

39.7
0-34-34

В. И. ОВОЯНКИН



ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ТРУБЫ ДЛЯ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ

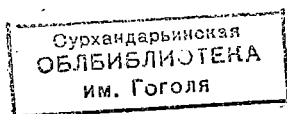


39,7
0-34

В. И. ОВСЯНКИН,
доктор технических наук

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ТРУБЫ ДЛЯ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ

(Издание 3-е, переработанное и дополненное)



ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
МОСКВА — 1971

В книге описан опыт изготовления железобетонных труб больших диаметров, применяемых для сооружения напорных водоводов в отечественной и зарубежной практике. Освещены новые технологические схемы и принципы организации производства труб. Подробно описана технология труб диаметром от 500 до 2500 мм по методу фирмы «Рокла». Рассмотрены наиболее распространенные конструкции железобетонных напорных труб с различными стыковыми соединениями, классифицированы способы их производства, кратко изложены данные для расчета труб. Значительное место отведено вопросам применения железобетонных труб и монтажа напорных водоводов с использованием новейшего оборудования.

Книга предназначена для инженерно-технических работников предприятий сборного железобетона, проектировщиков и строителей.

Табл. 69, рис. 215; библиография: 69 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Соответственно размаху промышленного, жилищного и сельскохозяйственного строительства в нашей стране возросла потребность в железобетонных трубах для укладки магистральных водоводов, водопроводных и канализационных сетей на промышленных площадках и в жилых районах, для устройства мощных подводящих трубопроводов тепловых электростанций, для ирригации в сельском хозяйстве. Массовое внедрение железобетонных напорных труб вместо металлических является важнейшей задачей, решение которой обеспечит долговечность укладываемых водоводов, лучшую водопропускную способность, дальнейшее снижение стоимости строительства и даст существенную экономию металла в народном хозяйстве.

В капиталистических странах (Швеции, Франции, Голландии, США, Англии, Италии и др.) производство и применение железобетонных труб развито очень широко. Достаточно сказать, что в США уже в 1963 г. выпускалось до 5 млн. м³ железобетонных труб, а количество предприятий, занятых производством труб, доходило до 700. В ФРГ изготовляется около 560 тыс. м³ железобетонных труб, во Франции — 250 тыс. м³, в Голландии только одна фирма «Бетондак» выпускает в год более 100 км напорных железобетонных труб диаметром от 400 до 1500 мм и столько же фирма «Бонна — Вианен».

Следует отметить, что если в вопросах внедрения предварительно напряженных железобетонных конструкций за последнее время наши строители быстро идут вперед, обогнав по масштабам применения этих конструкций все зарубежные страны, то в области изготовления и применения железобетонных предварительно напряженных труб мы все еще не достигли необходимого уровня как по суммарной мощности наших предприятий, так и по снижению трудоемкости в строительстве водоводов. Это вызывает необходимость привлечь особое внимание технологов и строителей к решению такой важной народнохозяйственной проблемы.

За годы, прошедшие со времени выхода из печати предыдущего издания данной книги, произошли заметные сдвиги в организации у нас промышленного производства железобетонных напорных труб. Если до 1960 г. вопросами научных исследований в этой области и внедрения результатов в производство занимались только отдельные специалисты, то теперь вопросами внедрения железобетонных напорных труб занимаются уже более 30 коллективов. В Научно-исследовательском институте бетона и железобетона Госстроя СССР (НИИЖБ) и во ВНИИЖБ железобетоне МПСМ СССР организованы специальные лаборатории напорных труб, занявшие ведущую роль в научных исследованиях по разработке этой проблемы.

В гг. Куйбышеве и Челябинске по проектам б. Гипростройиндустрии построены в 1960—1961 гг. первые крупные предприятия по производству железобетонных напорных труб диаметром от 500 до 1250 мм для рабочих напоров до 10 ат. На этих заводах приняты технологические схемы производства: виброгидропрессованием и центрифугированием с последующим обжатием защитного слоя.

На основе опыта освоения этих предприятий, по заданию Госстроя СССР, разработаны типовые проекты заводов для производства напор-

ных труб виброгидропрессованием мощностью 11 и 55 тыс. м³ труб в год с использованием отечественного оборудования. В 1966—1968 гг. закончено строительство 17 предприятий производительностью по 11 тыс. м³ труб в год в Ленинграде, Владивостоке, Часов Яре, Красноярске и других городах. В настоящее время находятся в стадии освоения еще 9 заводов. Ленинградский завод, выпускающий железобетонные напорные трубы, является передовым ведущим предприятием по выпуску железобетонных напорных труб методом виброгидропрессования.

На Филевском заводе железобетонных изделий в Москве с участием НИИЖБ было организовано для строительства новых городских водопроводных магистралей производство железобетонных напорных труб диаметром 1400 мм методом вибрирования. Этот завод освоил также производство напорных труб диаметром до 1200 мм методом виброгидропрессования и подготовился к выпуску труб диаметром 1600 мм.

Большую работу проводит Министерство энергетики и электрификации СССР по организации производства железобетонных напорных труб диаметром 3000 мм и более, предназначенных для строительства тепловых электростанций.

Широко поставлены экспериментальные работы по применению железобетонных напорных труб для строительства газовых магистралей во ВНИИСТе Министерства газовой промышленности.

Таким образом, за прошедшие годы к решению вопросов, связанных с внедрением железобетонных напорных труб, привлечено внимание широких кругов специалистов. Результатом этого является развивающаяся новая отрасль промышленности предварительно напряженного железобетона — производство тонкостенных напорных труб.

Чтобы облегчить труд технологов и строителей, а также содействовать освоению и дальнейшему совершенствованию в нашей стране технологии производства напорных труб, автор считает целесообразным шире осветить накопившийся в мировой практике опыт в этой области. В настоящем издании дополнительно нашли отражение новые данные по производству напорных железобетонных труб на отечественных и зарубежных предприятиях по наиболее совершенным технологическим процессам, а также по новым принципам организации монтажа трубопроводов больших диаметров. Изложен опыт строительства водоводов диаметром 5100 мм в штате Калифорния (США) с использованием новейшей транспортной машины грузоподъемностью 150 т, с помощью которой трубы не только транспортируются, но и укладываются в траншею и стыкуются с ранее уложенными. Описана технология изготовления труб диаметром от 500 до 2500 мм по методу фирмы «Рокла», обеспечивающему значительное сокращение трудовых затрат при изготовлении сердечника трубы по сравнению с методом центрифугирования.

Систематизированы данные по передовым отечественным заводам, в том числе по Ленинградскому заводу «Баррикада», Куйбышевскому, Филевскому в Москве и др.

В целях облегчения труда проектировщиков и конструкторов, работающих в области проектирования водоводов и конструирования железобетонных труб, приводится упрощенный номографический метод подсчета нагрузок и нахождения расчетных параметров напорных железобетонных труб, применяемый за рубежом. В книге отведено значительное место вопросам применения железобетонных труб на строительстве напорных водоводов.

Автор приносит искреннюю благодарность всем научным сотрудникам, проектировщикам и технологам, содействовавшим своими советами и замечаниями при подготовке настоящего издания книги.

Часть первая

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ПРОИЗВОДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

Глава I

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

Главное назначение железобетонных напорных труб — сооружение из них водопроводных напорных сетей и особенно магистральных водоводов средних и больших диаметров.

По общему признанию, к основным преимуществам железобетонных напорных труб относятся: большая прочность и долговечность по сравнению с металлическими и асбестоцементными; существенно меньшие затраты (по эквиваленту долговечности) на строительство водоводов и их эксплуатацию по сравнению с металлическими и асбестоцементными; экономия металла; меньшие потери (утечка) воды при эксплуатации водоводов; более надежное и простое устройство стыковых соединений; не изменяющаяся во времени высокая пропускная способность.

Применение железобетонных труб дает большую экономию металла, особенно при использовании труб диаметром 500—1500 мм и более. Так, при удовлетворении потребности в железобетонных напорных трубах в нашей стране в 1970 г., составившей около 4 млн. пог. м труб, железобетонными трубами приведенного среднего диаметра 700 мм можно было бы заменить около 1 млн. т стальных или 2,1 млн. т чугунных труб того же диаметра. Нетрудно представить, насколько в дальнейшем, после широкого освоения производства железобетонных труб, способных выдерживать гидравлическое давление до 20 ат и более, увеличится экономия металла в результате замены ими стальных и чугунных труб.

Экономия металла в железобетонных напорных трубах достигает наибольшего эффекта по сравнению с любыми другими предварительно напряженными конструкциями (балками, фермами и другими несущими конструкциями), заменяющими соответствующие металлические. Действительно, если сравнить указанный в табл. 1 расход металла в железобетонных напорных трубах с расходом металла в чугунных и стальных трубах соответствующих диаметров, то видим, что этот расход составляет всего лишь 4,2—6,4% от веса чугунных труб и 6,2—13,8% от веса стальных труб, тогда как при замене других металлических конструкций сборными железобетонными расход стали в последних по сравнению с металлическими составляет от 25 до 40%.

При изготовлении железобетонных напорных труб со стальным цилиндром расход металла существенно возрастает, составляя от 14 до 20% веса чугунных и от 30 до 40% веса стальных труб соответствующих диаметров. В связи с этим трубы со стальным цилиндром рекомен-

Таблица 1

**Сравнительные данные расхода металла для изготовления напорных труб
из различных материалов**

Внутренний диаметр трубы в мм	Расход металла в кг на 1 пог. м труб					Расход металла в желе- зобетонных трубах в % от веса труб		Расход металла в железобетонных трубах со сталь- ным цилиндром в % от веса труб	
	железобетонных предварительно напряженных	железобетонных предварительно напряженных со стальным сердечником		стальных по ГОСТ 4015—58	чугунных по ГОСТ 5525—61	стальных	чугунных	стальных	чугунных
		общий расход	в т. ч. высоко- прочной проволоки						
500	8—10	35,4	5,2	128	196	6,2—7,8	4,1—5,1	37,5	18,1
600	12—15	48,2	8,2	153	262	7,8—9,8	4,6—5,7	31,5	18,4
700	17—21	58	12	175	338	9,7—12	5—6,2	33,2	17,2
800	22—27	68,6	15,6	200	422	11—13,5	5,2—6,4	34,3	16,2
900	29—34	88,4	21,2	246	517	11,8—13,8	5,6—6,6	36	17,1
1000	35—42	98	27,4	327	626	10,7—12,8	5,6—6,7	30	15,7
1200	42—45	158	43,3	430	859	9,8—10,4	4,9—5,2	36,7	18,4
1500	50—63	241	61	580	—	8,6—10,8	—	41,5	—

дуются применять в особо ответственных напорных водоводах больших диаметров, в газопроводах и т. д. В таких трубах, рассчитанных на рабочий напор 10 ат, 70—85% металла от общего количества расходуется на изготовление цилиндра из стального листа толщиной 1,5—2,5 мм. Расход высокопрочной стальной проволоки составляет в данном случае

Таблица 2

**Сопоставление народнохозяйственных затрат на строительство и эксплуатацию
водоводов из стальных, чугунных и напорных железобетонных труб Ø 700 мм
(в расчете на 1 пог. м) в руб.**

Затраты	Трубы			
	стальные	чугунные	виброгидропрессованные	
			по средне- взвешенным показателям за 1967 г.	по заводу «Баррикада» за 1967 г.
Полные сопряженные удельные ка- питальные вложения	87,2	144,9	37,83	37,83
Себестоимость водоводов (без стои- мости труб)	11,6	11	11,2	11,2
Приведенные затраты на изготовле- ние труб и строительство водово- дов	115,02	190,84	75,27	72,05
Коэффициент увеличения потребно- сти в трубах за период эксплуа- тации железобетонных водоводов	2,42	1,41	1	1
Приведенные затраты на изготовле- ние труб и строительство водо- водов за период эксплуатации желе- зобетонных водоводов	278,3	217,6	75,27	72,05
Годовые затраты на эксплуатацию	0,36	0,42	0,31	0,31
Затраты на период эксплуатации железобетонных водоводов	28,8	33,6	24,8	24,8
Суммарные приведенные затраты на производство труб, строительство и эксплуатацию водоводов с уче- том срока службы труб	307,1	251,2	100	96,8

15—30% от общего расхода металла (при уменьшении толщины листа увеличивается расход высокопрочной проволоки).

Сравнение стоимости железобетонных напорных водоводов из труб диаметром 700 мм со стоимостью водоводов из металлических труб такого же диаметра для гидравлического напора 6 и 10 ат, по данным ВНИИЖелезобетона, приведено в табл. 2.

Опыт применения железобетонных напорных труб за рубежом также подтверждает экономическую целесообразность замены металлических труб железобетонными. Так, например, в Швеции стоимость чугунной трубы диаметром 600 мм — 550 шведских крон, а железобетонной предварительно напряженной — 180—220 шведских крон, что составляет 35—40% стоимости чугунной трубы. Стоимость чугунной трубы диаметром 700 мм в Индии 1000 рупий, а железобетонной напорной — 350 рупий, или на 65% ниже. Аналогичные соотношения стоимости металлических и железобетонных предварительно напряженных труб и в других зарубежных странах.

В табл. 3 показано соотношение стоимости 1 пог. м напорных предварительно напряженных железобетонных и чугунных труб в США.

Также имеют меньшую стоимость и соединительные части для железобетонных напорных трубопроводов по сравнению с металлическими.

По ориентировочным данным, удельные капиталовложения для ор-

Таблица 3

Стоимость уложенных предварительно напряженных железобетонных труб и чугунных труб в США (в долл. за 1 пог. м)

Вид труб, элементы затрат	Диаметр труб					
	16"	20"	24"	30"	36"	42"
	400 мм	500 мм	600 мм	750 мм	900 мм	1050 мм
Класс 150, предварительно напряженные железобетонные трубы						
Стоимость труб	17,4	21	25,5	36	46,5	58,5
Специальные расходы	1,05	1,2	1,35	1,65	2,1	2,4
Транспортные расходы	1,5	2,1	2,7	3,9	5,25	6,75
Укладка и чеканка	2,55	3,3	4,05	4,95	6	7,5
Итого	22,5	27,6	33,6	46,5	59,85	75,15
Класс 150, чугунные трубы						
Стоимость труб	19,35	27	36	55,95	74,25	97,5
Специальные расходы	1,05	1,35	1,65	1,95	2,4	3
Транспортные расходы	1,5	2,1	2,7	3,9	5,25	6,75
Укладка и чеканка	3,45	4,65	6	7,8	10,5	13,8
Итого	25,35	35,1	46,35	69,6	92,4	121,05
Класс 150, чугунные трубы, механический стык						
Стоимость труб	20,7	28,95	38,4	63,45	84	111,75
Специальные расходы	0,9	1,2	1,5	1,95	2,4	3
Транспортные расходы	1,5	2,1	2,7	3,9	5,25	6,75
Укладка и чеканка	3,3	4,35	5,4	7,2	9,6	12,3
Итого	26,4	36	48	76,5	101,25	133,8

Примечание. Стоимость уложенных труб взята для района Питсбурга; не включает стоимость земляных работ по открытию траншей, обработки, подготовительных и специальных работ.

ганизации производства металлических труб диаметром 700 мм составляют: на 1 пог. м стальных труб — 87,2 руб. и на 1 пог. м чугунных — 144 руб., для организации производства железобетонных труб — 37,8 руб/пог. м. По сравнению с производством металлических труб организация изготовления железобетонных напорных труб значительно проще и дешевле. Основное сырье для производства железобетонных труб — крупные и мелкие заполнители, составляющие до 90% веса используемых материалов, в большинстве случаев местного происхождения. Технологическое оборудование и строительство предприятий по производству железобетонных труб значительно проще, нежели предприятий металлургической промышленности.

Производство железобетонных труб больших диаметров возможно очень быстро (в течение 3—6 месяцев) и с минимальными затратами организовать на полигонах в районе сооружения трубопроводов. Приближение места изготовления труб к месту укладки исключает необходимость дальних перевозок их по железной дороге и сокращает транспортные расходы, которые составляют, как известно, не менее 20% от пусковой стоимости труб.

Стальные трубы подвержены значительному разрушающему действию агрессивных грунтовых вод и жидкостей, протекающих по трубопроводу, а также систематически разрушаются под действием блуждающих токов, влияние которых в крупных населенных местах становится особенно ощутимым. В результате срок службы стальных трубопроводов не превышает в среднем 25 лет. При эксплуатации водоводов стальные трубы часто приходится менять даже через 10—15 лет.

