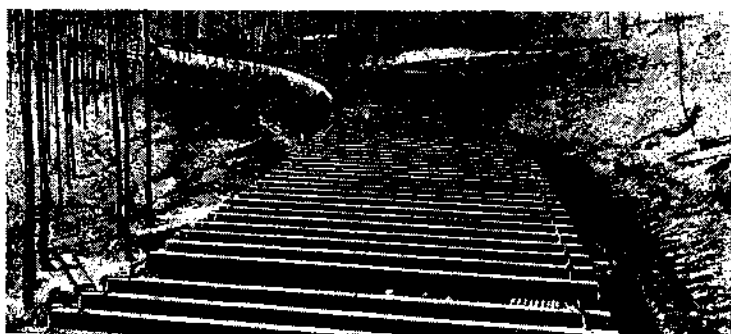


Рис. 98. Деревянный лоток.

В силосах для хранения кормов нужно лишь принять во внимание внутреннее давление, которое отличается от давления гидростатического и увеличивается по американским данным в зависимости от высоты силосной башни на величину 9 фунтов на 1 кв. фут на каждый линейный фут высоты силосной башни. Давление на грунт, силы, создаваемые давлением ветра, учитываются по обычным формулам статики сооружений.

17. Примеры некоторых установок.

Дело прирводства и применения деревянных труб наиболее развито в Америке, являющейся родиной деревянных труб современного типа. Естественно поэтому, что наиболее интересные примеры деревянных трубопроводов находятся в Америке.

Следующей страной, где деревянные трубы получили широкое распространение, является Германия, которая на ряду со Скандинавскими странами, в широком масштабе использует деревянные трубы для самых разнообразных целей.

Мы не будем приводить много примеров постройки деревянных трубопроводов из иностранной практики, так как описание многих из них имеется в статьях, вышедших за последние годы в наших повременных технических изданиях, а ограничившись описанием наиболее характерных из них, перейдем к некоторым трубопроводам, построенным у нас в Союзе.

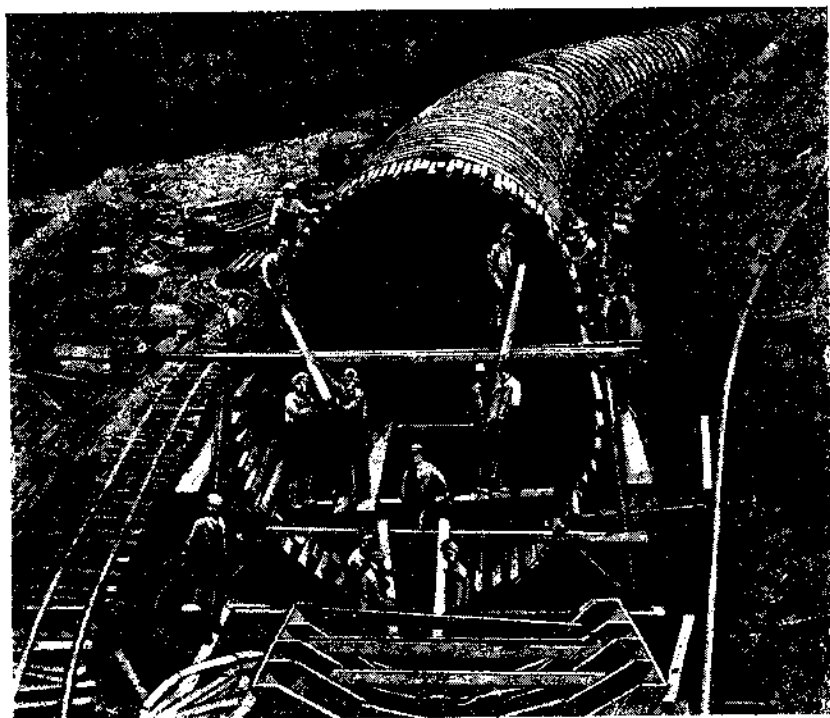


Рис. 99. Труба диам. 4,9 м на р. Clamath.

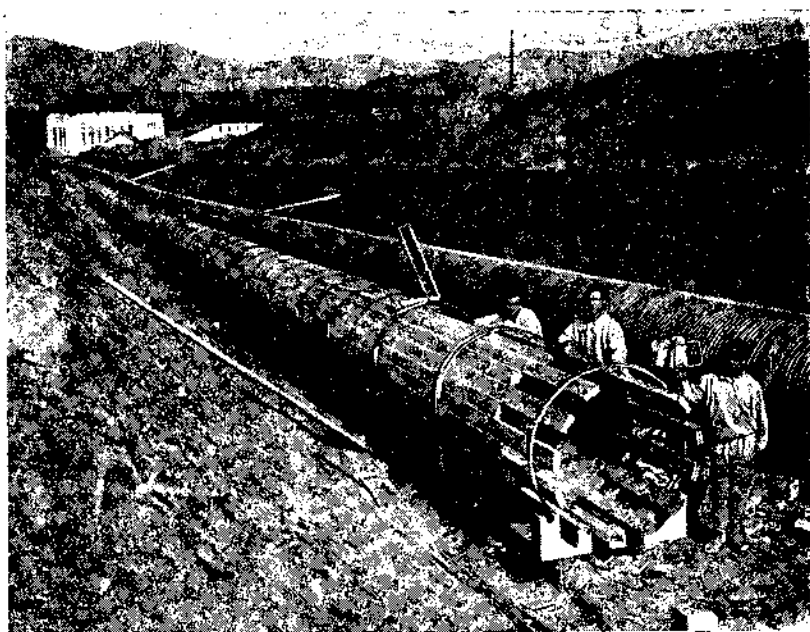


Рис. 100. Трубопроводы Хариузовской гидроустановки.

Как уже упоминалось в начале настоящего труда, самый крупный деревянный трубопровод построен в САСШ в Калифорнии в 1923 г. на р. Слатх и имеет диаметр 4,9 м (рис. 99). Трубопровод рассчитан на внутреннее давление 19 м водяного столба. Клепка имеет размеры 110 мм × 150 мм. Арматурой трубы служит круглое железо диаметром 32 мм. Трубопровод установлен на железные опоры, расположенные в расстоянии 2 м друг от друга. Назначение трубопровода — подвод воды к турбинам гидроэлектростанции.

На рис. 38 изображена труба диаметром 1200 мм, построенная в штате Washington. Напор 6 атм., протяжение 8400 пог. м.

Труба интересна тем, что в ней имеется одновременное закругление как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, что вообще не рекомендуется.



Рис. 101. Трубопровод $\varnothing$ 300 мм для оросительных целей на остр. Хортица.

Наибольший по длине трубопровод из звеновых труб является Bonito Pipe Line, El Paso and Southwestern Railway, N. Mex. Эта линия состоит из звеновых труб диаметром 10, 12 и 16", сделанных из сосновой клепки и тянется на протяжении 100 миль (161 км).