Железобетонные трубы значительно долговечнее металлических — они мало подвержены разрушающему действию агрессивных вод и блуждающих токов. Практически при правильно выбранных материалах и конструкции железобетонные трубы могут быть полностью защищены от коррозии. Особенно большой эффект дает применение предварительно напряженных труб с обжатым защитным слоем, гарантирующим от появления в бетоне поверхностных трещин. Еще более долговечны конструкции железобетонных напорных труб без металлических элементов в стыковых соединениях. Известны случаи полной сохранности железобетонных напорных труб, находившихся в земле 50 и даже 70 лет. Железобетонные трубы, уложенные на территории Кузнецкого и Магнитогорского металлургических комбинатов, оказались достаточно долговечными даже в условиях длительного воздействия агрессивной среды. Более 25 лет эксплуатируются железобетонные напорные трубы диаметром 1200 мм в Баку-Шолларском и Самур-Дивичинском водоводах. По данным Тбилизводопровода, осуществляющего надзор за уложенным в 1952 г. в Сагурамской долине (Грузинская ССР) железобетонным напорным водоводом диаметром 900 и 1250 мм, протяженностью 7,3 км, этот участок водовода эксплуатировался безаварийно и по сравнению с другими участками из металлических труб оказался наиболее эффективным по затратам на текущий ремонт.

Нередки высказывания, подвергающие сомнению сроки долговечности железобетонных напорных предварительно напряженных труб с обжатием бетона высокопрочной проволокой малого сечения, тем более, что опыт эксплуатации таких труб относительно невелик. Поэтому представляются весьма полезными сообщения в технической литературе о результатах обследования предварительно напряженных железобетонных труб после их длительной эксплуатации и пребывания в грунте.

Одно из таких сообщений было опубликовано в докладе «Американской ассоциации железобетонных труб». Оно посвящено обследованию в 1963 г. предварительно напряженных железобетонных труб диа-

метром 760 мм, извлеченных из напорного водовода г. Мелроз-Парк в штате Иллинойс (США). Этот трубопровод был сооружен в 1942 г. для водоснабжения ряда населенных пунктов, обеспечивая подачу 50—65 тыс. м³ воды в сутки под давлением до 3,5 ат, хотя трубопровод был спроектирован для давления 8,5 ат, имея в виду реконструкцию водопроводной сети города. Водовод работал безотказно в течение 21 года. Трубы обследовались в связи с тем, что часть водовода из-за городской перепланировки должна была перекладываться. К сожалению, трубы при разборке ломали, и они не могли быть использованы вторично. Трубы имели длину 3,66 м и толщину стенок сердечника 63 мм и защитного слоя 25 мм. Они армировались предварительно напряженными стержнями в продольном направлении из специальной проволоки диаметром 4 мм. Предварительное напряжение создавалось в продольной арматуре 2109 кг/см² и в спиральной 4219 кг/см². Трубы изготавливались центрифугированием; бетон имел временное сопротивление сжатию 800 кг/см². Стыковые соединения были выполнены с помощью стальной муфты шириной 300 мм, толщиной 6,3 мм и резиновых уплотняющих прокладок. Прокладки были изготовлены из резины на основе природного каучука; характеристики их приведены в табл. 4.

Участок водовода, трубы которого были вскрыты и исследовались, эксплуатировался 14 лет (1942—1956 гг.), а затем находился в земле в частично заполненном водой состоянии (без давления). Это ухудшало условия сохранности труб, так как их стенки в течение длительного времени (7 лет) находились в условиях переменной водонасыщенности. Кроме того, содержащиеся в воздухе внутри этого участка трубопровода свободный кислород и влага должны были корродировать части открытых стальных муфт в стыках.

Однако при обследовании вскрытых труб выяснилось следующее: наружный защитный слой из торкрет-бетона толщиной 25 мм обеспечил хорошую защиту предварительно напряженной стальной проволоки, которая во всех случаях оказалась светлой, без признаков коррозии; та же проволока, пролежавшая в течение 8 недель на открытом воздухе, после вскрытия защитного слоя начинала корродироваться; отсюда можно сделать вывод о гарантированной защите от коррозии проволоки слоем бетона 25 мм;

были обнаружены многочисленные раковины в бетоне защитного слоя (глубиной до 3 мм и длиной до 13 мм), явившиеся результатом вовлечения воздуха при набрызге раствора, однако никакого снижения качества при эксплуатации по этой причине не установлено;

внутренняя поверхность трубы оказалась в отличном состоянии — исключительно гладкой; на этой поверхности замечен очень тонкий слой минеральных отложений толщиной до 0,4 мм в виде отдельных коричневых пятен и полос;

геометрические очертания концов труб на всех обследованных образцах (кроме разбитых участков) сохранились правильными, не разрушенными, что говорит о хорошей сохранности железобетонных сердечников труб;

Таблица 4

Физические характеристики резины применявшихся уплотняющих прокладок

Показатели	Свеже-отформованный лист	Образец, вырезанный из прокладок
Временное сопротивление растяжению в кг/см ²	84,4	56,3
Конечное удлинение в %	400	280
Отсчет по дюрометру (приборы для измерения твердости)	70	70
Удельный вес в г/см ³	1,5	1,5

стальные муфты, образующие раструб, в части трубы, находившейся в воде, оказались в прекрасном состоянии; в местах стыков, не заполненных водой, открытые участки муфты были корродированы на глубину до 1,6 мм; эти данные подтверждают тот факт, что в правильно эксплуатируемом напорном водоводе никакой коррозии металлических деталей внутри труб опасаться не следует;

результаты испытания резиновых уплотняющих прокладок (колец), примененных для стыков соединений труб, приведены в табл. 5; эти данные ниже требований, действовавших в 1963 г. технических условий Американской ассоциации водопроводных сооружений для железобетонных трубопроводов (ТУ С4-43), однако факт их удовлетворительной многолетней работы в водоводе при хорошей сохранности подтверждает то, что резина могла работать и дальше весьма значительное время.

На основании обследования труб разобранного участка было сделано заключение о хорошем состоянии всего железобетонного напорного водовода, эксплуатировавшегося, как сказано выше, более 21 года, и была выдана

рекомендация для дальнейшей эксплуатации водовода в течение неограниченного срока. Были сделаны также выводы о том, что современная технология изготовления предварительно напряженных труб, располагающая значительно более совершенными материалами и методами производства, гарантирует еще большую долговечность труб, и все сомнения относительно целесообразности применения таких труб взамен стальных и чугунных должны быть решительно отброшены.

В табл. 6 приведены отдельные зафиксированные статистические данные о сроках службы других трубопроводов из железобетонных труб диаметром от 150 до 3600 мм, в том числе напорных, построенных в США в разных районах страны, свидетельствующие о весьма высокой долговечности железобетонных труб.

Во время эксплуатации металлических водоводов внутренние поверхности труб быстро обрастают микроорганизмами и осадками. Этот процесс протекает особенно интенсивно с увеличением шероховатости поверхности стенок после начавшейся коррозии. В результате через несколько лет эксплуатации металлических водоводов шероховатость внутренней поверхности их настолько возрастает, что приводит к потере гидравлического напора до 20—25% и становится необходимым искусственно увеличивать давление в сети, если это допустимо по условиям прочности труб. В табл. 7 (по материалам УкрВОДГЕО) приведены сопоставительные данные расхода электроэнергии при эксплуатации напорного водовода диаметром 1000 мм и увеличении абсолютной шероховатости стенок труб от 0,1 до 0,75 мм. Таким образом, даже при абсолютной разнице в шероховатости 0,65 мм дополнительный расход электроэнергии на преодоление возникающих потерь напора на 1 км трубопровода составит в год 247 тыс. кВт·ч. В практике этот расход еще выше.

Железобетонные напорные трубопроводы не имеют этих недостатков. Внутренняя поверхность их не корродируется и не обрастает осад-

Таблица 5

Результаты испытаний образцов
резиновых прокладок
разобранного участка водовода

Показатели	Образцы в возрасте 21 года	По ТУ С4-43 (1963 г.)
Временное сопротивление растяжению в кг/см ²	56,8	84,4
Конечное удлинение в %	387	350
Отсчет по дюрометру	68	40— 60±5
Водопоглощение в %	0,015	10
Остаточная величина уплотнения от сжа- тия в %	63,3	25

**Некоторые данные о долговечности
уложенных железобетонных трубопроводов в США**

Таблица 6

Город, штат	Длительность службы трубопровода в годах	Примерная протяженность уложенных трубопроводов в км	Диаметр трубы в мм		Город, штат	Длительность службы трубопровода в годах	Примерная протяженность уложенных трубопроводов в км	Диаметр трубы в мм	
			наименьший	наибольший				наименьший	наибольший
Тоскан, Аризона	34	18	600	1200	Канзас-Сити, Мо	38	80	200	600
Литл-Рок, Арканзас	25	180	100	1500	Гастингс, Небраска	28	6,4	200	375
Беккерсфилд, Калифорния	37	72	150	1050	Албукерик, Н. М.	40	80	200	1100
Лос-Анжелес, Калифорния	42	1920	200	3600	Сиразузы, Нью-Йорк	39	40	250	2250
Сакраменто, Калифорния	40	24	375	2850	Вотертаун, Нью-Йорк	41	6,4	300	900
Атланта, Га.	50	720	150	2400	Кливленд, Огайо	44	66	300	1800
Кокомо, Индиана	39	32	250	2100	Толедо, Огайо	20	31	300	1800
Консул Бяюфс, Айова	35	4,8	300	1350	Евгения, Оризона	35	160	200	1100
Давенпорт, Айова	15	40	200	1500	Портленд, Оризона	37	677	200	1500
Новый Орлеан, Ла	27	176	200	975	Ланкастер, Пенсильвания	38	14,4	600	2450
Портленд, Мейне	75	19	200	600	Клоксвилл, Теннесси	25	160	150	1500
Челси, Массачусетс	81	8	300	900	Гаустон, Техас	34	975	150	1050
Чикопе, Массачусетс	75	48	250	1800	Самп Лейк, Силин	55	71	200	1950
Спрингфилд, Массачусетс	55	43	250	1100	Бармингтон, Виктория	79	22	200	1050
Бей-Сити, Мичиган	70	80	200	1800	Арлингтон, Ва	23	416	200	1100
Дирборн, Мичиган	30	160	300	2400	Сиеттл, Вашингтон	30	144	150	1500
Шайтау, Мичиган	74	152	250	1800	Апплетон, Висконсин	67	29	200	1050
Джексон, Миссисипи	24	96	150	750	Мильвокки, Висконсин	33	792	200	525
					Ваусау, Висконсин	58	56	200	1200

Таблица 7

Таблица 8

**Расход электроэнергии при эксплуатации
напорного водовода диаметром 1000 мм,
длиной 1 км,
с пропускной способностью 1,57 м³/мин**

**Внутренние диаметры
труб (в мм),
эквивалентных
по пропускной способности**

Показатели	При абсолютной шероховатости стенок в мм			
	0,1	0,2	0,5	0,75
Мощность, необходимая для преодоления потерь напора, в кВт	38,8	45	52	60
То же, с учетом коэффициента полезного действия водоподъемных механизмов $k=0,75$, в кВт	52	60	69,5	80
Расход электроэнергии на преодоление потерь напора, в тыс. кВт·ч/год	453	525	610	700

Трубы металлические, $\rho=0,025$	Трубы железобетонные, $\rho=0,01$
425	300
525	375
625	450
750	525
850	600
1050	750
1275	900
1500	1050
1700	1200

Примечание. ρ — коэффициент шероховатости.

ками и микроорганизмами, а шероховатость внутренних стенок при изготовлении труб может быть доведена до минимальных значений. Водопропускная способность таких труб со временем не уменьшается, что, в частности, было подтверждено наблюдениями за эксплуатацией бостонского (США) железобетонного напорного водовода диаметром 2300—3800 мм и других железобетонных водоводов.

Интересно сравнение, проведенное одной из исследовательских американских станций, шероховатости внутренней поверхности металлических и железобетонных труб и, соответственно, пропускной способности этих труб. В табл. 8 в результате расчета пропускной способности труб с применением формулы Маннинга показано, какие диаметры металлических и железобетонных труб эквивалентны по пропускной способности, имея различную шероховатость стенок. Как видно из этого сравнения, экономический эффект весьма убедителен в пользу железобетонных труб.

Глава II

РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

1. ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ

Впервые бетонные трубы ручного изготовления были применены в начале 50-х годов прошлого столетия. С тех пор техника производства бетонных, а затем и железобетонных труб непрерывно совершенствовалась, а масштабы и область применения труб расширялись. Вначале бетонные трубы применялись главным образом для целей канализации. Так, известно, что во второй половине прошлого столетия бетонные трубы были использованы для устройства ливневой канализации в ряде городов России: Одессе, Ростове-на-Дону, затем в Крыму, а в начале 20-х годов нашего столетия — в Нижнем Новгороде, Перми, Оренбурге и других городах. Применение железобетонных труб для этих целей практикуется и в настоящее время. Это объясняется тем, что железобетонные трубы рациональнее и дешевле керамических канализационных труб и прочнее их при значительных внешних давлениях, например при укладке трубопровода под насыпью.

Бетонные трубы обычно в виде коротких звеньев в первое время изготавливались вручную в вертикальных формах с тщательным трамбованием бетонной смеси. Развитие в конце прошлого века железобетонных конструкций привело к новым конструктивным решениям — армированию бетонных труб. Вначале железобетонные трубы изготавливались также ручным способом из бетона состава 1:2:4 (цемент:песок:гравий) с применением спиральной арматуры или проволочной сетки.

Железобетонные трубы для сооружения напорных водоводов и водопроводных сетей начали применять с конца прошлого столетия. Водонепроницаемость труб обеспечивалась стальными цилиндрами, при этом все растягивающие усилия в стенках труб воспринимались либо только арматурой, либо арматурой совместно с цилиндром, а бетон служил для защиты металла от коррозии. Цилиндры собирались из отдельных стальных листов, которые соединяли с помощью автогенной сварки. Первые удачные эксперименты по применению железобетонных напорных труб уже в 90-х годах прошлого века явились толчком для развития их промышленного производства и строительства железобетонных водоводов с напором до 6 ат и более.

Освоение изготовления железобетонных труб центрифугированием в первые годы XX в. положило начало их механизированному производству.

За рубежом одними из первых по изготовлению железобетонных напорных труб явились предприятия французской фирмы «Бонна». По способу, разработанному инж. А. Бонна, с 1893 г. в Париже началось изготовление железобетонных труб со стальным цилиндром. В 1894 г. из таких труб впервые в Париже был сооружен водовод диаметром 1800 мм, длиной 1,5 км, с напором 3,5 ат. Этот водовод находится в хорошем рабочем состоянии и до настоящего времени. Позднее фирмой «Бонна» начато освоение производства центрифугированием напорных железобетонных труб диаметром от 300 до 2500 мм, длиной до 6 м. Для водоводов с напором до 3 ат эти трубы изготавливались без стального цилиндра, а с более высоким напором — до 14 ат и более — со стальным цилиндром. Этот способ производства существовал до 30-х годов,

а на отдельных предприятиях фирмы «Бонна» сохранился и до настоящего времени, однако все чаще внутренний слой бетона в трубах со стальным цилиндром наносится центрифугированием, а наружный — вибрированием в металлических формах. Фирмой «Бонна» были сооружены трубопроводы: в Париже — протяженностью 365 км, диаметром от 300 до 2500 мм, с напором от 2 до 20 ат; в Лионе — 55 км, диаметром от 500 до 800 мм, с рабочим напором 7—9 ат; в Дюнкерке — 96 км, диаметром 500—600 мм, с напором 7—9 ат; в Марселе — 9,3 км, диаметром 800—1000 мм, с напором 4—11 ат; в Алжире — 35 км, диаметром от 150 до 800 мм, с напором 1—18 ат; в Дании — 41 км, диаметром 500—1100 мм, с напором 8—12 ат; в Бельгии — около 320 км, диаметром 300—1500 мм, с напором 2—20 ат и др.

Технология производства напорных труб со стальным цилиндром была освоена и рядом других зарубежных предприятий: «Локк Джойнт Компани» в США с 1914 г., «Н. В. Бетондак-Аркел» в Голландии с 1916 г. и др.

В нашей стране исследовательские работы по изучению производства железобетонных напорных труб центрифугированием начали проводиться с 1930 г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте водоснабжения и санитарной техники под руководством проф. Н. Н. Гениева. В 1932 г. был построен ряд цехов по изготовлению центрифугированных железобетонных труб без стального цилиндра на заводах в городах Горьком, Одессе, Ленинграде, на ст. Павшино под Москвой, в Никитовке и др. Трубы эти использовались при сооружении водоводов с напором до 3 ат. В дальнейшем некоторые из указанных предприятий были либо разрушены во время войны и не восстанавливались, либо использованы по другому назначению. В 1935—1937 гг. был построен большой завод по производству железобетонных труб в Баку. Напорные трубы диаметром 1200 мм на этом заводе изготавливались центрифугированием с применением водонепроницаемой нефтебитумной прослойки в стенке трубы, т. е. трехслойными (бетон — битум — бетон). Такие трубы выдерживали гидравлический напор до 6 ат. Отдельные образцы были успешно испытаны на давление свыше 20 ат. Из железобетонных труб диаметром 1200 мм, изготовленных на Бакинском заводе, были уложены Баку-Шолларский водовод протяженностью 80 км, Самур-Дивичинский трубопровод протяженностью 30 км и др.

Кроме широко распространившегося изготовления железобетонных труб способом центрифугирования с 20-х годов большое применение получил способ изготовления железобетонных напорных труб со стальным цилиндром в вертикальных формах с вибрированием (рис. 1). Этот способ оказался особенно удобным при изготовлении напорных труб больших диаметров — от 1000 до 4000 мм и более в районе строительства водоводов и поэтому обычно применяется для производства труб на полигонах или на временных полузаводских установках.

Для напора 3 ат часто применялись вибрированные железобетонные трубы и без стального цилиндра, но с увеличенной толщиной стенки.

Железобетонные напорные трубы со стальным цилиндром, изготовленные способом вибрирования, были использованы в США при сооружении бостонского водовода диаметром 2130—3800 мм, с напором от 3 до 6,7 ат, длиной около 25 км и водоводов в районе Соленого озера диаметром 1750 мм, с напором до 10 ат, длиной около 65 км. Такие же трубы диаметром 1200—1800 мм были изготовлены и уложены при сооружении водовода в г. Сан-Диего. Известно изготовление вибрационным способом труб диаметром 4000 мм и более в Италии, Испании и т. д.

Железобетонные трубы со стальным цилиндром обеспечивали значительную экономию металла по сравнению с металлическими трубами

и имели более низкую стоимость. В процессе развития производства в целях дальнейшей экономии металла и снижения стоимости труб стали изыскивать способы их изготовления без стального цилиндра путем предварительного обжатия бетонных стенок труб.

Еще в 1910 г. по предложению швейцарского инженера Зигварта (Siegwart) были изготовлены в Швейцарии экспериментальные предварительно напряженные трубы диаметром 200 мм с толщиной стенки

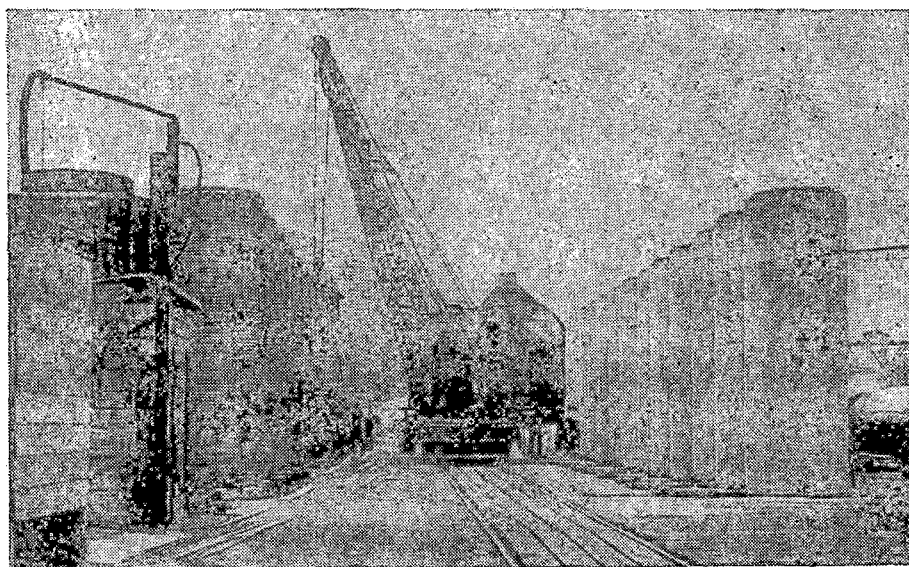


Рис. 1. Изготовление железобетонных напорных труб диаметром 1350 мм в вертикальных формах с вибрированием (США).

22—23 мм, со спиральной арматурой из проволоки, навитой с напряжением 6200 кг/см^2 . Эти трубы, по дошедшим до нас сведениям, выдержали гидравлический напор 55 ат. Однако прошло более 20 лет, прежде чем изготовление предварительно напряженных труб было освоено в производственных условиях. Причина этого заключалась главным образом в неумении получать высокие марки товарной стали, так как достигавшееся незначительное предварительное напряжение арматуры (обычно не более 1500 кг/см^2) было недостаточным для создания необходимого предварительного напряжения в бетоне. По существу оно компенсировало только неизбежную потерю напряжений в арматуре от усадки и ползучести обжатого бетона.

Как известно, стенки в напорных трубах подвергаются растяжению, которому бетон плохо сопротивляется. Известно, что предельная растяжимость бетона, т. е. максимальное удлинение его перед образованием волосных трещин, составляет ничтожную величину: $\varepsilon = 0,1 \div 0,12 \text{ мм/пог. м}$. Следовательно, соответствующее напряжение в обычной арматуре с модулем упругости стали $E_a = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, при котором она получит одинаковое удлинение при совместной работе с бетоном, приблизительно составит $\sigma = \varepsilon E_a = 210 \div 250 \text{ кг/см}^2$. Увеличивать сопротивление бетона растяжению путем повышения марки бетона нецелесообразно, поскольку это не дает должного эффекта. Так, например, при повышении марки бетона в 2 раза — от 170 до 350 кг/см^2 — сопротивление растяжению возрастает только на 60%. Известно также, что в бетоне обычных ненапряженных конструкций трещины до 0,25 мм

появляются уже при рабочих напряжениях в арматуре 1200—1300 кг/см², т. е. при загрузке конструкции приблизительно расчетными нагрузками. Следовательно, в таких конструкциях не имеет смысла применять высокопрочные бетоны и сталь, так как последняя все равно не может быть использована с напряжением, большим указанного, вследствие развития в бетоне недопустимых трещин.

Широкое внедрение предварительно напряженных конструкций в 30-х годах, явившееся результатом появления высокопрочного цемента и высокопрочной проволоки, вызвало настоящий переворот и в

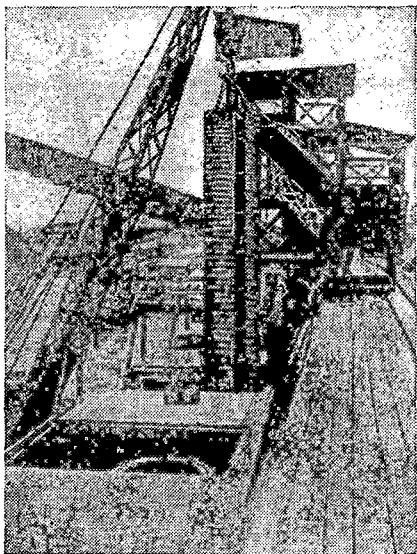


Рис. 2. Установка для изготовления железобетонных напорных труб в вертикальных формах с вибрированием в г. Рустави (Грузинская ССР)

технике изготовления напорных железобетонных труб. Большой вклад в исследование и во внедрение в производство предварительно напряженных труб внес Фрейссинг. Значительная исследовательская работа в области создания железобетонных предварительно напряженных труб без стального цилиндра проводилась в конце 30-х годов в США Инженерной испытательной станцией при Университете Лафайета (штат Индиана) под руководством проф. Р. Б. Крепса.

В СССР работы по изучению предварительно напряженных труб проводились с 1930 г. в ЦНИИПСе, МИИТе и Академии коммунального хозяйства (проф. В. В. Михайловым, проф. И. Г. Ивановым-Дятловым, доц. Д. Ф. Офросимовым и др.). В дальнейшем с 1948 г. работы продолжались в ЦНИИПСе и ВОДГЕО и были перенесены в производственные условия. На б. заводе «Стройдеталь» было организовано опытное производство труб

диаметром до 600 мм по трехступенчатой технологии с изготовлением железобетонных сердечников центрифугированием в неразъемных формах. В г. Рустави (Грузинская ССР) в 1948—1949 гг. была построена полевая установка для изготовления труб в вертикальных формах с высокочастотным вибрированием. На установке изготавливали трубы диаметром 700 и 900 мм, длиной 4 м без стального цилиндра — для городских сетей строящегося города и его промышленных объектов и трубы диаметрами 900, 1250 и 1500 мм — для сооружения магистральных напорных водоводов (рис. 2).

В настоящее время исследованием вопросов технологии производства железобетонных напряженно армированных труб занимаются в институтах НИИЖБ Госстроя СССР, ВНИИЖелезобетон Министерства промышленности строительных материалов СССР, в Министерстве энергетики и электрификации СССР и в ряде других организаций.

В основном наметились две принципиально отличающихся технологии изготовления напорных предварительно напряженных труб: трехступенчатая, включающая отдельные процессы изготовления железобетонного сердечника трубы, навивки на него предварительно напряженной спиральной арматуры и нанесения на спираль защитного слоя, и одноступенчатая, когда предварительное напряжение спиральной ар-

матуры и образование ее защитного слоя происходит одновременно с формированием всего тела трубы.

В зависимости от усовершенствования того или иного технологического процесса существующие способы производства предварительно напряженных труб можно классифицировать следующим образом:

1) изготовление труб по трехступенчатой технологической схеме со стальным цилиндром и предварительно напряженной спиральной арматурой; изготовление сердечника центрифугированием или в вертикальных формах (рис. 3, а);

2) изготовление труб по трехступенчатой технологии с предварительно напряженной спиральной и продольной арматурой (рис. 3, б); формирование железобетонного сердечника в этом случае производится различными способами:

а) в вертикальных формах с высокочастотным вибрированием;

б) центрифугированием;

в) центрифугированием с вибрированием;

г) центрифугированием с прессованием;

д) центрифугированием с вибрированием и прессованием;

3) изготовление труб по трехступенчатой технологии центрифугированием с предварительно напряженной продольной и спиральной арматурой, с последующим нанесением обжато-го защитного слоя в процессе передачи гидравлического давления на стенки трубы (рис. 3, в);

4) изготовление однослойных труб по одноступенчатой технологии виброгидропрессованием в вертикальных формах с предварительно напряженной продольной и спиральной арматурой (рис. 3, г).

Кроме указанных следует назвать разработанный в Норвегии способ изготовления на полигонах напорных труб в горизонтальных формах с предварительным напряжением поперечной арматуры способом механического натяжения в про-

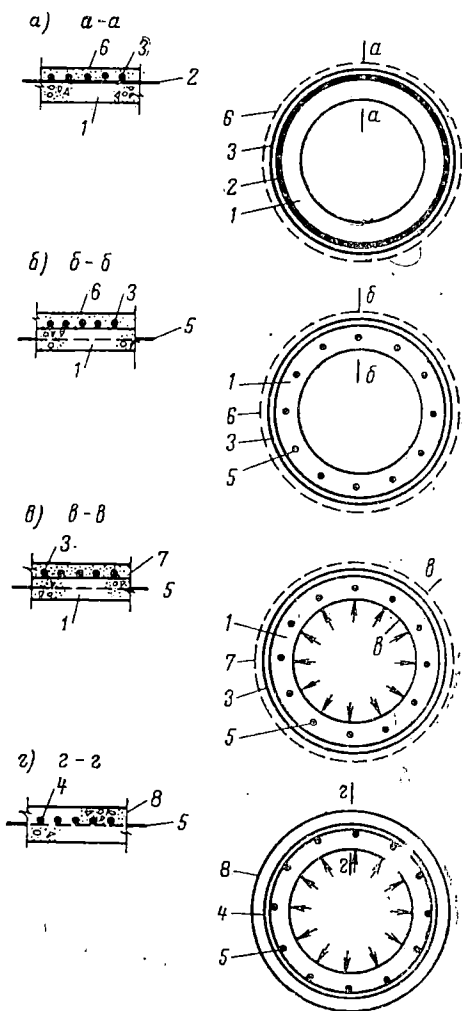


Рис. 3. Типы железобетонных предварительно напряженных труб

а — железобетонные трубы со стальным цилиндром и предварительно напряженной спиральной арматурой; б — железобетонные трубы с предварительно напряженной спиральной и продольной арматурой; в — железобетонные трубы «примо» с предварительно напряженной спиральной и продольной арматурой и обжатым защитным слоем; г — железобетонные трубы с предварительно напряженной спиральной и продольной арматурой и с равномерно обжатым бетонным сечением, изготавливаемые способом виброгидропрессования; 1 — бетонный или железобетонный сердечник трубы; 2 — стальной тонкостенный цилиндр; 3 — предварительно напряженная спиральная арматура из высокопрочной проволоки, навиваемой на готовый сердечник; 4 — предварительно напряженная спиральная арматура из высокопрочной проволоки, напрягаемая в процессе формирования стенки трубы путем прессования гидравлическим давлением; 5 — продольная предварительно напряженная арматура; 6 — ненапряженный защитный слой, наносимый после навивки спирали; 7 — защитный слой, предварительно обжатым; 8 — защитный слой, образуемый в процессе формирования трубы и предварительно обжатым совместно со всей стенкой трубы

цессе формования, а также разработанный отечественными учеными способ изготовления самонапряжением труб круглого сечения с использованием расширяющегося цемента. Однако оба эти способа нуждаются в проверке в производственных условиях.

На большинстве предприятий всех стран в настоящее время изготавливают трубы по трехступенчатому технологическому процессу. В последние годы все большее признание приобретает одноступенчатая технология гидропрессования, что обусловлено меньшим количеством технологических операций и получением монолитной стенки трубы, одинаково обжатой по всему сечению предварительно напряженной арматурой.

Производство труб по трехступенчатой технологической схеме со стальным цилиндром и предварительно напряженной спиралью. Это производство освоено фирмами «Локк Джойнт Компани», «Америкен Пайп Корпорейшн Компани» и рядом других (США), «Бонна» (Франция), «Стентон» (Англия), «Индиан Пайп—Стентон» (Индия) и в СССР — для труб напором до 10 ат и более.

На всех перечисленных зарубежных предприятиях железобетонные сердечники изготавливаются центрифугированием и вибрированием в вертикальных формах, в СССР — в тресте Закавказметаллургстрой и на Филевском заводе в Москве — вибрированием в вертикальных формах. Спираль на сердечник навивается из высокопрочной проволоки. Защитный слой наносится либо путем обетонирования сердечника в вертикальных виброформах, либо торкретированием.

Фирма «Локк Джойнт Компани» изготавливает трубы диаметром до 900 мм, выдерживающие рабочий напор до 15 ат, а с предварительным обжатием спиральной арматурой — более 15 ат. В 1942 г. этой фирмой был уложен из таких труб топливопровод в г. Норфолк (штат Виргиния) на рабочее давление 21 ат. Фирма «Стентон» по этому способу изготавливает трубы диаметром 700—1500 мм, длиной 4,5 м для напорных трубопроводов с давлением до 15 ат и более. Фирмой «Индиан Пайп—Стентон» выпускаются центрифугированные трубы со стальным цилиндром диаметром 150—1200 мм, длиной до 9 м для напоров до 20 ат и более. Защитный слой толщиной от 16 до 32 мм наносится на цилиндр вибрационным способом с армированием легким каркасом или тканью, пропитанной горячим битумом, которая затем покрывается песком. Толщина слоя центрифугированного бетона в зависимости от диаметра труб 13—25 мм; общая толщина стенки трубы не превышает 60—70 мм.

Производство предварительно напряженных труб без стального цилиндра с последующим нанесением необжатого защитного слоя. Это производство освоено фирмами «Н. В. Бетондак» (Голландия), «Цюблин» (ФРГ), «Бонна-Сокоманн» (Франция), «Левинстон Пайп Компани» (США), «Цен-ви-ро Пайп Корпорейшн» (США) и др., а также предприятиями в СССР, КНР, ГДР и в Венгерской Народной Республике для труб с напором от 6 до 10 ат, хотя такие трубы могут быть изготовлены и для больших давлений.

Предварительное обжатие бетона стенок осуществляется в продольном и радиальном направлениях. Большинство указанных предприятий изготавливают железобетонные сердечники труб центрифугированием с предварительным напряжением продольной арматуры на формах.