В Америке насчитываются сотни установок с деревянными трубопроводами различных диаметров, различных протяжений, различных типов, как непрерывных, так и звеновых. Трубы имеют самое разнообразное назначение от паропроводов до гидросиловых установок. Описание даже небольшого количества их заняло бы слишком много места, к тому же некоторые из этих трубопроводов описаны в настоящем труде в других главах. Интересующихся более подробными сведениями мы отсылаем к источникам, перечисленным в конце настоящего труда.

В Германии, как указано выше, существует много примеров прокладки деревянных труб. Н. Rabovsky дает сведения о 119 установках, пользующихся деревянными трубами самых разнообразных протяжений от 11 до 9300 м. Диаметры названных трубопроводов колеблются от 40 до 2750 мм.



Рис. 102. Водопровод для Буйнакса.

Повидимому наибольшая в смысле диаметра труба в 3. Европе, имеющая диаметр 2750 мм, построена в Чехо-Словакии в Klein Wöhlen. Труба работает под напором 0,8 атм. и имеет протяжение 610 м.

Некоторые из построенных в Германии трубопроводов работают под значительным давлением. Так, трубопровод в Gailing N. Ö. диаметром 125 мм, протяжением 217 м, работает под давлением 10 атм. Трубопровод в Gi-

tenbrunn N. O., состоящий из труб двух диаметров 100 и 125 мм, общим протяжением 1400 м, работает под напором 12 атм. Трубопровод диаме-



Рис. 103. Непрерывная деревянная труба 500 мм в Гомеле.

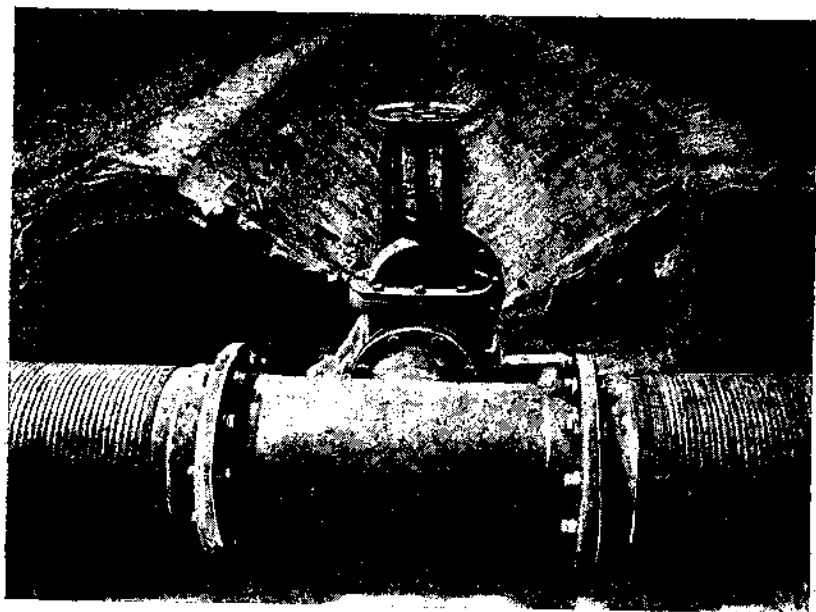


Рис. 104. Установка тройника на звеновой трубе.

тром 250 мм, протяжением 468 м, в Hofsggrund, Baden, имеет напор 10,5 атм. Там же, в Baden'e в Lauf, имеется трубопровод протяжением 1900 м, диаметра 450 и 500 мм, с напором 10 атм. Водопровод для водоснабжения

г. Gotha при диаметре 400 мм имеет давление 7 атм. Есть трубопроводы под значительным давлением 6 атм. (Leisen, Steiermark — диаметр 800 мм).

Из наших установок, исполненных за последние несколько лет, некоторые описаны в статьях автора, помещенных в журнале «Строительная промышленность» за 1928 г. № 2 и 1929 г. № 4.



Рис. 105. Трубопровод Кузнецкого металлургического завода.

Рис. 100—105 дают представление о некоторых наших деревянных трубопроводах.

Ниже на стр. 206 и 207 даны сведения о некоторых построенных и строящихся у нас трубопроводах.

ТАБЛИЦА 69.

Местоположение	Назначение	Диаметр мм	Напор атм.	Протяже- ние	Примечания
Акбаш Каб.-Бал. авт. обл.	Гидростанция	1 000	2	100	2 трубопров. по 50 м
с. Боровно, Боров. Окр. Лен. обл.	"	1 800	2	115	
г. Чулуев, Харьк. окр. (Эсхар)	Подвод воды для турб.	1 800	2	808	2 трубопров. по 431,5 м
Нуха, Азерб.	Гидростанция	800	—	1 500	
Зурнабал	"		—	4 000	
Риддер, Алтай	"	1 100	6	1 500	
Грозный	Водопровод	900	2	4 500	
Горный Тикич, Украина	Гидростанция	1 180	2	40	
		1 580	2	40	
		200	4	4 000	
Буйнакск, Дагестан	Водопровод				2 трубопров. по 750 м
Ст. Казаки, Ю.-В. ж. д. Казахский крах-пат. зав.	Водопр. для пром. целей	350	1	1 000	
Витка	Пром. водопр.	150	6	480	
		800	1	140	
Краснодар	Стояние воды	900	без напора	540	
		450		540	
		300			
Кореневский сах. завод	Водопр. для пром. целей	200	5	670	
		350	6	1 100	
		100—350	2—4	1 500	
О. Хортица	Орошение	—	—	—	
Воронеж	Водопровод	150	3	180	
М. Вишера, Лен. обл.	"	200, 250, 350, 400	4—6	4 055	
О. Челокен	Пром. водопр.	100	4—5	3 000	
Совхоз на Украине (Укрсовхозобъедин.)	Водоснабжение	150	2,5	300	
Кушна (Урал)	Пром. водопр.	200	8	1 800	
Киев	Водопровод	800	3	1 000	
Брянск	"	150	4	850	
Воронеж	"	350	1—2	1 250	
Фрунзе	"	850	без напора	9 500	
Актюбинск	"	300	2	500	
		300	4	200	

Местоположение	Назначение	Диаметр мм	Напор атм.	Протяже- ние	Примечание
Гомель	Пром. водопр.	500	4-5	250	
Навчик	Водопровод	200, 250, 300	4-8	9 700	
Равн. станц. ж. дорог	"	100-250	2-10	200 000	
Пискаревка (под Лен.)	Водопровод	200	4	12 000	
Ср. Рогатка (под Лен.)	"	100, 125, 150	7	8 200	
Бобрюк	"	600	4	91	
Березники (Урал)	"	700	4	357	
		800	4	551	
		1 000	4	162	
		1 200	4	492	
		100	6	3 300	
Чичельный Ю.-з. ж. д.	"	150	6	4 700	
	Водопровод	1 300	4	7 000	См. рис. 100
Кузнецк	"	700	7	9 000	
Воскресенск	Подвод воды для охлад- дения турбин	1 800	3	480	
Кемерово	Гидростанция	3 000	1	360	
Корсунь (Украина)	Водопровод	8 500	4	360	
Кадырья (Туркестан)	"	100	4	6 000	
Д. Село	"	75-100	4	15 000	
Баксан (Каб. Балк. авт. обл.)	"	150, 350	4	2 250	
Ст. Нессельроде	"	350	11	6 000	
Алмазно-Марьевский район	"	400	4	6 700	
Различные р-ны Урала	Разные цели	150-300	3-5	15 000	
Киев - Порт	Водопровод	250	3	1 300	
Предприлагаемые к постройке большие трубопроводы	Гидростанция	8 250	2-4	9 000	
Ульяба (Алтай)	"	4 000	3,5-5,5	400	4 трубы по 100 м каждая
р. Нива (Кольский полуостров)					

ЛИТЕРАТУРА.

На русском языке:

1. Безенов Н. инж., Применение деревянных напорных труб, «Строит. промышл.», 1925 г. № 10.
2. Богомолов В. А. инж., Деревянный напорный трубопровод Хариузовской ГЭС на Алтае, «Известия Ленинградского госуд. научно-мелиорационного института», 1930 г.
3. Бринкгауз П., Городская водопроводная сеть, 1928 г.
4. Будников, Деревянные трубы, «Вопросы коммунального хозяйства», 1926 г. № 2.
5. Гениев Н. Н. проф., Курс водоснабжения.
6. Гениев Н. Н. проф., О деревянных сверленных трубах, «Санитарная техника», 1930 г. № 6.
7. Гольцман Ф. О. инж., Деревянные трубы, «Санитарная техника», 1927 г. № 1.
8. Деревянные трубопроводы, Я. В. и П. «Строитель», 1929 г., № 7.
9. Деревянные трубы, каталог, Центрогидрострой Н. К. З., Ленинград 1928 г.
10. Деревянные трубы, Сборник гидротехнического института ЦНИУ — НКПС, № 119 (отзыв инж. Павлова — «Санитарная техника», № 4/5, 1930 г.).
11. Дроздов В. А., Деревянные коледзные насосы и сверленные водопроводные трубы, Гостехиздат, 1923 г.
12. Дроздов В. проф., Деревянные трубы, Техническая энциклопедия, I, VI.
13. Дроздов В. А. проф., Деревянные водопроводные трубы из клепок по американскому способу, изд. Постоянного бюро водопроводных съездов, 1927, Труды секции сельского водоснабжения, вып. V.
14. Дроздов В., Деревянные водопроводные трубы, Труды совещания по рационализации в канализации, ноябрь, 1924 г.
15. Дроздов В., Стоимость водопроводных труб из различных материалов, «Технико-экономический вестник», 1925 г. № 7.
16. Караулов Н. О., О деревянных трубах и их изготовлении в Карелии, «Экономика и статистика Карелии», 1927, № 4 — 6.
17. Касумов М. инж., Первые удачные опыты сооружения деревянных водоводов в СССР, «Гипромез», 1931 г., № 3.
18. Корольков С., Применение деревянных труб, «Строитель», 1930 г. № 10.
19. Клишевич Г. В. инж., Выбор наивыгоднейшего диаметра деревянного напорного трубопровода, подводящего воду к электростанции, «Вестник инженеров», приложение 1-ое, 1929 г.
20. Клишевич Г., Номограмма для определения наивыгоднейшего диаметра деревянного напорного трубопровода гидроэлектрической установки. «Вестник инженеров и техников», 1930 г., № 6.
21. Манн В., Трубы, пер. с немецкого, Гостехиздат, 1931 г.
22. Миренский Н., Деревянные трубопроводы, «Гидротехнический сборник», 1929 г. № 2.
23. Павлов В., Промачивание деревянных водопроводных труб, «Санитарная техника», № 4 — 5, 1930 г.
24. Попков А., Деревянные бочарные трубы, «Строительная промышл.» 1928 г. № 2.
25. Попков А. инж., Деревянные трубопроводы, исполненные за последнее время, «Строительная промышл.», 1929 г. № 4.

26. Попков А. инж., Деревянные трубы, «Бюллетень Ленинградского отд. госуд. института сооружений», 1931 г., № 2.
27. Розов И. А., Деревянные трубы, «Американская техника», 1925 г., №№ 8 и 9.
28. Рузский Д. П. проф., Деревянные трубы, «Технико-экономический вестник», 1922 г., № 6 — 7.
29. Рузский Д. П. проф., Новости в водопроводном деле. «Изв. Ленингр. научно-мелиорационн. института», 1923 г. Вып. 5.
30. Сидоров А. И., Трубы и их соединения, 1911 г.
31. Силян П., Водопровод в деревне, «Строитель», 1929 г., № 3.
32. Фельдман С. Л., Деревянные трубы, «Предприятие», 1924 г., № 8.
33. Егназаров И. В. проф., Гидросиловые установки.

На иностранных языках:

34. Adams A. L. Stave pipe — its economic. Design and the economy of its use, «Transactions of the Amer. Society of the Civ. Eng.».
35. Adams A. L. Additional information on the durability of wooden stave pipe, «Trans. of the Amer. Soc. Civ. Eng.»
36. Alderman C. A., Power Development at Saxon Falls, «Eng. Record», Febr., 1914, p. 253.
37. Armbruster K., Holzdruckrohr des Badischen Kraftwerkes, «Wasserkraft und Wasserwirtschaft», 1927.
38. Ball D. E. Rebuilding of Portion of Mabton siphon, «Eng. and Contracting», 1929 г., v. 68, № 1, p. 20.
39. Bartell, History of the wood stave pipe, «Proceedings of the Amer. Wood Preserver Association», 1921 г.
40. Berger M., Holzrohrleitungen, «Chemiker Zeitschrift», 1926 г., № 8.
41. Bundschu F. Dr.-Ing., Druckrohrleitungen. Berechnungs- und Konstruktionsanlagen der Rohrleitungen für Wasserkraft und Wasserversorgungsanlagen, Berlin, Springer, 1929.
42. Campbell I. L., The water supply of the El Paso and Southwestern railway from Carriso to Santa Rosa N. Mex., «Trans. Americ. soc. civ. eng.», vol. LXX, 1910.
43. Chandler, Experience with wood stave pipe, «Eng. News», 1913, vol. 69.
44. Coal H. D., Wood stave pipe and its creosoting, «Proc. Americ. Wood pres. Assoc.», 1922.
45. Coal H. D., Creosot. wood stave tanks, «Proceed. Americ. Wood Preserv. Assoc.», 1923.
46. Continuous Wood stave Pipe, «Eng. Record», March, 30, 1912, p. 342.
47. Creager W. P. and Justin J. D., Hydroelectric Handbook, N. Y., 1927.
48. Dickerson H. L., Methods and cost of Constructing Main Canals and laterals for the Willow River Land and irrigation Project in Malheur Country Oregon, «Eng. and Contr.», Aug. 2, 1911, p. 136.
49. Edwards C. A., Rebuilding an old wood Penstock, «Eng. News», May 7, 1914, p. 1014.
50. Eringer, Erwärmung des Wassers in hölzernen und eisernen Trinkwasserleitungen, «Wasserkraft», 1929, № 4.
51. Etcheverry D. A., Irrigation and Engineering.
52. Flinn, Weston and Bogert, Waterworks Handbook, N. Y., 1927.
53. Goldmark H., The power plant, pipe line and dam of the pioneer electric power company at Ogolen (Utah), «Trans. Americ. soc. civ. eng.», vol XXXVIII, 1897, № 815.
54. Hall W. H., The Santa Anna Canal of the Bear Valley Irrigation Company «Trans. Americ. soc. civ. eng.», vol XXXIII, 1895, № 743.
55. Hatton T. C., Characteristics of wood stave pipe with some examples of its use and cost for water Supply, «Eng. and Contr.», June 14, 1911, p. 686.
56. Henny D. S., Wooden stave Pipe and steel Riveted Pipe.
57. Holzröhre, «Wasserkraft», 1925, № 16.
58. Inlet to wood stave Pipe Distribution of Pueblo Rocky Ford Irrigation Project, «Eng. Rec.», Nov. 18, 1911, p. 602.
59. Intake to wood stave pipe Line, William River Irrigation Project, «Eng. Rec.», May, 20, 1911, p. 565.
60. Instruction for Laying Machine banded wood stave pipe, «Western engineering», Nov., 1913, p. 396.
61. Jackson. Holzröhre, «Wasserkraft», 1925, № 2.