Фирмой «Н. В. Бетондак» изготавливаются напорные центрифугированные раструбные трубы диаметром до 2500 мм, выдерживающие гидравлическое давление до 12 ат. Фирмой «Цюблин» предварительно напряженные трубы изготавливаются центрифугированием на осевых центрифугах, а в последнее время — на роликовых станках. Защитный слой наносился ранее торкретированием, в последнее время внедряется

оштукатуривание специальной раствороманосящей установкой. Фирма «Сокоман», «Рокла» и «Цен-ви-ро Пайп Корпорейшн» изготавливают напорные трубы в центрифугах комбинированного действия: с вибрированием («Сокоман»), с прессованием («Рокла») и с вибрированием и прессованием («Цен-ви-ро Пайп Корпорейшн»). Эти трубы отличаются повышенной плотностью бетона стенок и минимальными допусками отклонений от геометрических размеров, что особенно важно для стыковых соединений труб.

Производство предварительно напряженных труб с обжатым защитным слоем. Это производство было впервые освоено на шведском заводе фирмы «Сулейван и Квибелиус». Такой тип напорных труб известен под названием труб «примо».

Завод выпускает способом центрифугирования трубы диаметром до 1500 мм, длиной 5 м для напоров до 20 ат. Предварительное обжатие защитного слоя повышает трещиностойчивость, а следовательно, и коррозиестойчивость арматуры труб. Кроме того, предварительное обжатие защитного слоя содействует включению его в работу стенки трубы как материала, близкого по механической прочности к обжатому бетону сердечника, и, таким образом, увеличивает жесткость и прочность трубы.

В 1960 г. в СССР построен и сдан в эксплуатацию в Челябинске завод с аналогичной технологией производительностью до 11 тыс. м³ в год. Завод выпускает раструбные трубы диаметром от 500 до 1500 мм, длиной 5 м с испытательным давлением до 25 ат.

Производство однослойных напорных труб способом вибропрессования. Такое производство осуществляется с помощью гидравлического предварительного напряжения спиральной арматуры. Впервые этот способ был предложен Фрейссине во Франции в 1933 г. и испытан на экспериментальном заводе в Париже. В 1935 г. в Алжире по способу Фрейссине изготавливались трубы диаметрами 1000, 1200 и 1400 мм, длиной 6 м с испытательным давлением до 18 ат. При налаженном производстве на каждой машине-форме изготовлялось по 6—9 труб ежедневно. В трубах создавалось радиальное напряжение до 160 кг/см² и в продольном направлении — до 40 кг/см². Внутреннее давление в формах от 30 до 100 ат создавалось насосом с подачей горячей воды (t° до 100°С) или паром.

Дальнейшим усовершенствованием гидравлического метода явился способ виброгидропрессования, разработанный шведской фирмой «Сентаб». Этой фирмой в г. Мальмо выпускаются виброгидропрессованием трубы высокого качества диаметром от 500 до 1200 мм, длиной 5 м для трубопроводов с рабочим напором до 12 ат. Первый опытный трубопровод из труб «Сентаб» был уложен в 1948 г., а с 1952 г. организовано массовое производство труб.

В настоящее время способ изготовления труб виброгидропрессованием широко внедряется в СССР. В 1961 г. в Куйбышеве построен и сдан в эксплуатацию первый завод производительностью до 11 тыс. м³ труб в год, на котором изготавливаются этим способом напорные раструбные трубы диаметром от 500 до 1200 мм, длиной 5 м для рабочих напоров до 10 ат. Осуществлено строительство еще 17 типовых заводов по этой же технологии производительностью по 11 тыс. м³ напорных труб каждый с тем же ассортиментом труб в Ленинграде, Владивостоке, Часов Яре и других городах.

Разработан типовой проект завода по производству напорных труб виброгидропрессованием производительностью 55—60 тыс. м³ в год, по которому осуществляется строительство четырех заводов.

Таким образом, всю историю развития производства железобетонных напорных труб можно довольно четко разделить на два периода.

В первый период — до 30-х годов — напорные трубы изготавливались центрифугированием, вибрированием и прессованием без предварительного напряжения. В связи с применением стальных цилиндров и обычной арматуры экономия металла по сравнению с металлическими трубами не превышала 60—70%.

Во второй период — начиная с 30-х годов — применяются способы изготовления, обеспечивающие предварительное напряжение бетона в стенках трубы, в большинстве случаев без стального цилиндра — по трехступенчатой технологии.

В трубах с предварительно напряженной продольной и спиральной арматурой экономия металла по сравнению с металлическими трубами достигла 85%. Однако, несмотря на явное экономическое преимущество предварительно напряженных труб, до настоящего времени в практике производства различных стран применяются все указанные способы изготовления железобетонных напорных труб.

2. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

Способ центрифугирования. Для изготовления железобетонных труб применяют главным образом центрифуги периодического действия с горизонтальным расположением оси центрифуги. По роду закрепления формы различают: роликовые центрифуги, в которых

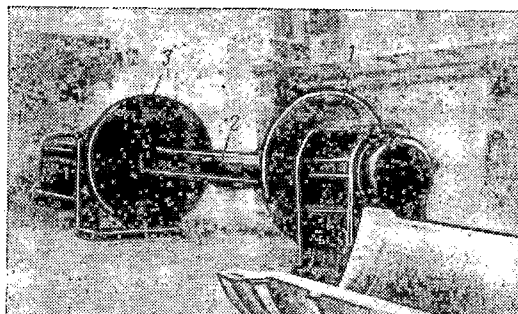


Рис. 4. Центробежный осевой станок

1 — передняя планшайба; 2 — ложечный питатель;
3 — задняя планшайба

металлическая форма свободно лежит на роликах и вращается благодаря фрикционному сцеплению бандажей с катками валов, и центробежные осевые (рис. 4), в которых металлическая форма жестко закрепляется в планшайбах и вращается вместе с ними. Из менее распространенных известны люнетные, барабанные и канатно-ременные центрифуги.

Роликовые центрифуги могут иметь два или более валов с закрепленными на них

роликами (катками). Одни из валов является ведущим, другие вращаются в результате трения бандажей вращающейся формы о катки. Ориентировочные соотношения диаметра роликов с диаметром бандажей формы составляют от 3:10 до 7:10. При конструировании роликовой центрифуги большое значение имеет выбор расстояния между валами. Оно должно быть таким, чтобы так называемый «угол заклинивания формы» составлял 70—90°. Для большей устойчивости формы целесообразно «угол заклинивания» увеличивать, поэтому иногда роликовые центрифуги конструируют с углом $\alpha > 90^\circ$. Скорость вращения формы на роликовых центрифугах может достигать 1500 об/мин. Вес таких центрифуг обычно составляет от 3 до 5 т.

Центробежные осевые центрифуги представляют собой более сложное и дорогое оборудование. Они изготавливаются одношпиндельными и многошпиндельными. В одношпиндельной центрифуге форма прикрепляется болтами к одной планшайбе, соединенной с приводом. На одном конце формы имеется бандаж, надеваемый перед установкой ее в цен-

трифугу. Бандаж опирается на ведомые ролики, которые установлены на специальной тележке. В наиболее распространенных двухшпиндельных центрифугах формы крепятся к двум планшайбам. В период уплотнения бетона скорость вращения форм в центрифугах составляет 900—1200 об/мин. Развиваемые значительные центробежные силы стремятся разорвать форму, что заставляет усложнять ее конструкцию и требует большой точности в изготовлении и монтаже формы и центрифуги в целом. Учитывая, что окружные скорости на ободе достигают 40 м/сек, в целях предотвращения разрушения корпуса от возникающих усилий для изготовления деталей формы применяют высококачественные стали. Кроме того, во время эксплуатации форм должна быть обеспечена их динамическая уравновешенность, плотность в швах, а также сведены к минимуму затраты времени на монтаж и демонтаж.

Существуют неразъемные и разъемные формы. Первые применяют для производства труб небольших диаметров в роликовых центрифугах и изготавливаются из стальных стандартных труб с напрессованными на них бандажами из высокопрочной стали. Они значительно дешевле разъемных, экономичнее в эксплуатации, так как не требуют разборки и сборки и относительно легко балансируются.

Разъемные формы, применяемые для производства труб любых диаметров, конструируют из двух частей. Эти формы наиболее употребительны и могут быть также изготовлены из обычных стальных труб, разрезанных вдоль оси на две половины, или сварены из листовой стали. Недостатками применения этих форм являются большая трудоемкость в эксплуатации и сложность герметизации продольных швов. Загрузка разъемных форм бетонной смесью производится в зависимости от принятой технологии и конструкции центрифуг из раздаточных бункеров с помощью шнековых или обычных питателей и бетононасосами. Разовая загрузка форм бетонной смесью (например, на Серпуховском заводе) освобождает рабочих от последующих операций по контролю за загрузкой бетона, но требует мощных пусковых двигателей для разгона форм. Кроме того, принятая технология имеет ряд других недостатков: нельзя послойно центрифугировать, нельзя контролировать центрифугирование и т. д. Учитывая это, лучше для загрузки формы применять питатели ложкового типа, подающие бетон во вращающуюся форму постепенно через ее открытый торец. Объем ложки обычно равен $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{3}$ объема бетона трубы.

Необходимая высокая точность механической обработки разъемных форм, техническая сложность изготовления, а также особые требования к металлу обуславливают их относительно высокую стоимость.

Значительная мощность привода и питание его от генератора постоянного тока удорожают энергетическую часть оборудования. Например, в осевых центрифугах ЦФТ-1000, применяемых на Филевском и Серпуховском заводах, мощность двигателей разгонного привода постоянного тока составляет 55 кВт, главного привода постоянного тока — 60 кВт, при числе оборотов от 370 до 1020 в 1 мин. Вес такой центрифуги для изготовления труб диаметром 300—1500 мм, длиной 5 м — 40 т.

В зарубежной и в отечественной практике применяют также центрифуги с канатно-ременной подвеской форм. Так, во Франции фирма «Центритюб» на подобных центрифугах изготавливает железобетонные трубы диаметром от 150 до 1300 мм, длиной до 4 м, а в Индии изготавливают трубы диаметром 300—1500 мм, длиной до 6 м. В СССР эксплуатируются ременные центрифуги на предприятиях по производству труб диаметром 300—800 мм в Харькове и Минске. Характерной особенностью этих центрифуг являются бесшумность и плавность в работе, небольшой вес (до 7 т), большая сохранность формы в процессе центрифугирования и меньшая по сравнению с другими типами центрифуг

мощность электродвигателей. Основными недостатками являются трудность загрузки формы и систематическая вытяжка канатно-ременной подвески.

Процесс изготовления труб центрифугированием состоит из следующих операций:

- а) подготовки форм — смазки, укладки в них арматуры или стального цилиндра, сболчивания (для разъемных форм);
- б) установки форм на станок;
- в) загрузки бетонной смеси и ее распределения в форме;
- г) центрифугирования бетонной смеси путем вращения формы со скоростью 900—1200 *об/мин* в течение нескольких минут;
- д) слива шлама и снятия формы со станка;
- е) отвинчивания бандажей (при работе на роликовых станках) и загрузки трубы в камеру пропаривания;
- ж) пропаривания труб;
- з) распалубки, гидравлического испытания и штабелирования готовых труб.

Дальнейшим совершенствованием способа центрифугирования является центрифугирование с прессованием бетона, которое впервые было применено австралийской фирмой «Рокла Конкрет Пайп» на центробежно-прокатной машине. Указанным способом изготавливались железобетонные трубы диаметром от 300 до 1800 мм, длиной 5 м. Основным элементом машины является мощный горизонтальный вал, с помощью которого удерживается и вращается разъемная цилиндрическая форма и дополнительно прессуется бетон. Вращение вала в подшипниках, смонтированных в стальные траверсы опорной рамы, обеспечивается с помощью насаженного на его конце ролика, соединенного с редуктором клиновидной ременной передачей. Второй ролик находится на другом конце вала и скользит по специальной траверсе формы. Этот ролик имеет реборду для удержания формы от продольных смещений и колебаний. После укладки арматуры и соединения двух половин формы к торцам крепят профилированные кольца. Затем форма надевается на вал, причем между внутренней поверхностью формы и верхней образующей вала получается зазор, равный толщине стенки формируемой трубы.

Загружаемая во время вращения формы бетонная смесь уплотняется и дополнительно прессуется в зазоре между внутренней поверхностью формы и валом. При этом строго выдерживается заданная толщина стенки трубы.

Указанный способ применяется и в настоящее время на некоторых предприятиях США и Европы.

В связи со сложностью оборудования заводов железобетонных труб с осевыми центрифугами строительство их требует обычно значительных капитальных затрат. Кроме того, эта технология не гарантирует высокое качество труб.

Вибрационный способ. Железобетонные трубы диаметром более 1000 мм обычно изготавливают в вертикальных металлических формах с применением виброуплотнения бетона.

Формы состоят из двух частей: наружной и внутренней. Последняя часто заменяется сердечником, вертикально перемещающимся при помощи тали и снабженным одним или несколькими вибраторами. После удаления сердечника в форму с бетоном впускают пар. Такой способ производства пригоден для коротких труб длиной до 2 м. При изготовлении более длинных труб обе части формы делают стационарными; укладываемую между ними бетонную смесь уплотняют вибраторами, прикрепляемыми к наружной или внутренней форме. Количество и мощность вибраторов выбирают в зависимости от величины труб и требуе-

мой плотности бетона. Для формирования труб в вертикальных формах применяют также вибрационные площадки. Чем больше диаметр труб, тем более целесообразно приближать их производство к месту укладки трубопровода во избежание излишних затрат на транспортирование. Поэтому в большинстве случаев производство железобетонных труб с применением виброуплотнения бетона, как наиболее простое и не требующее сложного оборудования, размещается на полигонах вблизи строительных площадок.

Трубы в виброформах можно изготавливать с обычной арматурой или со стальным цилиндром. В последнем случае при изготовлении сердечника трубы цилиндр можно использовать как внешнюю вертикальную форму и крепить вибраторы только к внутренней форме.

При изготовлении в полевых условиях иногда целесообразно формировать трубы непосредственно в камерах для пропаривания, как это было осуществлено на полигоне в г. Рустави Грузинской ССР.

Производство предварительного напряженных труб по трехступенчатой технологической схеме. Как известно, предварительно напряженными называют такие железобетонные конструкции, в которых до приложения эксплуатационных нагрузок тем или иным способом создается предварительное обжатие бетона.

В обычных железобетонных конструкциях в результате действия эксплуатационных нагрузок в растянутой зоне бетона могут возникнуть видимые или невидимые простым глазом трещины. Естественно, что для таких конструкций, как трубы и резервуары, стенки которых работают преимущественно на растяжение, особенно большое значение имеет предварительное обжатие бетона, предохраняющее его от образования трещин. Предварительно сжатые стенки трубы под влиянием гидравлического давления и изгибающих моментов от внешней нагрузки должны подвергаться растягивающим усилиям в таких пределах, чтобы рабочие напряжения в них ни в коем случае не достигали предельных значений, вызывающих раскрытие трещин в бетоне.

Для иллюстрации зависимости между предельными значениями внутреннего гидравлического давления и минимальными значениями сжимающих напряжений в бетоне при необходимом количестве предварительно напряженной арматуры может служить номограмма (рис. 5) расчета, выполненная для труб диаметром 910 мм со стенкой толщиной 76 мм при предварительном напряжении арматуры $\sigma_n = 7000 \text{ кг/см}^2$ и $n = E_a : E_b = 6$.

Необходимо отметить, что при возрастании до максимального внутреннего гидравлического давления напряжения растяжения в спиральной предварительно напряженной арматуре трубы также будут возрастать, однако приращение этих напряжений практически не превосходит 10%.