62. Jarvis C. S., Ridding Prices of wood stave Pipe, Provo Utah, «Eng. and Contr.», Jan 26, 1910, p. 92.
63. Jayne S. O., Wood pipe for conveying Water for irrigation, «U. S. Depart. of agriculture», Bulletin № 155, Wash., 1917.
64. K ö b l e r, Holzzöhre, «Wasserkraft», 1925, № 2.
65. L u d i n, Holzzöhre, «Der Bauingenieur», 1924, № 2.
66. L u d i n, Holzzöhre, «Holzbau», 1921.
67. Meier, Neuere Aufführungen von Holzrohrleitungen, «Bautechnik», 1928, № 1.
68. Merrill A., Hydro-electric development in American Fork Canyon Utah, «Eng. Rec.», v. 57.
69. Moritz E. A., Experiments on the flow of water in wood stave pipes, «Trans. Americ. Soc. Civ. Eng.».
70. Moritz E. A., Spould Pipe Line by carried or over-streams, «Eng. News» vol. XIII, March 13, 1913.
71. Nobel T. A., The flow of water in wood pipes, «Transic. Americ. Soc. Civ. Eng.».
72. New 60" Water supply conduit at Denver, «Eng. Rec.», Jan. 18, 1913, p. 60.
73. Patridge F. F., Moderne practice in wood stave pipe designe and suggestions for standard Specifications, «Trans. Americ. Soc. Civ. Eng.», vol LXXXII, 1918, № 1411.
74. Pipe Line Construction Cayon City water supply, «Eng. Record», Dec, 4, 1909, p. 624.
75. R a b o v s k y H. dip.-ing., Holzdaubenröhre, Berlin, 1927.
76. Reinforced Concrete Inlet to wood stave Pipe-Reconstruction of a Power Canal, «Eng. Record», May 27, 1911, p. 579.
77. R o f f K., Holzzöhre, ihre Herstellung und Verwendung in der Kälteindustrie, «Kältetechniker Anzeiger», 1927, № 8.
78. S a l l e r D r.-ing., Holzzöhre für Wasserkraftanlagen, «Wasserkraft und Wasserwirtschaft», 1923, Heft 19/20.
79. S c h u b e r t, Die Gothaer Holzrohrleitung für Trinkwasser, «Bauingenieur», 1925, Heft 36.
80. S c h u b e r t, Technische Vorschriften für Herstellung der Dauben und Spannringen, «Das Gas und Wasserkraft», 1930, Heft 31.
81. S c h ü l l e r I. D., The water works of Denver Color., «Trans. Amer. Soc. Civ. Eng.», vol XXXI, 1894, № 691.
82. S e i t z H., Wasserdichtheit von Fichtenholz, «Bautechnik», 1929, № 48.
83. S e i t z H., Von einer Holzrohrleitung für das Wasserkraftwerk, «Bautechnik», 1930, Heft 30.
84. S t e k k e, Die wirtschaftliche Berechnung kontinuierlicher Holzrohrleitung für Wasserkraftanlagen, «Technik Uebland», 1925, Heft 51.
85. S w i c k a r d A., The Use, Design, Construction, Cost and Durabilites of wooden Pipe.
86. S c o b e y F., The flow of water in wood stave Pipe, U. S. Department Agriculture Bulletin, Wash., 1916.
87. The manufacture of Machine-banded stave Pipe, «Eng. Rec.», July 8, 1911, p. 53.
88. The life of wood stave pipe, «Eng. Rec.», June 1, 1907, p. 639.
89. T i o f f a n y, Experience with wood stave pipe in irrigation, «Eng. News».
90. V a y d a A. Ing., Holzrohrbau im Kaukasus, «Wasserkraft und Wasserwirtschaft», 1928, H. 17.
91. Wasserkraft Jahrbuch, 1924.
92. Wood stave Pipe, «Eng. Rec.», June 17, 1911.
93. A 13½ f. Wood stave Pipe, «Eng. News», Oct. 9, 1913, p. 685.
- Каталоги американских фирм:
94. Continental Wood Pipe Co.
95. Pacific Wood Pipe Co.
96. Redwood Pipe and Tank Co.
97. Standard Wood Pipe Co.
98. American Wood Pipe Co.
99. Canadian Wood Pipe Co.
100. Remco Redwood pipe Co.
- Отдельные статьи в американских журналах:
- Eng. News 1916 May 30; 1916, sept. 21.; 1916, Febr. 3; 1915, Dec. 2; 1915, July 1.
- Eng. Record 1915, May 15; 1916, Jan. 22.
- Eng. News-Record 1925 July 12; 1917 Dec. 7; 1920 Nov. 11; 1919 Aug. 7; 1920 July 22; 1917 July 14; 1918 July 18; 1921 Sept. 8; 1924 Dec. 11; 1922 Feb. 16; 1921 Feb. 17.

ПРИЛОЖЕНИЯ.

Временные технические условия на пиломатериалы, идущие на изготовление деревянных клепочных труб.

1. Для изготовления деревянных труб допускаются доски из лиственницы, сосны, ели, кедра и пихты.

Примечание. Ель, кедр и пихта допускаются для изготовления труб, предназначенных для недолговременной работы, впредь до выяснения долговечности труб из этих пород.

2. Размеры пиломатериала допускаются: по длине: 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5 м. Доски длиной меньше 4 м могут идти исключительно для изготовления труб непрерывных. По ширине: 80, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190 и 200 мм; по толщине: 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 мм.

3. Доски должны быть выпилены из здорового, сырораствующего леса зимней рубки.

4. Допускаются односторонние, здоровые, сросшиеся с окружающей древесиной сучки в неограниченном количестве. Допускаются сквозные, здоровые, сросшиеся с древесиной сучки диаметром по большой оси не более $\frac{1}{3}$ ширины доски в количестве не более двух сучков на погонный метр доски.

5. Сучки лапчатые не допускаются.

6. Сучки черные, выпадающие, табачные, крапивные, ивлевые не допускаются.