Так, например, если вычислить по номограмме на рис. 5 значение напряжения бетона для этой трубы при $p = 14 \text{ ат}$ и $n = 6$, т. е. для бетона с модулем упругости, приблизительно равным $350\,000 \text{ кг/см}^2$, получим

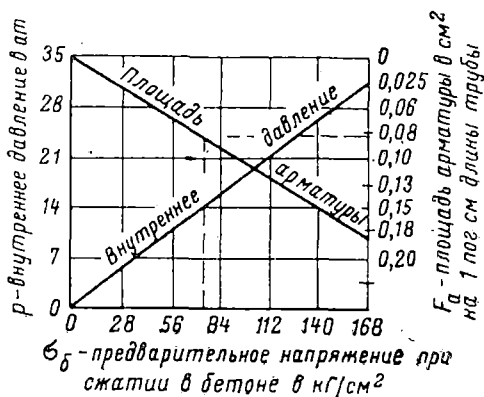


Рис. 5. Номограмма зависимости между гидравлическим давлением, напряжением в бетоне и площадью арматуры в стенке железобетонной трубы диаметром 910 мм, с предварительно напряженной арматурой

$\sigma_6 = 77 \text{ кг/см}^2$ и $F_n = 0,065 \text{ см}^2/\text{пог. м}$ трубы. Дополнительное напряжение в арматуре при действии гидравлического давления 14 ат составит $\sigma'_n = 6 \cdot 77 = 462 \text{ кг/см}^2$, что близко к значениям, полученным при испытании такой трубы, относительное удлинение проволоки которой оказалось равным 0,000182, а $\sigma'_n = \varepsilon E_n = 0,000182 \cdot 2\,100\,000 = 382 \text{ кг/см}^2$.

Анализируя этот пример, видим, что суммарное напряжение в стальной проволоке возросло до $7000 + 382 = 7382 \text{ кг/см}^2$, т. е. приращение напряжения в данном случае составляет 5,5%.

Применяемая в стенках трубы продольная предварительно напряженная арматура предназначена для компенсации продольных деформаций в трубе и, в частности, деформации от поперечного обжатия трубы при навивке высокопрочной проволоки. Эти деформации теоретически могут достигать величины, соответствующей значению коэффициента пропорциональности поперечного расширения при сжатии. Существенное влияние продольных деформаций может сказаться при большом предварительном напряжении бетона и малой жесткости сечения трубы.

Как указывалось, при изготовлении предварительно напряженных труб по трехступенчатой технологии первой ступенью производства является изготовление железобетонного сердечника любым из описанных выше способов. Продольное обжатие бетона должно быть обеспечено продольной предварительно напряженной арматурой, которая обычно применяется в виде высокопрочной проволоки диаметром 5—7 мм или пучков из нескольких проволок меньшего диаметра, предварительно натягиваемых на форме с заданным расчетным расстоянием между ними по периметру трубы. Натяжение продольной арматуры может осуществляться гидравлическими домкратами, а при небольших усилиях — с помощью гаечного ключа.

При изготовлении сердечников со стальным цилиндром толщиной 1—2 мм последний сваривают встык обычно из трех листов, имеющих длину, равную длине трубы за вычетом стыка. Стальные листы пропускают через гибочный станок, в котором их вальцуют по заданному диаметру трубы. С обоих концов цилиндра к нему приваривают стыковые стальные кольца, образующие раструб и втулку. Листы стального цилиндра с приваренными стыковыми кольцами монтируют в специальных кондукторах и сваривают, причем кондукторы дают возможность выполнять все сварные швы в нижнем положении. Стальные цилиндры испытывают на прочность и водонепроницаемость швов под гидравлическим давлением.

При изготовлении железобетонного сердечника со стальным цилиндром способом вибрирования цилиндр также сваривают отдельно в кондукторе вместе с концевыми обечайками. Перед установкой стального цилиндра в форму проверяют плотность сварных швов, а в процессе формования сердечника следят за тем, чтобы стальной цилиндр с обечайками не принял эллиптической формы.

Следующим процессом трехступенчатой технологии является навивка спирали из высокопрочной проволоки. Для этого используют высокопрочную проволоку диаметром 2,5—5 мм, которую навивают на железобетонный сердечник после приобретения бетоном прочности не менее 70% от расчетной. Навивку обычно производят на специальном станке, при этом предварительное напряжение высокопрочной проволоки может быть осуществлено энергетическим или механическим способом.

Впервые натяжение спиральной арматуры путем навивки на сердечник проволоки, нагретой в печи, было осуществлено в 1928 г. В дальнейших работах и исследованиях Академии коммунального хозяйства и МИИТа (1931—1933 гг.) проволоку нагревали электрическим

током («энергетический способ»). На рис. 6 приведена схема сконструированного в АКХ станка для навивки на железобетонный сердечник спирали из высокопрочной проволоки. Такой станок представляет собой тип токарного станка, по раме которого движется суппорт, оборудованный натяжными роликами. Электронагрев проволоки осуществляется при помощи скользящих контактов, питаемых током от трансформатора. Для нагревания проволоки до $125\text{--}250^\circ\text{C}$ необходимо, чтобы она находилась под током в течение 6 сек, поэтому расстояние между контактами при скорости движения проволоки $0,15\text{--}0,2\text{ м/сек}$ должно быть около 1 м. Таким образом степень нагревания может регулироваться изменением расстояния между контактами, скоростью движения проволоки и величиной силы тока. Концы проволоки закрепляют на сердечнике. При охлаждении проволока укорачивается, что вызывает предварительное ее натяжение и сжатие бетона сердечника. Охлажденную спираль покрывают защитным слоем цементного раствора. Энергетический способ натяжения проволоки не получил широкого применения вследствие того, что не гарантировалась однородность обжатия бетона по длине трубы, а следовательно, ее прочность и водонепроницаемость.

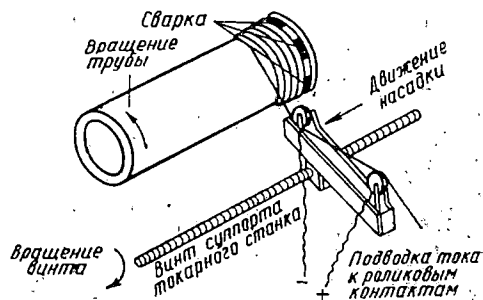


Рис. 6. Схема станка конструкции АКХ для навивки на железобетонный сердечник нагреваемой электрическим током высокопрочной спирали

Наибольшее распространение в производстве напорных труб получили навивочные станки для механического натяжения проволоки в холодном состоянии. Механический способ натяжения наиболее прост. Заключается он в навивке высокопрочной проволоки на железобетонный сердечник с расчетным натяжением, обеспечиваемым в простейших станках весом груза, натяжение на проволоку от которого передается с помощью системы запасованных блоков, а в более совершенных — гидравлическим давлением.

На рис. 7 показан станок, применявшийся для навивки предварительно напряженной проволоки на сердечники труб диаметром до 900 мм в г. Рустави. Проволока навивается в холодном состоянии при непрерывном контроле натяжения манометром. Величина натяжения проволоки и шаг витка спирали задаются расчетом в зависимости от требуемого предварительного обжатия бетона. Необходимый шаг спирали (обычно около 25 мм) обеспечивается суппортом,двигающимся с поступательной скоростью параллельно продольной оси станка. На суппорте смонтированы: гидравлический пресс с натяжными роликами, бухта для проволоки и пульт управления. Труба закрепляется в планшайбах, которые вращают ее, обеспечивая равномерную навивку проволоки.

Существенным недостатком ранних моделей навивочных станков было то, что труба, закрепленная в планшайбах, изгибалась под влиянием натяжения навиваемой проволоки, в результате чего в стенках трубы возникали нежелательные напряжения растяжения. В конструкции данного станка этот дефект устранен. Однако из-за малых габаритов станка на нем можно навивать проволоку на трубы диаметром только до 900 мм.

Дальнейшим усовершенствованием станка явилась установка для

навивки проволоки на трубы практически любого диаметра, изготовленная и смонтированная на полигоне в г. Рустави. Основным отличием этой установки является размещение суппорта и устройств гидравлической системы натяжения на эстакаде, расположенной под навиваемой трубой.

Последней ступенью изготовления трубы по трехступенчатой технологии является нанесение на наружную поверхность железобетонного сердечника защитного слоя из цементного раствора толщиной обыч-

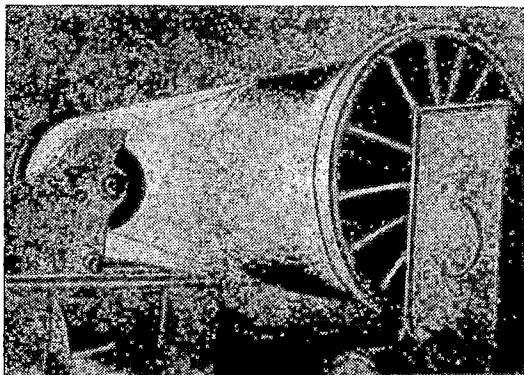


Рис. 7. Станок для навивки предварительно напряженной спирали на железобетонный сердечник труб

ной в пределах от 15 до 25 мм, в зависимости от конструкции труб и условий их укладки. Перед нанесением защитного слоя поверхность бетона и навитой на него спиральной арматуры должна быть тщательно очищена железными щетками и промыта. Цементный раствор состава 1:2 наносится на разных предприятиях по-разному: торкретированием, обетонированием в металлической опалубке, обетонированием с вибрацией из вибробункеров, подающих раствор на поверхность медленно вращающейся трубы, и другими способами.

От качества защитного слоя, его прочности и плотности зависит сохранность металлической спирали или стального сердечника, а следовательно, и обеспечение несущей способности трубы. Поэтому весьма целесообразным является способ устройства защитного слоя с предварительным обжатием.

На ряде наших предприятий, в целях повышения плотности и водонепроницаемости стенок труб, для защитного слоя используют раствор с применением расширяющегося высокопрочного цемента, который наносится торкретированием. В связи с особенностью химического состава этого цемента требуется при его использовании руководствоваться, во избежание появления коррозии металла, соприкасающегося с расширяющимся цементом, специальными указаниями, разработанными б. ЦНИИПСом.

Прочность защитного слоя следует повышать путем тепловлажностной обработки и последующего хранения трубы во влажной среде.

Производство предварительно напряженных труб виброгидропрессованием (вибропрессованием) по одноступенчатой технологии. Стремление упростить и удешевить производство напорных труб путем сокращения количества технологических операций и создать еще более трещиноустойчивую трубу за один процесс обусловило поиски технологии, которая получила наименование одноступенчатой.

Одноступенчатая технология была предложена Фрейссине и затем усовершенствована в Швеции. Фирмой «Сентаб» трубы изготавливаются диаметром от 500 до 1800 мм. Форма для трубы каждого диаметра составлена из двух частей: внешней и внутренней. Внешняя состоит из двух полуформ, скрепленных между собой пружинными тарированными болтами, допускающими раздвижку полуформ в процессе гидропрессования бетонной смеси. Внутренняя часть формы включает стальной цилиндр с двойными стенками, на который надет резиновый чехол.

Последовательность технологического процесса следующая.

Сначала собирается наружная форма с натягаемой на ней продольной арматурой и вставленным в форму каркасом спиральной арматуры из высокопрочной проволоки. Затем собирается вся форма в целом, после чего она поступает на стенд для укладки бетонной смеси с вибрированием. Заполненная форма передается в отделение гидропрессования. Горячая вода с температурой 70—90°С под давлением до 30 ат нагнетается между внутренней формой и резиновым чехлом и обжимает свежесложенную смесь. Бетонная смесь, раздвигая наружные полуформы, натягает попутно высокопрочную спиральную арматуру. В таком напряженном состоянии спрессованная бетонная смесь с находящейся в ней предварительно напряженной спиральной и продольной арматурой остается под давлением горячей воды в течение времени, необходимого для приобретения бетоном прочности не ниже 70% от расчетной. Готовая железобетонная напорная труба освобождается из формы и после обработки концов трубы она проходит испытание гидравлическим давлением.

Большим достоинством этой технологии является замена трех операций — формования сердечника, навивки напряженной спирали и нанесения защитного слоя — одной технологической операцией, в результате чего достигается большой технический эффект — получение однородного сечения стенки трубы, одинаково напряженного в любом месте, включая и защитный слой арматуры. В связи с исключением двух операций достигается большая сохранность трубы, предупреждаются отколы и волосные трещины, появление которых возможно при ударах во время перемещений трубы внутри цеха. Предварительное напряжение спиральной арматуры в бетонной смеси в результате гидропрессования происходит без рывков и толчков, что предохраняет проволоку от обрывов.

Недостатком такой технологии является трудность осуществления контроля за натяжением спиральной арматуры (в процессе натяжения она скрыта от оператора). Внедрение этого способа производства осложняется также необходимостью тщательной отработки оборудования для формования и гидропрессования труб и потребностью в значительном количестве высококачественных резиновых чехлов.

Как указывалось, производство напорных труб с помощью виброгидропрессования широко внедряется в нашей стране.

В НИИЖБ разработан одноступенчатый технологический процесс изготовления труб с применением так называемого «натягающего цемента», состоящего из строго определенной смеси портландского, глиноземистого цемента и гипса. Прочность раствора на этом цементе состава 1:1 в возрасте 28 суток достигает 600 кг/см². Характерной особенностью такого цемента является расширение его при твердении — линейное расширение призм из указанного раствора составляет 5—6% и более. Это свойство раствора используют для напряжения каркаса арматуры из высокопрочной проволоки, заложенного в форму трубы. Раствор можно наносить центрифугированием, торкретированием или вибрированием. После формования трубы и приобретения цементным камнем прочности 100—120 кг/см² трубы должны подвергаться гидротермообработке в воде в течение 2—6 ч при температуре 70—100°С. При этом происходят увеличение объема бетона и напряжение арматуры. В результате самонапряжения бетонных стенок трубы в форме в процессе твердения после распалубки получается предварительно напряженная труба. В экспериментальном порядке в НИИЖБ были получены центрифугированием напорные трубы диаметром 600 мм с толщиной стенки 50 мм, выдержавшие испытательное давление свыше 10 ат.

Глава III

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

1. ЦЕМЕНТЫ И ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНА

Бетон для железобетонных напорных труб должен быть прочным, плотным, водонепроницаемым и обладать высокой сопротивляемостью действию агрессивной среды. При изготовлении предварительно напряженных труб целесообразно применять бетон возможно большей прочности, так как это позволит: уменьшить толщину стенок труб и тем самым снизить их вес; сократить потери предварительного напряжения в арматуре и бетоне благодаря тому, что высокопрочный бетон менее подвержен ползучести и усадке; воспринимать бетоном напряжения обжатия от спиральной предварительно напряженной арматуры, достигающие 150 кг/см^2 и более; повысить точность изготовления труб с минимальными допусками.

Практикой изготовления напорных труб в Швеции, Голландии и других странах подтверждается целесообразность применения бетона марки 600 и выше.

Учитывая, что при изготовлении труб по трехступенчатой технологии спиральная арматура навивается на железобетонный сердечник и не требуется ее заанкеривания в бетоне, в настоящее время следует считать обязательным, исходя из указанных выше соображений, применять марку бетона для напорных труб 400—500 и в дальнейшем стремиться к ее возможному повышению. В напорных трубах применение бетона высокой прочности целесообразно также и потому, что с повышением марки бетона увеличиваются его модуль упругости и сопротивление растяжению (табл. 9).

Таблица 9

Нормативные сопротивления осевому сжатию (призменная прочность), растяжению и модули упругости бетона в зависимости от марки, в кг/см^2

Показатели	Марки бетона				
	200	300	400	500	600
Сжатие осевое (призменная прочность)	145	210	280	350	420
Растяжение	16	21	25	28	30
Модуль упругости	290 000	340 000	380 000	410 000	430 000

Чтобы обеспечить соответствующее качество бетона для изготовления труб, необходимо предъявить ряд требований как к материалам для бетона — цементам, добавкам к ним и заполнителям, так и к подбору состава бетона, технологии его приготовления, укладки и твердения.

Цементы. При изготовлении железобетонных напорных труб могут быть использованы цементы по ГОСТ 10178—62: портландцемент нормальный и его разновидности: пластифицированный, быстротвердеющий, гидрофобный, сульфатостойкий, с умеренной экзотермией; шлакопортландцемент и его разновидности: быстротвердеющий и магнезиальный.

Кроме того, могут быть использованы пуццолановый и сульфатостойкий пуццолановый, а также глиноземистый цемент по ГОСТ 969—66.

Для производства труб следует применять цементы наиболее высоких марок, а именно: портландцемент, пластифицированный и гидро-

фобный портландцемент — 450 и 500; шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент — 400 и 450; шлаковый магнезиальный — 400; сульфатостойкий портландцемент и пуццолановый портландцемент.

Быстротвердеющий портландцемент должен иметь предел прочности при сжатии в образцах из раствора с нормальным песком состава 1:3 через 3 суток твердения не менее 200 кг/см^2 , а быстротвердеющий шлакопортландцемент — не менее 150 кг/см^2 ; через 28 суток для обоих цементов — не менее 350 кг/см^2 .

При выборе цемента необходимо учитывать требования, предъявляемые к прочности, водонепроницаемости и сопротивлению агрессивной среды бетона труб, а также к условиям их производства. Так, при формировании труб центрифугированием пригоден портландцемент с введением гидравлических тонкомолотых добавок (гранулированные шлаки, топливные золы, известняки и пр.) в количестве до 15%; такие добавки не вызывают осложнений при центрифугировании. При изготовлении труб другими способами выбор цементов исходя из условий технологии формирования труб не лимитируется. При выборе вяжущего следует предпочитать цементы с меньшей водопотребностью и лучшей удобоукладываемостью.

С точки зрения сохранности железобетонных труб в агрессивной среде целесообразно применять при изготовлении бетонных смесей сульфатостойкие портландцемент и шлакопортландцемент, предназначенные для использования в конструкциях, работающих в условиях сульфатной агрессии и попеременного увлажнения или замораживания и оттаивания.

При укладке труб в минерализованных водах для их изготовления рекомендуется применять шлакопортландцемент, глиноземистый цемент, а в слабоминерализованной или пресной воде в условиях возможного систематического замораживания и оттаивания — портландцемент с умеренной экзотермией.

Глиноземистый цемент не следует применять для изготовления труб, находящихся в условиях агрессивных вод, содержащих кислоты и концентрированные растворы щелочей; шлакопортландцемент — для труб, работающих в условиях сточных промышленных и болотных вод, содержащих свободные кислоты, а портландцемент — в условиях воздействия на трубы морской и минерализованной воды.

В зарубежной практике применяются различные специальные коррозионностойкие цементы, характеризующиеся малым содержанием трехкальцевого алюмината: «каликрет», «сульфадур», «тип У», «дуратерм» и др.

Применение среднеактивных портландцементов возможно для получения высокопрочных бетонов с расходом цемента от 400 до 600 кг/м^3 . Поэтому для изготовления предварительно напряженных труб следует применять цементы марок не ниже 400 во избежание значительного перерасхода цемента. Наиболее экономичными для высокопрочных бетонов следует считать цементы марок 500 и выше.

Рекомендуется, чтобы активность цемента составляла не менее 120% от марки бетона, т. е. чтобы $R_{ц} \geq 1,2 R_b$ (например, для получения бетона марки 500 следует применять цементы активностью не ниже 600 кг/см^2). Активность цемента повышается с увеличением тонкости помола. Для приготовления высокопрочных бетонов рекомендуется использовать цементы с удельной поверхностью не менее $3000 \text{ см}^2/\text{г}$. При необходимости активность обычного портландцемента можно повысить путем сухого или мокрого домола.

Быстрое твердение бетонной смеси в короткие сроки можно получить без добавок путем применения глиноземистого цемента, показатели прочности которого приведены в табл. 10.

Однако глиноземистый цемент пока по стоимости почти в 4 раза дороже портландцемента. Наиболее прогрессивным для массового производства железобетонных изделий является быстротвердеющий портландцемент, выпуск которого освоен отечественной промышленностью.

Добавки к цементам применяются в различных целях: для ускорения твердения бетонной смеси (гипс, хлористый кальций и др.); для повышения ее удобоукладываемости (сульфитно-спиртовая барда, древесно-пековый микронаполнитель ЦНИИПС-1 и др.); для повышения водонепроницаемости бетона (хлористый кальций, гидроокись алюминия, кремнекислый натрий, нерастворимые в воде битумные эмульсии, известняковая мука и др.).

Эффективно действуют ускорению твердения бетона добавки гипса. Так, прочность бетона, приготовленного на высокоалюминатном цементе с содержанием трехкальцевого алюмината более 8% с повышенной добавкой гипса, по сравнению с обычным бетоном (без гипса) в возрасте 1 суток выше в 2,14—4,66 раза и в возрасте 28 суток и более — в 1,1—1,45 раза. При этом через сутки прочность такого бетона составила при $V/C=0,4$ от 200 до 300 $кг/см^2$ и при $V/C=0,35$ — от 300 до 475 $кг/см^2$. Необходимо отметить, что в этом бетоне даже в условиях переменной влажности коррозии арматуры не наблюдалось.

Аналогичные данные о влиянии добавки гипса на повышение активности цемента и ускорение твердения бетона получены рядом исследователей. Накоплен богатый материал, иллюстрирующий большое значение добавки хлористого кальция для повышения прочности бетона, ускорения твердения в обычных температурных условиях и при пропаривании, снижения расхода цемента, уменьшения жесткости бетонной смеси, понижения температуры пропаривания, устранения неравномерности изменения объема цемента и увеличения водонепроницаемости бетона. Однако, несмотря на большие преимущества этой добавки к цементу в производстве железобетонных напорных труб, применение хлористого кальция должно быть исключено. Исследования НИИЖБ и ряда зарубежных лабораторий показали, что процесс коррозии арматуры в тонкостенных конструкциях в присутствии добавки хлористого кальция усиливается, если арматура находится в условиях повышенной (более 65%) или переменной влажности. Эта добавка к цементу, используемому для производства напорных труб, представляет серьезную опасность — в бетонной стенке трубы хлористый кальций создает среду, содействующую усиленной коррозии тонкой предварительно напряженной проволоки и последующему быстрому ее разрыву.

Гравий и щебень. Повышенные требования к бетонам обуславливают соответствующие требования к заполнителям, стоимость которых составляет, как известно, около половины стоимости всех материалов, входящих в состав бетона. В качестве крупного заполнителя в бетонах для напорных труб могут применяться щебень или гравий, отвечающие требованиям ГОСТ 10260—62 и ГОСТ 8268—62. Глины, ила и мелких пылевидных частиц в заполнителях должно быть не более 1% по весу. Содержание зерен слабых пород в щебне и гравии не должно быть по весу более 10%.

Заполнитель следует выбирать по возможности из местных материалов, исходя из сравнительной оценки всех их качеств: прочности,

Таблица 10

Показатели прочности глиноземистого цемента		Предел прочности при сжатии в $кг/см^2$ цемента марки		
Возраст				
		400	500	600
1	сутки	350	450	500
2	сутки	400	500	600

породы камня и его минералогического состава, характера поверхности и ее загрязненности, влияющих на сцепление с цементным камнем, а также стоимости добычи, доставки, обогащения и т. д.

Гравий имеет катанную гладкую поверхность, поэтому бетон с применением гравия обладает более высокой удобоукладываемостью, чем бетон со щебнем. Благодаря этому в гравийных бетонах при некоторых лабораторных исследованиях наблюдалась даже экономия (10—15%) расхода цемента. Однако гравий характеризуется значительно худшим сцеплением с цементным камнем, чем щебень, представляющий собой куски угловатой формы с шероховатой поверхностью. Поэтому прочность гравийного бетона по сравнению со щебеночным при одинаковом B/C понижается на 20% и более.

Показательными в этом отношении являются исследования прочности бетона, приготовленного с применением различных заполнителей, в лаборатории Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта. Результаты испытаний приведены в табл. 11.

Таблица 11

Прочность бетонов с различными заполнителями

Состав бетона	B/C	Предел прочности бетона при сжатии в кг/см^2 в возрасте								
		3 суток			7 суток			28 суток		
		со щебнем	с гравием	соотношение в %	со щебнем	с гравием	соотношение в %	со щебнем	с гравием	соотношение в %
1:0,84:2,16	0,27	418	352	85	586	412	70	740	589	80
1:1:2,45	0,35	300	295	98	455	318	70	610	470	77
1:1,2:2,8	0,4	237	220	93	301	335	111	522	525	101

По данным проведенных исследований можно заключить, что с применением гравия можно получить прочность бетона при $B/C=0,27$ и $B/C=0,35$ хотя и ниже щебеночного на 20—23%, но все же весьма высокую: $R_{28}=470 \div 589 \text{ кг/см}^2$. Все же для приготовления высокопрочных бетонов использование гравия менее целесообразно, чем щебня, так как в жестких смесях (особенно с малой крупностью зерен заполнителя — до 20 мм) более слабое сцепление поверхности зерен гравия с цементным камнем выявляется рельефнее.

При оценке качества крупных заполнителей существенное значение имеет их прочность. Значительное влияние на прочность бетона могут оказать также коэффициенты линейных деформаций щебня и гравия. Если коэффициент линейного расширения крупных заполнителей существенно отличается от коэффициента расширения бетона в целом, то при увлажнении, высыхании или изменении температуры бетона в нем возникают напряжения, которые, складываясь с напряжениями от внешних сил, могут явиться причиной разрушения бетона.

В соответствии с ГОСТ 10268—62 марка щебня по прочности исходной горной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии (ГОСТ 8267—64) должна быть выше марки бетона: не менее чем в 1,5 раза — для бетона марок не ниже 300; не менее чем в 2 раза — для бетона марок 300 и выше. Учитывая, что для труб должен применяться бетон марки 400—500, необходимо, чтобы прочность каменной породы удовлетворяла более высокому требованию, а именно: $R_{\text{ш}} \geq 2R_b$.

При исследовании влияния прочности заполнителей на прочность бетона установлено, что при марке бетона до 300 значения прочности породы камня от 600 кг/см^2 и выше не оказывают влияния на конечную

прочность бетона; при марке бетона выше 300 значения прочности породы камня от 600 кг/см^2 и выше оказывают влияние на достигаемую прочность бетона; прочность породы камня или гравия значительно влияет на конечную прочность бетона, если последняя выше прочности крупных заполнителей.

Чтобы принять правильное решение о выборе крупного заполнителя, необходимо рекомендовать во всех случаях испытывать его в бетоне. При этом, во-первых, необходимо получить высокопрочный бетон заданной марки с использованием принятого заполнителя и, во-вторых, получить бетон с минимальной стоимостью и минимальным расходом цемента.

Использование гравия для бетонов (особенно высоких марок) осложняется тем, что минералогический состав его обычно весьма разнообразен. Часто в одном месторождении наряду с зернами гранитов и кварцитов пород имеются зерна карбонатных пород, песчаников и различных других слабых пород. Иногда доминирующими среди составляющих гравий пород являются пористые известняки, которые нельзя применять даже для бетонов марок 300—400 из-за низкой прочности, а для труб — из-за их водопроницаемости. Если гравий состоит из прочных пород, его целесообразно дробить, превращая в щебень. Прочность бетона на таком гравии возрастает на 10—15%.

В некоторых зарубежных странах в целях упорядочения вопроса с применением гравия для бетонов введено разделение его на группы по прочности слагающих пород, что дает возможность более правильно регламентировать применение гравия. До введения подобной классификации гравий обычно рекомендовался для массового применения в бетонах с прочностью не более 200 кг/см^2 . В более прочных бетонах гравий следует применять только после испытаний его непосредственно в бетоне, в результате чего могут быть достигнуты и весьма удовлетворительные результаты, как это показано выше. Однако во всех случаях, когда по экономическим и техническим соображениям это возможно и целесообразно, следует отдавать предпочтение щебню.

Для приготовления высокопрочных бетонов рекомендуется применять щебень из плотных изверженных и прочных осадочных пород с пределом прочности при сжатии не менее 1000 кг/см^2 (гранит, сиенит, диорит, гнейс, кварцит и др.). При отсутствии такого камня возможно употребление более слабых пород. ГОСТ 10268—62 рекомендуется применять для бетонов щебень марок: а) изверженных пород — не ниже 800; б) метаморфических пород — не ниже 600; в) осадочных карбонатных пород — не ниже 400.

Для изготовления напорных труб щебень известняковых пород может быть допущен при любых условиях прочностью не ниже 600 кг/см^2 . При выборе щебня следует также учитывать, что известняковый щебень способен впитывать (отбирать) воду из свежееуложенной бетонной смеси и тем самым он уменьшает водоцементное отношение и повышает прочность бетона.

При заполнителе из твердого камня получают не только более прочный бетон, но и менее истираемую внутреннюю поверхность железобетонных напорных труб.

Правильное фракционирование крупных заполнителей обеспечивает постоянство технологического процесса на заводе, позволяет повысить однородность бетона и в ряде случаев снизить расход цемента. Особое значение это имеет для жестких бетонных смесей в связи с их большой чувствительностью к изменениям состава.

Крупность зерен щебня или гравия при изготовлении железобетонных труб принимается в среднем равной $\frac{1}{3}$ ($\frac{1}{4}$ — $\frac{2}{5}$) толщины стенки трубы и не более 20 мм. В трубах со стенками толщиной 100 мм и бо-

лее возможно применение заполнителя крупностью до 30 мм, однако при том условии, чтобы зерна его проходили между стержнями арматуры. Лучшая форма зерен крупного заполнителя кубическая. Рекомендованная ранее граница минимальных размеров зерен крупных заполнителей 5 мм в настоящее время снижена до 3 мм, исходя из соображений целесообразности использования отходов камнедробильных заводов, а также учитывая, что в применяемых у нас песках отсутствуют крупные фракции (3—5 мм) и их целесообразно заменять мелкими фракциями щебня.

НИИЖБ рекомендует следующее соотношение между фракциями крупных заполнителей в составе бетона при предельной крупности зерен щебня или гравия 20 мм: 30% фракций 3—10 мм и 70% фракций 10—20 мм. В зарубежной практике чаще встречается рассев заполнителей на три фракции: 5—7; 8—12 и 13—20 мм.

При изготовлении железобетонных напорных труб на различных предприятиях в зависимости от характеристики применяемых заполнителей их зерновой состав подбирается по-разному. Так, в Закавказьезметаллургское для получения марки бетона 400 при изготовлении труб с толщиной стенки 80 мм используется щебень фракций 5—10; 10—15 и 15—20 мм из местного камня, имеющего предел прочности при сжатии 800 кг/см², и песок крупностью 0,2—0,5 мм, получаемый в виде отходов при дроблении камня. На шведском заводе, изготавливающем трубы «примо» с толщиной стенки 60—70 мм, для получения бетона марки 600—700 используются заполнители с фракциями зерен песка 0—0,5; 0,5—1; 1—2; 2—3 мм и щебня до 8 мм. На голландском заводе «Аркел» для изготовления труб с толщиной стенки 60—85 мм из бетона марки 600—700 применяются заполнители нескольких фракций с крупностью зерен песка до 5,5 мм и щебня 10—20 мм. В американской практике для изготовления труб больших диаметров с толщиной стенки 20 и 30 см применялся бетон марки 400 с заполнителями нескольких фракций песка до 6 мм и щебня от 6 до 25 мм.

Особо важным вопросом при изготовлении железобетонных тонкостенных труб является организация предварительного обогащения заполнителей. За рубежом на ряде известных нам даже временных предприятий по производству труб были построены специальные обогатительные установки для заготовки высококачественных заполнителей, чем в значительной степени обеспечивалось необходимое качество бетона и труб. Заполнители для высокопрочных и плотных бетонов следует применять только чистыми, хорошо промытыми, без содержания вредных примесей (глины и др.), которые понижают прочность бетона; особое внимание необходимо обращать на очистку заполнителей от обволакивающих их пылевидных частиц тонкостью менее 0,15 мм.

Исследованиями советских и зарубежных специалистов доказано, что хорошая промывка крупных заполнителей повышает прочность бетона от 10 до 20% благодаря улучшению сцепления их очищенной поверхности с цементным камнем. Поэтому в зарубежных странах (в ЧССР, ГДР, Венгрии, Польше, а также в Швеции, Англии, Голландии, Франции и других странах) при производстве труб исключительное внимание уделяется вопросу обогащения заполнителей.

Песок. Большое значение для повышения прочности бетона труб имеет также правильный и тщательный подбор состава песка. Для приготовления бетонных смесей рекомендуется применять кварцевый, гранитный, полевошпатовый или из твердых известковых пород песок с крупностью зерен от 0,15 до 5 мм, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736—67. По этому ГОСТу содержание в песке ила, глины и пылевидных частиц допускается для бетонов не более 3% по весу, в дробленом песке — не более 5%. Однако в практике строительства в боль-

шинстве случаев приходится получать пески значительно меньшей крупности и мелкозернистые пески. Часто используют среднезернистые пески, в которых отсутствуют фракции 3—5 мм.

Правильный подбор зернового состава песка оказывает существенное влияние как на прочность, так и на водонепроницаемость бетона труб. В связи с этим на ряде предприятий уже внедряют метод предварительной подготовки песка для бетонной смеси, смешивая 3 или 4 фракции его, чтобы удовлетворить заданным кривым просеивания, а пылевидные фракции из песка удаляют в целях снижения V/C и экономии цемента.

При решении вопроса о расходе песка следует учитывать, что последний зависит от крупности зерен щебня (гравия). Приготовление бетона на щебне требует большего расхода песка по сравнению с бетоном на гравии.