Примечание. В случае благоприятного исхода опытов по заделке сучков пробками, они могут быть допущены в досках в количестве не более 2 штук на 1 пог. м диаметром не более 2,5 см.

7. Сучки на кромках доски не допускаются.

8. Сердцевинная трубка не допускается.

9. Заболонь допускается глубиной не более $\frac{1}{2}$ толщины доски.

10. Неглубокая поверхностная синева допускается.

11. Древесина, поврежденная какой-либо гнилью и водослоем, не допускается.

12. Червоточина не допускается.

13. Сквозная серянка не допускается.

Примечание. Допускается серянка, если она идет на глубину не более 20% толщины доски и длиной не более 40 мм.

14. Косослой допускается, если отклонение волокон от прямого направления не превышает 3 см на 1 пог. м длины материала.

15. Свилявость не допускается.

16. Допускается тупой обзол шириной не более $\frac{1}{4}$ толщины материала во всю длину доски с одной ее стороны для досок толщиной не выше 30 мм.

17. Сквозные метиковые и морозобойные трещины и отлуп не допускаются.

18. Допускаются не сквозные мелкие солнечные торцовые трещины, длиной не более 5 см от торца.

19. Число годовичных колец не устанавливается.

Примечание. П. 19 может быть подвергнут изменению в зависимости от результатов опытов на водопроницаемость древесины в трубах.

Временные технические условия на изготовление клепочных деревянных труб.

Раздел I.

ТРУБЫ ЗВЕНОВЫЕ.

1. Звеновые трубы изготавливаются из деревянных клепок, которые собираются на заводе, обматываются спирально проволокой на специальном станке с достаточным натяжением. Концы труб обрабатываются надлежащим способом для возможности соединения отдельных труб между собою. Трубы покрываются снаружи смесью битумных веществ. Доски для изготовления клепки должны отвечать специальным техническим условиям (см. приложение).

2. Клепка труб должна быть гладко выстругана со всех четырех сторон и обработана соответственно с диаметром трубы. Допускается недострожка верхней грани клепки, если она идет не глубже, чем на $\frac{1}{8}$ толщины клепки и на длину не больше 2 м.

Кромки клепки должны быть снабжены гребнем и пазом для соединения их в шпунт. Форма шпунта может быть треугольная, полукруглая, трапециевидальная и др.

3. Клепка труб должна иметь не больше 15% влажности по отношению к сухому лесу.

4. Соединение труб между собою может быть осуществлено:

а) помощью вставки одного конца трубы в другой, для чего концы труб обрабатываются, образуя на одном конце втулку, а на другом цапфу;

б) помощью деревянных муфт, как разъемных, допускающих подвижку, так и постоянных;

в) помощью металлических муфт и

г) помощью железных бандажей, надетых на концы труб, соединенных по указанному в п. а способу.

5. Концы труб должны быть равномерно и гладко обточены, причем обточенные концы не должны иметь никаких повреждений и плотно входить друг в друга или плотно соприкасаться с муфтой.

6. Соединение, указанное в § 4 п. а, допускается для давления не выше 4 атм. Для труб с давлением выше 4 атм. надлежит применять один из способов, указанных в § 4 п. б, в или г.

7. Звеновые трубы изготавливаются внутренним диаметром от 75 до 150 мм с интервалами через 25 мм и диаметром от 150 до 500 мм с интервалами через 50 мм с допусками в ту или другую сторону ± 5 мм.

8. Трубы сдаются с погонного метра, причем длина отдельного звена не может быть меньше 1,5 м.

9. Допускается изготовление труб из составных клепок путем соединения их торцов на языках из дерева твердых пород или металлических.

В этих случаях длина отдельных составных частей клепок не может быть меньше 0,5 м, а соседние клепки в этих случаях должны быть целыми.

10. Допускается заделка сучков на клепках пробками, причем пробка должна иметь коническую форму, обращенную широким концом конуса во внутреннюю часть трубы. Направление волокон в пробке должно совпадать с направлением волокон в стенках трубы. Количество заделок не может быть больше одной на один пог. метр каждой клепки в трубе. При этом клепки с заделанными сучками должны идти вперемежку с цельными клепками. Трубы с заделанными сучками могут применяться для напоров не выше 4 атм.

11. Нормальное давление для деревянных труб — 4 атм. Трубы более высоких напоров, но не выше 10 атм. (для небольших диам.), могут изготавливаться лишь по особому заказу.

12. Наименьшее давление, для которого могут изготавливаться трубы, должно быть не меньше 5 м водяного столба. Для труб, работающих неполным сечением, нужно применять пропитку труб каким-либо антисептиком, не выщелачиваемым водою.

13. Шаг спирали проволоочной обмотки определяется в зависимости от расчетного давления, причем должны учитываться силы разбухания дерева. Допускаемое напряжение в проволоке брать 1200 кг/см^2 , напряжение мокрого дерева на смятие поперек волокон не больше 50 кг/см^2 .

14. Проволока должна наматываться на концах трубы, прилегающими друг к другу витками в количестве не менее 3-х витков, после чего намотка идет спиралью.

15. Закрепление проволоки на концах труб осуществляется путем забивки скобами из оцинкованной проволоки, причем острия скобок не должны проходить в клепку более чем на $\frac{2}{3}$ толщины ее. Допускается укрепление проволоки помощью специальных штампованных закрепов, такое же закрепление при соблюдении условий п. 14 применяется при окончании бухты проволоки в середине обматываемой трубы.

16. Допускается сварка концов проволоки при непременно последующей оцинковке сваренного места.

17. Проволока для обмотки должна употребляться железная оцинкованная, номера калибра по Стубсу 10, 9, 8, 7, 6 и 5; т. е. диаметрами 3,4; 3,8; 4,2; 4,6; 5,0; и 5,5 мм с временным сопротивлением разрыву 4000 кг/см^2 при удлинении 20% и отвечать специальным техническим условиям.

18. Трубы должны быть покрыты смесью битумных веществ, а затем обкатаны в песке, опилках или в каких-либо волокнистых веществах.

19. Допускается покрытие одной лишь проволоки каким-либо прочным, эластичным лаком или предохранение ее путем покрытия просмоленным джутом или другим соответствующим материалом, с последующей осмолкой уложенного трубопровода на месте работ.

20. Покрытие из смеси битумных веществ не должно сплывать с трубы или проволоки при температуре воздуха до 50°C .

21. Покрытие должно быть эластичным и не обиваться при легких ударах молотком при температуре воздуха ниже 4°C .

22. Рубашка труб не должна прилипать к окружающим предметам и не должна растворяться в воде нормальной температуры.

НЕПРЕРЫВНЫЕ ТРУБЫ.

1. Для непрерывных труб на заводе изготавливаются лишь отдельные части. Сама труба собирается на месте работ.
2. Клепка для непрерывных труб изготавливается таким же образом, как и для звеновых труб. При этом снабжение клепки шпунтом для этих труб необязательно.
3. Клепка труб может быть разной длины, но не короче 1,5 м.
4. При изготовлении клепки допускается недострожка верхней кромки клепки, идущей не глубже чем на $\frac{1}{8}$ толщины клепки и на длину не больше 3-х метров.
5. Язычки для соединения клепок с торцов могут быть сделаны из дерева какой-либо твердой породы, а также железные, стальные или ковкого чугуна системы.
6. Язычки по ширине должны быть на $1\frac{1}{2}$ — 2 мм шире клепки.
7. Соединительные язычки должны иметь правильную прямоугольную форму, быть одинаковыми по толщине, а в случае изготовления их из дерева должны быть гладко выструганы.
8. Железные язычки должны быть оцинкованы или освинцованы.
9. Прорези на торцах клепки должны быть тщательно и аккуратно выполнены. Они должны идти в нижней половине толщины клепки, считая за низ сторону, обращенную к центру трубы. Не допускаются прорезы разной глубины в клепках, предназначенных для одной и той же трубы. Не допускается косое расположение прорезов. Не допускается расположение прорезов на разной высоте торца клепки.
10. При сборке труб не допускается расположение стыков прилегающих друг к другу клепок ближе чем на 0,5 м друг от друга.
11. Бандажи должны делаться из круглого железа с врем. сопр. разрыву 4000 кг/см^2 при удлин. 20% диаметром 9 мм, 13 мм, 16 мм, 19 мм, 22 мм и 25 мм.
12. Бандажи должны быть покрыты асфальтовым лаком или суриком на масле.
13. Шаг бандажей должен определяться с учетом внутреннего давления и усилия разбухания дерева. Допускаемое напряжение железа на растяжение 1200 кг/см^2 .
14. При расчете на смятие мокрого дерева поперек волокон допускаемое напряжение принимать не более 50 кг/см^2 . За ширину площади смятия дерева под круглым бандажом принимать ширину, равную радиусу бандажа.
15. Нарезка на концах бандажей должна быть исполнена тщательно и аккуратно, гайки должны вполне соответствовать резьбе.
16. Для труб диаметром до 1400 мм включительно должны употребляться одинарные бандажи, для труб больших диаметров двойные.
17. Бандажи должны быть правильно выгнуты по кругу, соответствующему диаметру трубы. Никакие выпучины и углы не допускаются.
18. Башмаки для соединения бандажей могут употребляться как железные штампованные, так и чугунные, из ковкого или серого чугуна. Размеры башмаков должны отвечать условиям прочности, а также иметь достаточную площадь соприкосновения с поверхностью трубы во избежание смятия дерева клепок.

19. Башмаки должны изготавливаться по утвержденным чертежам.

20. Башмаки должны быть окрашены суриком на масле или покрыты асфальтовым лаком.

21. При укладке непрерывных деревянных труб в землю они должны осмаливаться.

Технические условия на проволоку для производства деревянных труб.

1. Для обмотки звеновых труб идет мягкая оцинкованная проволока с временным сопротивлением разрыву 4000 кг/см².

2. Проволока должна быть выделана из железа высшего качества и иметь правильную цилиндрическую форму с круглым сечением одинакового по всей длине проволоки диаметра. Изменения в величине диаметра как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения его допускаются не более 0,10 мм. Диаметр проволоки должен измеряться калиброметром.

3. Поверхность проволоки должна быть совершенно гладкой, без раковин, трещин и пленок.

4. В изломе проволока должна представлять волокнистое строение и плотную массу матового, светло-серого цвета, без блесток и черных точек.

5. Проволока должна выдерживать механические испытания на изгиб, скручивание, наVERTывание и разрыв.

А. Изгиб.

Проволока должна выдерживать, не ломаясь, не расслаиваясь и не пружинясь, количество изгибов под прямым углом не менее:

По калибру	Диаметр	Число изгибов
10	3,40	9
9	3,76	8
8	4,20	7
7	4,60	6
6	4,90	5
5	5,60	4

При этом за один изгиб считается перевод из вертикального положения в горизонтальное и обратно. Изгибы производятся последовательно в обе стороны от вертикального положения. Радиус закругления щек тисков, в которые зажимается проволока, должен быть равен 5 мм.

Б. Скручивание.

Конец проволоки длиной 15 см должен выдерживать без излома и расслоения число оборотов не меньше:

10	3,40	13
9	3,76	12
8	4,20	11
7	4,60	10
6	4,90	9
5	5,60	8

В. Р а з р ы в.

Проволока не должна разрываться при грузе меньшем

10	3,40	360 кг
9	3,76	445 "
8	4,20	555 "
7	4,60	665 "
6	4,90	735 "
5	5,60	958 "

При этом удлинение должно быть не ниже 15%, причем расчетная длина образца должна иметь длину, равную 10-кратному диаметру, а полная длина образца должна быть около 15 см.

6. Цинк должен плотно и ровно лежать на проволоке и при наворачивании проволоки на стержень диаметром в 5 раз большим диаметра проволоки не должен трескаться или отслаиваться.

7. Для определения плотности слоя цинка конец оцинкованной проволоки погружается 4 раза в раствор, состоящий из одной части по весу медного купороса и пяти частей воды. Конец проволоки нужно держать в растворе по 1 минуте, причем при удовлетворительной оцинковке проволока не должна краснеть. Перед этой операцией испытуемый образец проволоки моется в бензине, а после каждого отдельного погружения в раствор медного купороса моется водой и вытирается насухо тряпкой.

8. При приемке партии проволоки берется 2% бухт проволоки на выборку; от каждой бухты берется 5 отрезков, которые и подвергаются испытаниям. В случае удовлетворительных результатов испытаний партия считается принятой.

Технические условия на круглое железо для бандажей деревянных труб.

1. Круглое железо, идущее на изготовление бандажей, должно быть литое, высшего качества с временным сопротивлением разрыву 4000 кг/см^2 .

2. В изломе железо должно иметь равномерное, волокнистое строение, без блесков и черных точек.

3. При испытании образца длиной 20 см на разрыв удлинение должно быть около 22%.

4. При испытании на разрыв — образец не должен разрываться при грузе меньшем

Диаметр в мм	9	13	16	19	22	25
Груз в кг	2 340	5 300	8 050	11 350	15 200	19 600

5. При навивке образца на стержень такого же диаметра образец не должен давать никаких отслоений или трещин.

6. Для испытания берется несколько прутков на выборку из партии железа и если они удовлетворяют испытаниям, то партия считается принятой.

Сдано в набор 22 декабря 1931 г.

Поступило к печати 29 марта 1932 г.