Одним из важных факторов, влияющих на удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона, является соотношение в смеси мелкого и крупного заполнителей, которое принято выражать относительным содержанием песка в смеси заполнителей по весу или объему (z). Чем меньше z в плотной нерасслаивающейся бетонной смеси данной подвижности, т. е. чем меньше песка по отношению к заполнителям, тем меньше водопотребность смеси, выше жесткость, больше расход цемента и выше прочность бетона. Однако следует учитывать, что для каждого вида крупного заполнителя существует предел z , ниже которого бетонная смесь расслаивается или теряет удобообрабатываемость независимо от ее подвижности и содержания цемента.

2. БЕТОНЫ

Структура высокопрочных бетонов. Наука о бетоне в последнее время обогатилась значительным количеством исследований, которые дают возможность теоретически запроектировать такой состав и структуру бетона, которые отвечают его заданной прочности и плотности.

Доказано, что прочность бетона, если он приготовлен на прочных, обогащенных и хорошо подобранных заполнителях, определяется прочностью цементного камня. При этом необходимо, чтобы расход цемента и воды на 1 м³ бетона был достаточным для получения удобоукладываемой бетонной смеси, а также такого количества цементного теста, которого хватило бы для связи зерен щебня или гравия в монолит и для заполнения пустот между ними.

Прочность цементного камня определяется его строением. Результаты исследований микроструктуры твердеющего цементного камня проф. А. Е. Шейкиным (МИИТ) показали, что взаимодействие цементных зерен с водой происходит через образующиеся вокруг зерен оболочки из продуктов гидратации (кристаллогидратов) цемента. Максимально возможная плотность цементного камня соответствует такой его структуре, когда вся зона свободной воды равномерно заполнена этими новообразованиями. Если новообразования заполнили только часть зоны свободной воды, структура цементного камня получается дефектной и характеризуется относительно невысокой плотностью и прочностью.

Для получения нормальной структуры цементного камня необходимо применять цементы тонкого помола, предохранять бетонную смесь от вовлечения в нее воздуха при перемешивании и укладке, использовать удобоукладываемость смеси, обеспечивать нормальный процесс гидратации цемента при твердении бетона и благоприятные влажностные условия твердения, исключаящие испарение воды в окружающую среду:

Гидратация цемента оказывает решающее влияние на прочность и плотность цементного камня и на расход цемента при получении высокопрочного и водонепроницаемого бетона. По данным А. Е. Шейкина, гидратация цемента прекращается, как только приблизительно половина воды затворения химически прореагирует с цементом; конечная степень гидратации цемента определяется величиной начального водоцементного

отношения и достигает наибольшей величины только при $V/C > 0,5$. Относительная плотность цементного камня находится при этом в обратной зависимости от V/C .

Значения степени гидратации цемента α в зависимости от величины начального V/C и соответствующие им значения относительной плотности цементного камня (d) при благоприятных условиях, исключающих возможность образования дефектных структур, приведены в табл. 12.

Таблица 12
Зависимость степени гидратации цемента и относительной плотности цементного камня от V/C

V/C	Степень гидратации цемента (α)	Относительная плотность (d)	V/C	Степень гидратации цемента (α)	Относительная плотность (d)
0,7	1	0,52	0,3	0,6	0,76
0,6	1	0,62	0,2	0,4	0,81
0,5	1	0,7	0,1	0,2	0,88
0,4	0,8	0,73	0,05	0,1	—

Из этих данных следует, что плотность цементного камня в условиях недефектной структуры увеличивается с уменьшением начального водоцементного отношения, или плотность цементного камня тем больше, чем меньше начальное V/C . Указанная зависимость представлена также графически на рис. 8.

Таким образом, при приготовлении высокопрочных бетонов с высокой плотностью необходимо применять низкое водоцементное отношение, т. е. жесткие смеси (так как значения плотности смесей связаны со значениями V/C обратной зависимостью), что влечет за собой повышенный расход цемента, причем при низких V/C полной гидратации цемента не будет, поскольку уже при $V/C < 0,5$ степень гидратации $\alpha < 1$.

Следовательно, в жестких бетонных смесях для значительной части цементных зерен (независимо от тонкости их помола) полная гидратация исключается, и такие цементные зерна выполняют роль микронаполнителей. Другими словами, степень полезного использования цемента в жестких бетонных смесях значительно снижается, но требуемая плотность цементного камня будет достигнута. Она может быть получена и в том случае, когда часть цемента будет заменена минеральной добавкой, например тонкомолотым кварцевым песком.

Повышение плотности цементного камня — один из важнейших факторов увеличения его прочности и повышения водонепроницаемости бетона. Результаты экспериментального изучения зависимости прочности цементного камня от его плотности изложены, в частности, в работе Б. Г. Скрамтаева «Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси».

Исследованиями установлено, что увеличение прочности цементного камня с повышением плотности находится приблизительно в следующей зависимости:

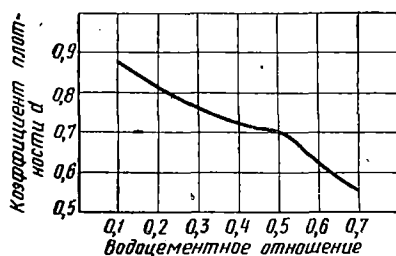


Рис. 8. Зависимость плотности цементного камня от водоцементного отношения

$$R = R_0 d^4,$$

где R — прочность цементного камня;

R_0 — прочность цементного камня при относительной плотности, равной единице;

d — относительная плотность.

Прочность цементного камня зависит и от ряда других факторов, среди которых укажем на фактор собственного напряженного состояния цементного камня. Собственные напряжения возникают в результате неравномерных усадочных или температурных объемных деформаций, вызывающих в кристаллическом сростке цементного камня растягивающие напряжения. Напряженное состояние со временем увеличивается и может привести к образованию трещин в отдельных местах твердеющего цементного камня.

Получение быстротвердеющих высокопрочных бетонов. Важнейшим условием обеспечения высокой прочности бетона является максимально

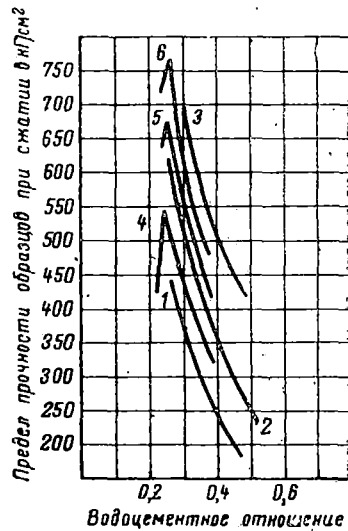
Таблица 13

Зависимость расхода цемента
в бетоне от B/C и количества воды

B/C	Расход воды в $л/м^3$	Расход цемента в $кг/м^3$
0,5	180	360
0,4	180	450
0,4	140	350

Рис. 9. Зависимость прочности
жестких бетонов от водоцементного отношения

1 — возраст бетона 3 суток; 2 — 7 суток; 3 — 28 суток (на портландцементе завода им. Воровского); 4 — возраст бетона 3 суток; 5 — 7 суток; 6 — 28 суток (на клинкерном цементе с добавкой 4% гипса)



возможное понижение водоцементного отношения и одновременно высокая степень уплотнения бетонной смеси. Относительная прочность бетона значительно возрастает во время его твердения как в естественных условиях, так и при тепловой обработке.

Зависимость прочности бетонов из жесткой смеси от водоцементного отношения, по экспериментальным данным Ленинградского института инженеров транспорта, показана на рис. 9.

Из этих данных следует, что оптимальное значение B/C , соответствующее наибольшей прочности бетона, составляет приблизительно 0,27. При B/C меньше и больше 0,27 прочность бетона убывает.

Для обеспечения твердения цемента требуется не более 16—18% воды от веса цемента. Вводимое в смесь при затворении значительно большее количество воды (до 50%), необходимое главным образом только для обеспечения удобоукладываемости бетона в форму, отрицательно влияет на его прочность.

Сравнивая прочность бетона в 28-суточном возрасте на цементе марки 600 и щебеночном заполнителе, но затворенных с различными водоцементными отношениями, получим: при $B/C=0,5$

$$R_{28} = 0,55 \cdot 600 \left(\frac{1}{0,5} - 0,5 \right) = 495 \text{ кг/см}^2;$$

при $B/C=0,3$

$$R_{28} = 0,55 \cdot 600 \left(\frac{1}{0,3} - 0,5 \right) = 938 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, водоцементное отношение, как правило, надо уменьшать за счет предельно возможного сокращения количества воды затворения, т. е. путем максимального уменьшения водопотребности бетонной смеси; сохранение одинакового количества воды при уменьшении B/C приводило бы к увеличению расхода цемента (табл. 13). Однако уменьшение B/C сверх определенных пределов снижает степень удобоукладываемости бетонной смеси и приводит к уменьшению прочности бетона.

Для получения заданной прочности высокоактивных бетонов необходимо применять наиболее эффективные способы уплотнения жесткой бетонной смеси, из которых при производстве труб используются: высокочастотное вибрирование, прессование, ступенчатое виброуплотнение с переменными частотой и амплитудой колебаний, центрифугирование. Применяются также и комбинированные способы, как, например: вибропрессование, центрифугирование с вибрированием и прессованием, центрифугирование с прессованием.

Жесткие смеси подразделяются на обычные жесткие с показателем жесткости 30—200 сек и особо жесткие с показателем жесткости более 200 сек. Использование смесей с высокими показателями жесткости имеет ряд технико-экономических преимуществ, однако требует применения специального бетоносмесительного, транспортного и формовочного оборудования, обеспечения большой точности дозирования цемента и воды, оборудования для пооперационного контроля технологического процесса и хорошо оснащенных складских помещений для хранения заполнителей. Учитывая эти требования, на практике следует ограничиться выбором таких показателей жесткости для применяемых бетонных смесей, которые можно обеспечить на данном предприятии или строительстве. В настоящее время на ряде заводов сборных железобетонных конструкций освоено применение бетонных смесей с показателем жесткости 200 сек.

Водопотребность жесткой бетонной смеси данного состава характеризуется тем количеством воды, при котором эта смесь может заполнить форму целиком и уплотниться до расчетного объемного веса¹ в заданный срок при помощи принятого уплотняющего оборудования, а бетон сможет приобрести в установленные сроки заданную прочность, определяемую испытанием тех же образцов, по которым устанавливался показатель удобоукладываемости.

Показатели водопотребности зависят от вида и расхода цемента, водоцементного отношения, зернового состава и крупности заполнителей, параметров уплотняющего оборудования и размеров формуемых изделий. Так, С. А. Миронов и Г. А. Аробелидзе в результате исследований бетонов с пластичной и малоподвижной жесткой смесями отмечают, что при изменении расхода цемента в бетоне от 200 до 800 кг/м³ и оптимальном зерновом составе заполнителей водопотребность смеси сначала несколько уменьшается или остается постоянной до расхода цемента около 400 кг/м³, а затем резко возрастает. Первоначальное увеличение расхода цемента приводит к уменьшению B/C и соответствующему повышению прочности бетона. Однако при возрастании водопотребности бетонной смеси влияние уменьшения водоцементного отношения становится все более незначительным и, наконец, полностью прекращается. В соответствии с этим постепенно убывает до нуля и величина первоначального прироста прочности бетона. Таким образом, увеличение расхода цемента сверх некоторого предела не сопровождается

¹ Расчетным объемным весом свежесушеной бетонной смеси называется вес всех компонентов смеси, сумма абсолютных объемов которых равна 1000 л.

ся повышением прочности бетона. Этот предел зависит в основном от удобоукладываемости бетонной смеси.

Зависимость прочности бетона от расхода цемента в суточном и 28-суточном возрасте показана на рис. 10.

В настоящее время на многих заводах железобетонных изделий с успехом применяются жесткие бетонные смеси для получения быстротвердеющих бетонов, прочность которых достигает через 1 сутки 160 кг/см^2 , через 3 суток — 250 кг/см^2 и через 7 суток — 340 кг/см^2 .

Укладка жестких бетонных смесей. Для достижения бетоном наибольшей прочности необходимо уложить бетонную смесь в форму таким образом, чтобы был достигнут ее расчетный объемный вес.

Для решения вопросов, связанных с выбором технологии производства предварительно напряженных конструкций, в том числе и напорных труб, интересны исследования, проведенные советскими учеными в области вибрации бетонных смесей, и, в частности, исследования в области влияния виброуплотнения на получение бетона высокой прочности.

Для уплотнения бетона с мелким щебнем или гравием в целях сокращения продолжительности вибрации и уменьшения B/C рекомендуется применять вибрирование повышенной частоты.

В связи с преимущественным употреблением при изготовлении предварительно напряженных конструкций, и особенно труб, мелкого щебня или гравия Б. Г. Скрамтаев исследовал влияние такого заполнителя на пластичность и удобоукладываемость бетонных смесей при вибрировании. Опытная укладка смеси производилась на виброплощадке с частотой колебаний около 2500 в 1 мин. Сравнением результатов опытов по удобоукладываемости бетонных смесей со щебнем различной крупности, но с одинаковым B/C было установлено, что бетон с мелким щебнем обладает меньшей удобоукладываемостью, чем бетон с крупным щебнем, и что для получения равной удобоукладываемости требуется увеличение B/C бетона с мелким щебнем, при этом прочность бетона резко снижается. Например:

при $B/C=0,44$ $R_7=400 \text{ кг/см}^2$
 » $B/C=0,6$ $R_7=229$ »

Оказывается, чтобы получить бетон на мелком щебне или гравии одинаковой прочности с бетоном на крупном щебне или гравии, необходимо увеличить продолжительность вибрации при укладке бетона. Результаты опытов по исследованию оптимальной продолжительности вибрации приведены в табл. 14.

Расход цемента в образцах был принят 510 кг/м^3 , содержание песка — в количестве 33% от общего веса заполнителей. Данные опытов показали, что лучшая удобоукладываемость бетонной смеси была получена при водоцементном отношении 0,325.

Особые условия уплотнения бетона создаются при центрифугировании вследствие изменения в процессе центрифугирования водоцемент-

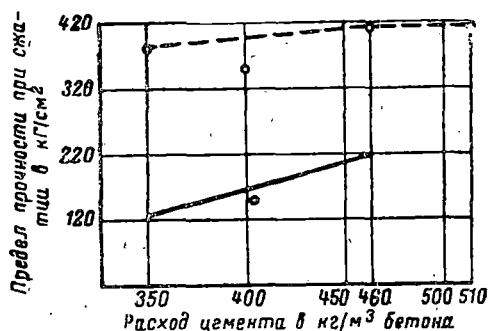


Рис. 10. Зависимость прочности бетона от расхода цемента (сплошной линией показана зависимость прочности бетона от расхода цемента в возрасте 1 суток, пунктирной — в возрасте 28 суток)

Зависимость прочности бетона от продолжительности вибрации

№ образца	Предварительное выдерживание отформованного образца до пропаривания	Предел прочности бетона при сжатии в кг/см^2 при продолжительности вибрации бетонной смеси в мин								
		4	6	8	4	6	8	4	6	8
		$B/C=0,3$			$B/C=0,325$			$B/C=0,35$		
1	0	267	313	320	350	313	293	334	313	282
2	2	377	359	357	359	451	282	378	434	357
3	4	202	291	342	375	477	359	436	402	397

ного отношения на 20—30% и более. На структуру и свойства такого бетона существенное влияние оказывают также способ загрузки и центрифугирования бетонной смеси и скорость вращения форм, т. е. факторы, в основном зависящие от конструкций центрифуг. Так, при центрифугировании бетонной смеси в сплошных формах (при так называемом отстойном центрифугировании) отжимаемая вода с взвешенными в ней особо тонкими частицами цемента и пылевидного заполнителя устремляется внутрь формы к центру вращения, образуя, с одной стороны, в уплотняемой массе бетона нежелательные «направленные поры» (которые, кстати говоря, могут быть нарушены специальной вибрацией формы) и, с другой стороны, на внутренней поверхности уплотненного бетона — непрочную корочку раствора толщиной до 3 мм с большим содержанием цемента. Крупный заполнитель стремится распределиться ближе к стенкам вращающейся формы. Для того чтобы обеспечить равномерное, без расслаивания, распределение составляющих бетона по толщине стенки, необходимо следить за правильным подбором состава и консистенцией загружаемой бетонной смеси.