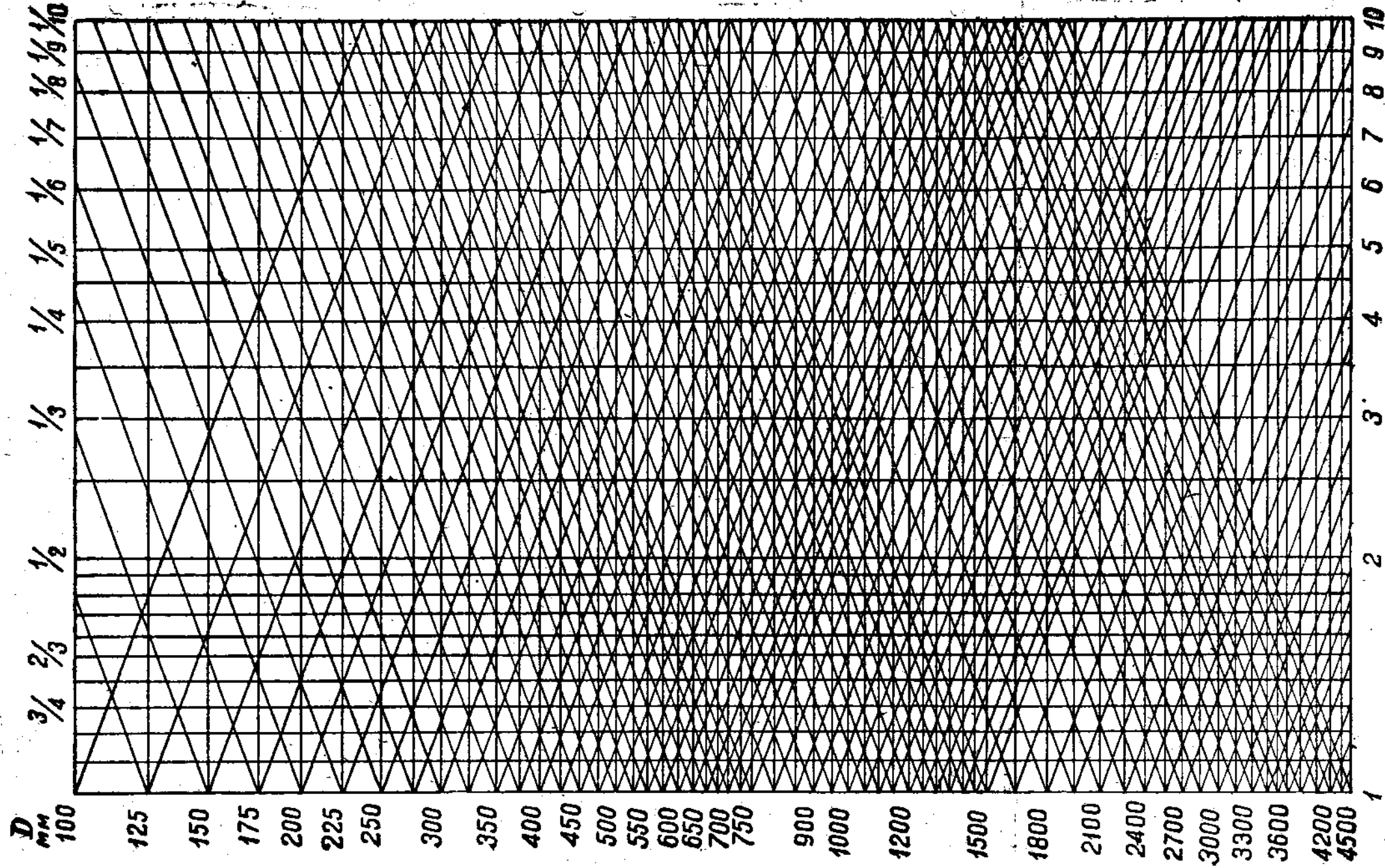
Формат бумаги 62×94 .

Количество печатных листов $13\frac{1}{2}$, и 4 вкл.

Количество печ. знаков в листе 54272.

Ответственный редактор Я. А. Бройтман

Технический редактор Э. А. Старк



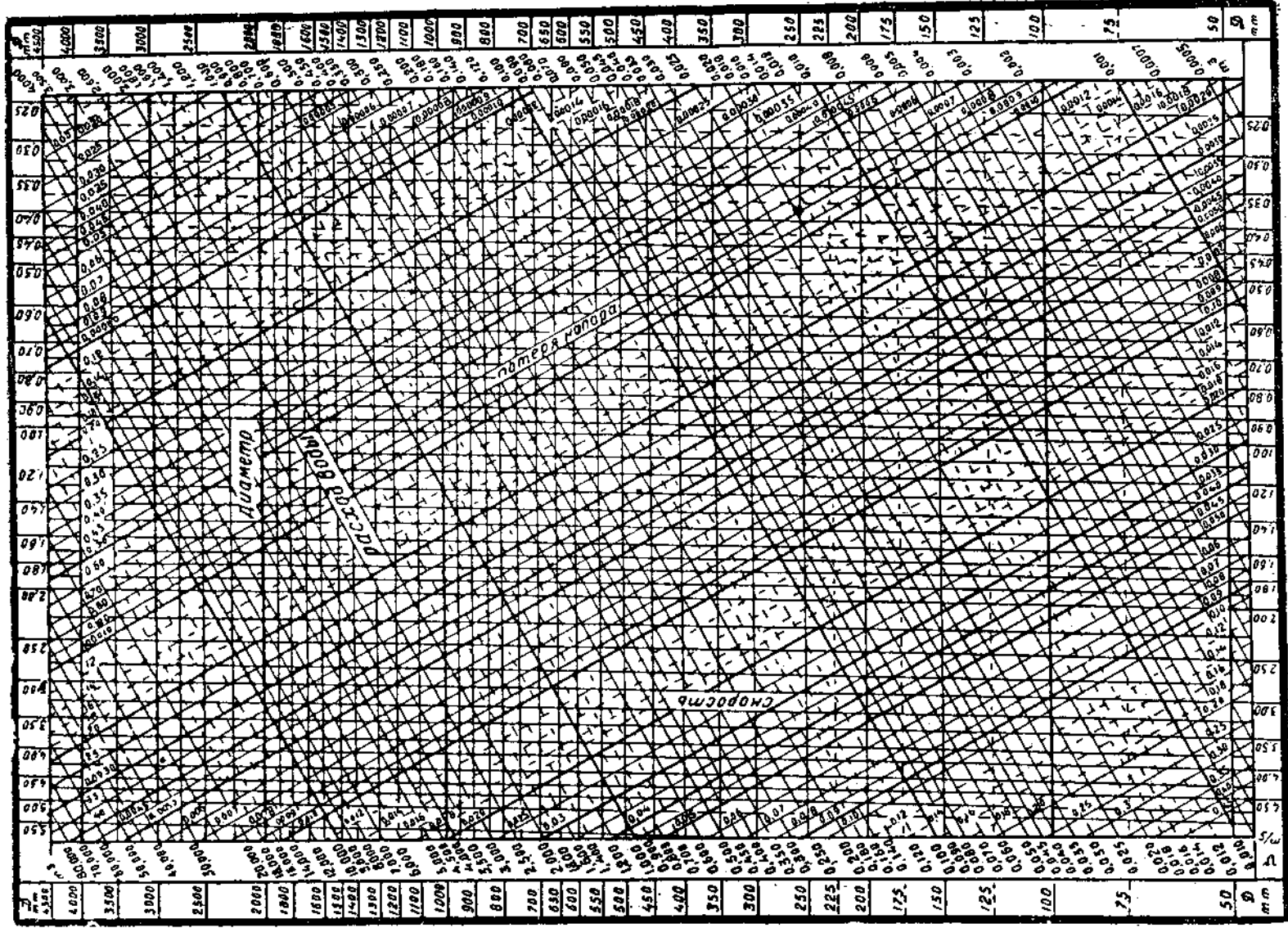
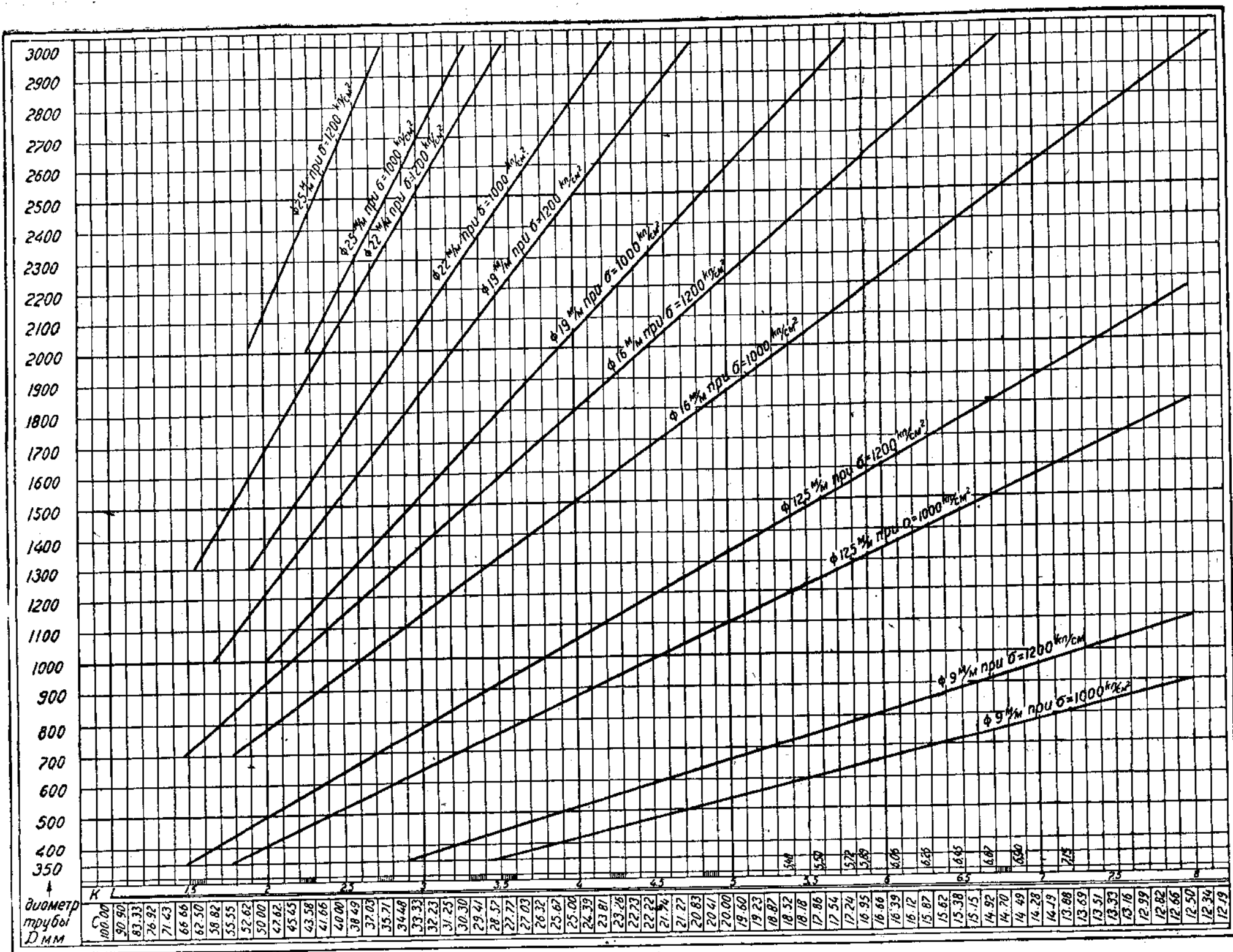


График для гидравлического роста деревянных труб по формуле Скобеева $l = 0,000885 \frac{D^{1,8}}{S}$.

Деревянные трубы.



Величина K , умноженная на давление P дает число бандажей на 1 погон. метр трубы $n = K \cdot P$

Величина C , деленная на давление P дает расстояние между бандажами $A = \frac{C}{P}$ $C = \frac{100}{K}$

БАВИЛОВ М. В., инж. и СОВАЛОВ И. Г., инж.

Зимние строительные работы

Руководство по производству зимних строительных работ бетонных, железобетонных, каменных и земляных.

Составили М. В. Бавилов и И. Г. Совалов при участии В. М. Медведева, Б. Г. Скрамтаева, В. М. Толстого, Н. К. Фофанова.

(с рис.)

Изд. 2-е, испр. и дополн.

Стр. 291+6 вкл. л.

Ц. 4 р., перепл. 30 к.

ЛЕВИН Я., инж.

Опалубка железобетонных сооружений

Под ред. инж. М. В. Бавилова

(с 117 фиг.)

Пособие для проектирования организации строительных работ.

Одобрена в качестве обязательного руководства для строительных организаций.

Стр. 220

Ц. 3 р. 65 к., перепл. 25 к.

МОИСЕЕВ С. В., проф.

Экспериментальное исследование влияния дренажа скорофильтра на равномерность его промывки

(с 26 рис.)

Стр. 164

Ц. 4 р. 50 к.

Труды высшего инженерно-строительного училища (ВИСУ)

Сборник по проектированию и конструкциям

(с фиг.)

Стр. 160

Ц. 2 р.

Сборник статей, обоснованных материалами научно-исследовательских работ ВИСУ, работами проектирующих организаций Союза и отдельных инженеров. Предназначается для инженеров и научных работников.

А Б В

-282202-

ОГИЗ. КНИГОТОРГОВОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ГО

ALST



0000000345521

ФИЛОСОФОВ

Строительные материалы

(с 163 рис.)

Стр. 347

Ц. 3 р. 30 к., перепл. 40 к.

Для студентов строительных ВУЗов.

Содержание: Свойства, назначение, испытание и стандартизация строительных материалов. Каменные материалы (естественные и искусственные). Вяжущие вещества. Лесной материал. Металлический материал.

СНИТКО Н. К.

Новый метод нахождения деформации

(с 81 черт.)

Стр. 97

Ц. 1 р. 50 к.

Пособие для инженеров-конструкторов.

Содержание: Изложен новый метод нахождения деформации балок и статически-неопределимых систем, основанный на дифференциальной зависимости между ординатой упругой линии, углом наклона, моментом, поперечной силой и интенсивностью сплошной нагрузки. Уравнение упругой линии представлено в виде разложения в ряд Маклорена. В сравнении с методом интегрирования излагаемый метод имеет то преимущество, что при определении деформации отсутствуют произвольные константы интегрирования.

ПРИБРЕТАЙТЕ КНИГИ ВО ВСЕХ ОТДЕЛЕНИЯХ, МАГАЗИНАХ
И КИОСКАХ КНИГОТОРГОВОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