При центрифугировании в перфорированных формах поток отжимаемой воды направлен в противоположную сторону — к отверстиям в стенках формы, защищенным фильтрационной тканью от вымывания через них цемента. Этот метод, по данным НИИЖБ, обеспечивает большую прочность бетона по сравнению с центрифугированием в сплошных формах. Так, при испытании кубиков размерами $10 \times 10 \times 10$ см из центрифугированного бетона (расход цемента 385 кг/м^3) было установлено, что прочность бетона на сжатие составила: при центрифугировании в сплошных формах 420—466 кг/см^2 , а в перфорированных 502—519 кг/см^2 .

Объемный вес центрифугированного бетона достигает 2500 кг/м^3 , а водопоглощение его 2—8% (по весу). В целях обеспечения наибольшей плотности бетона рекомендуется применять для центрифугированного бетона цементы марки не ниже 500 с расходом цемента 350—550 кг/м^3 , щебень с крупностью зерен до 15 мм и кварцевый песок крупностью 0,3—5 мм.

Влияние на прочность и плотность бетона амплитуды и частоты колебаний бетонной смеси при укладке, а также влияние длительности вибрирования исследовано А. Е. Десовым. Установлено, что ускорение частиц бетонной смеси при вибрировании является комплексной функцией влияния амплитуды и частоты колебаний. Изучение влияния величины амплитуды колебаний на увеличение прочности и плотности бетона подтвердило, что при определенных условиях возрастание амплитуды эффективно только до некоторого предела (так называемая предельная амплитуда колебаний). Повышение частоты колебаний, по данным А. Е. Десова, способствует значительному увеличению прочности бетона

особенно при мелкозернистых заполнителях с крупностью зерен 5—20 мм. Так, при частоте 7500 кол/мин увеличение прочности такого бетона достигало 20—35%, а при увеличении частоты до 12 000 кол/мин и после 3-часового пропаривания при температуре 100°С прочность возросла на 32% по сравнению с бетоном, который подвергался вибрированию с частотой 7500 кол/мин.

Кроме указанных преимуществ применение высокочастотной вибрации обеспечивает сокращение расхода цемента (при жестких смесях) и сроков пропаривания железобетонных изделий, увеличение производительности и уменьшение веса вибраторов при сохранении их мощности. Недостатком применения высокочастотных вибраторов является более быстрый износ механизмов, потребность в дополнительном оборудовании — преобразователях частоты (периодумформерах). Применяемая частота колебаний должна быть увязана с определенной амплитудой колебаний, так как при большой частоте, но очень малой амплитуде колебаний эффекта вибрирования не будет. При вибрировании подвижных бетонных смесей рекомендуется применять вибраторы с низкой частотой колебаний, при жестких смесях — с высокой: 4000—6000 кол/мин.

Доказано, что продолжительность вибрирования при заданном характере (частоте и амплитуде) колебаний оказывает существенное влияние на прочность бетона. Так, при укладке жесткой бетонной смеси состава 1:6 с крупностью щебня 10—20 мм, $z=0,37$, показателем удобоукладываемости смеси 105 сек, частотой 3000 колебаний в 1 мин и амплитудой колебаний 0,262 мм предел прочности бетона при сжатии в возрасте 7 суток составил: при вибрировании смеси в течение 10 сек — 108 кг/см² и в течение 60 сек — 183 кг/см², т. е. на 80% больше.

Продолжительность вибрирования может быть принята в зависимости от заданной амплитуды и частоты колебаний по графику, составленному в функциональной зависимости двух показателей для жестких бетонных смесей с различной удобоукладываемостью и V/C (см. указанную выше работу А. Е. Дёсова).

Влияние тепловой обработки. Если бетонная смесь твердеет в обычных условиях, то процессы твердения цементного камня происходят медленно. Так, работая с жесткими бетонными смесями на обычных портландцементях, можно получить после 1 суток их естественного твердения при температуре не ниже 20°С прочность бетона около 30% от заданной марки. При наличии выпускаемых сейчас быстротвердеющих цементов (или с применением ускорителей твердения) можно получить при жестких бетонных смесях в суточном возрасте прочность бетона около 40% от его марки. Дальнейшее повышение прочности бетона в односуточном возрасте до 60—70% от марки бетона может быть достигнуто только тепловлажностной обработкой. Таким образом, создание необходимых тепловлажностных условий среды является решающим для ускоренного бетона.

Тепловую обработку бетонной смеси, по данным ряда исследователей, рекомендуется производить после предварительного выдерживания отформованного изделия и с постепенным повышением температуры, а после пропаривания — с постепенным понижением температуры, во избежание появления в бетоне внутренних напряжений, которые могут повлиять на его конечную прочность. Опытами в производственных условиях было установлено, что для пропаривания бетонных смесей на портландцементе наивысшая рекомендуемая температура 80°С, на пуццолановом и шлакопортландцементе — 90°С. Наиболее рациональный режим пропаривания смеси при использовании указанных цементов (при максимальной температуре) был установлен 8—10 ч.

Возможность получения высокопрочных бетонов в короткий срок путем применения рационального режима пропаривания с предваритель-

ным выдерживанием подтверждена разными исследователями. Так, еще ранними работами В. И. Сорокера и А. А. Фалькова было доказано, что бетоны марок 400 и 500 на цементе марки 400 с добавлением 2% хлористого кальция и на гранитном щебне могут быть получены в течение 16 ч, из которых 2 ч продолжается предварительное выдерживание бетонной смеси в формах, 8 ч — пропаривание при температуре 80—90° С и 6 ч — выдерживание после пропаривания. Отмечается значительное влияние на прочность бетона предварительного выдерживания его в течение 2 ч перед пропариванием. В результате тех же исследований было доказано, что можно получить бетоны с аналогичной прочностью из жестких вибрированных смесей через 4—5 ч, но путем не пропаривания, а прогрева при температуре 80—90° С. В этих бетонных смесях расход цемента принимался приблизительно 500 кг/м³, водоцементное отношение 0,32—0,35, продолжительность вибрирования 4—6 мин. Приведенные результаты опытов показывают, что жесткие бетонные смеси с малым содержанием воды и значительным расходом цемента могут подвергаться не только пропариванию, но и прогреву, при этом в последнем случае технологический процесс может быть значительно ускорен.

Не говоря о большом значении ускорения оборачиваемости форм и замены пара подогретым воздухом, способ прогрева дает возможность организовать производство железобетонных сердечников напорных труб на полигонах, без частичной распалубки их в пропарочных камерах, что значительно упрощает производство.

Способность плотных (вибрированных) бетонов выдерживать резкий (без постепенного повышения температуры) режим прогрева объясняется их свойством удерживать влагу в мельчайших порах. Вода, находящаяся в капиллярах, удерживается при нагревании благодаря большой силе поверхностного натяжения, испаряясь только с очень малых поверхностей (менисков мелких пор). Это позволяет прогревать хорошо вибрированные бетоны с очень низким водоцементным отношением. Между тем бетоны с большим количеством воды начинают терять свою воду сразу, как только их начинают прогревать, причем потеря воды может быть настолько велика, что твердения бетона не произойдет.

Применяемые в производстве способы ускорения твердения бетона путем пропаривания при атмосферном давлении хотя и эффективны, но все же без добавления химических ускорителей твердения обеспечивают прочность бетона не более 60—70% заданной марки в общей сложности за 12—24 ч.

Более совершенным методом тепловой обработки бетонных смесей в настоящее время является обработка паром в автоклавах при давлении от 8 до 15 ат в течение 4—8 ч. При этом бетон после обработки может быть получен с заданной марочной прочностью или близкой к ней. Автоклавная обработка повышает долговечность и морозостойкость бетонов, а также увеличивает стойкость их против сульфатной агрессии в грунтовых водах. В технологии производства железобетонных труб, применяющейся на отечественных и зарубежных предприятиях, тепловая обработка паром под давлением не практикуется из-за больших габаритов труб.

Интересна идея тепловой обработки отформованных труб по методу фирмы «Сентаб Пайп» в Швеции, подробно изложенному в главе IX.

Обеспечение водонепроницаемости бетона. Водонепроницаемость бетона зависит от качества и расхода цемента, водоцементного отношения, введения добавок к цементу, гранулометрического состава, качества крупных заполнителей и песка и соотношения между ними, а также от условий укладки и твердения бетона. Установлено, что значительное влияние на водонепроницаемость оказывает возраст бетона. Многие исследователи также считают необходимым условием для во-

донепроницаемых бетонов содержание в песке мельчайших фракций — песчаной муки с крупностью зерен до 0,25 мм.

В процессе приготовления бетонной смеси должен производиться теоретический и практический контроль.

Теоретический контроль результатов расчета и подбора состава водонепроницаемого бетона сводится к установлению такого количества цементного теста, которого было бы достаточно для обволакивания поверхности песка и щебня и заполнения всех пор между заполнителями.

Практический контроль заключается в определении лабораторным путем пробных замесов для получения бетонной смеси нужной консистенции и в испытании контрольных образцов. Рекомендуется изготовлять не менее трех образцов, которые затем испытывают в возрасте 7 и 14 суток. При неудовлетворительных результатах испытание образцов на водонепроницаемость рекомендуется производить в возрасте 28 суток. Простейший способ контроля — испытание цилиндрического бетонного образца диаметром 15 см и высотой 30 см односторонним гидравлическим давлением в 35 ат. Бетон считается водонепроницаемым, если противоположная сторона цилиндра при испытании в течение 2 суток остается сухой.

В настоящее время применяются различные способы оценки водонепроницаемости бетона: по коэффициенту фильтрации; количеству воды, профильтровавшейся через образец при определенном режиме давления; по количеству атмосферо-часов до появления и просачивания воды через образец; по наибольшему давлению, выдерживаемому испытываемым образцом без появления отпотевания, и т. д.

Отечественными исследователями в качестве показателя водонепроницаемости бетона рекомендуется «коэффициент фильтрации», в меньшей степени зависящий от конструкции прибора, размеров, формы образца и длительности испытания. Этот показатель, как известно, входит составным элементом в формулу Дарси, устанавливающую связь между потерей напора и расходом жидкости.

Формула Дарси применительно к фильтрации воды через бетон имеет вид

$$Q = c \frac{f \Delta p^2}{L},$$

где Q — расход воды за единицу времени; c — коэффициент фильтрации; f — площадь фильтрации; Δp — потеря напора; L — длина пути фильтрации воды.

Коэффициент фильтрации бетонного образца определяется по этой формуле при установившемся режиме просачивания, когда за единицу времени при постоянном давлении через образец будет проходить одно и то же количество воды. При испытании поверхностные слои с образца следует удалить, чтобы они не влияли на результаты эксперимента.

Кроме указанного относительно трудоемкого и длительного способа испытания бетона на водонепроницаемость могут применяться испытания бетона по ускоренной методике, когда степень водонепроницаемости может быть установлена по наибольшему давлению, выдерживаемому образцом, или по количеству профильтровавшейся воды.

Водонепроницаемость бетона зависит также от объема и характера пор в нем. Необходимо получить такую структуру пор, которая допускала бы наименьшую степень фильтрации воды. Основное значение для образования необходимой структуры пор имеет период формирования цементного камня. В процессе твердения цементного камня происходит образование жесткого скелета раствора и уплотнение (усадка) цементного геля. Последний при уплотнении может либо разрушить непрочный скелет из кристаллического сростка, либо сформироваться вокруг него,

если он окажется достаточно прочным. Установлено, что разрушение кристаллического сростка и усадка всего цементного камня происходят при твердении портландцемента как в воздушно-сухих, так и в воздушно-влажных условиях, — усадка гелеобразной составляющей настолько значительна, что скелет цементного камня не может ей воспрепятствовать. В этом случае образование структуры пор происходит вокруг жесткого песчаного каркаса, поэтому уменьшить размеры пор можно путем применения мелкого песка. Если песка будет недостаточно, т. е. в растворе не будет песчаного каркаса, за усадкой цементного камня следует усадка раствора, а вслед за ней и усадка бетона. Если в бетоне больше щебня, чем песка, то образуется жесткий щебеночный скелет, и усадка раствора между щебнем вызовет образование усадочных трещин, которые увеличат водонепроницаемость бетона.

При формировании структуры цементного камня распределение пор происходит относительно равномерно по всему объему и диаметр их получается минимальным. Образование такой структуры цементного камня (а следовательно, и бетона) возможно в результате повышения скорости гидратации цемента путем применения цементов с повышенным содержанием алюминатных минералов, которые в присутствии гипса обеспечивают быстрый рост жесткого скелета цементного камня, или введения в цемент в этих же целях добавок типа полуводного гипса; добавления тонкомолотых веществ, участвующих в формировании кристаллических образований скелета цементного камня; уменьшения V/C .

Наилучшим цементным вяжущим для водонепроницаемого бетона являются безусадочные цементы типа гипсоглиноземистых, обеспечивающие уменьшение V/C , увеличение скорости гидратации и роста кристаллических новообразований. Такие вяжущие обуславливают образование мелкопористой структуры в цементном камне.

Рядом исследовательских работ подтверждено, что водонепроницаемость бетона увеличивается с увеличением расхода цемента, однако до предела, выше которого это увеличение становится опасным в связи с образованием усадочных трещин в жирном растворе.

Структуру бетона кроме процессов гидратации цемента определяют правильный подбор состава бетона и режим виброуплотнения. При выборе состава водонепроницаемого бетона рекомендуется производить в первую очередь исследование усадочных свойств вяжущего, причем в портландцементы для уменьшения усадки вводятся тонкомолотые добавки и ускорители гидратации. Вяжущие для бетонов не должны давать в образцах усадочных трещин. Затем определяют количество крупных заполнителей и цементного раствора с учетом пустотности заполнителей на 1 м^3 бетона; выбирают консистенцию раствора и его водоцементное отношение. Последнее определяют в зависимости от требуемой водонепроницаемости и прочности бетона. Состав раствора устанавливают опытным путем. Зная объем раствора, подбирают все необходимые материалы на 1 м^3 бетона. Попутно необходимо отметить, что, по имеющимся опытным данным, обеспечение водонепроницаемости бетона при использовании жестких бетонных смесей оказывается значительно более трудным, чем получение высокопрочных и быстротвердеющих бетонов.

Своеобразно сказывается на водонепроницаемости бетона влияние водоцементного отношения. Так, при одинаковом V/C для разных смесей наблюдались различные показатели их водонепроницаемости. Это объясняется различным характером пор в бетоне, образование которых зависит от многих причин, и в частности от V/C . Для получения водонепроницаемого бетона во всех случаях рекомендуется определять оптимальное значение V/C , зависящее от вида цемента, добавок к нему и принятого способа укладки смеси.

Большое значение для водонепроницаемости бетона имеет способ уплотнения бетонной смеси при укладке. Наибольший эффект достигается при вибрации.

Наилучшим условием твердения для водонепроницаемых бетонов является водная среда. При тепловой обработке бетонов рекомендуется избегать резких перепадов температур или давлений при автоклавной обработке, которые могут вызвать образование направленной пористости и повышение в связи с этим водонепроницаемости бетона.

Работами многих советских исследователей (В. М. Москвина, Н. Н. Серб-Сербиной, В. В. Стольников, В. И. Сорокера, Л. Б. Митгарца, И. И. Егорова, Ю. А. Саввиной и др.) показано, что водонепроницаемость бетона может быть значительно повышена в результате введения в бетон различных добавок: ускорителей твердения, улучшающих структуру цементного камня; тонкомолотых добавок, способствующих уплотнению цементного камня и сокращению величины пор; добавок типа гипса, реагирующих с составляющими цемент минералами и содействующих увеличению объема твердой фазы в цементе; пластифицирующих добавок, улучшающих удобоукладываемость бетонной смеси и уменьшающих водоцементное отношение; добавок в виде нерастворимых в воде эмульсий, заполняющих поры и обеспечивающих их несмазываемость.

Многие исследователи рекомендуют повышать водонепроницаемость бетона путем обработки его кремнийорганическими и другими гидрофобными составами, пропитки водостойкими материалами из искусственных смол и др.

Высокая водонепроницаемость бетона для железобетонных напорных труб была получена фирмой «Сентаб-Пайп» в Швеции путем доведения расхода цемента с активностью 600 кг/см^2 до $550\text{--}600 \text{ кг/м}^3$ бетона без добавок.

3. АРМАТУРА

При выборе стали для армирования предварительно напряженных железобетонных труб должны учитываться как расчетно-конструктивные, так и экономические соображения. По возможности следует использовать наиболее дешевую арматуру.

Для труб в качестве рабочей спиральной арматуры рекомендуется применять стальную проволоку диаметром $2,5\text{--}8 \text{ мм}$, углеродистую, холоднотянутую (ГОСТ 7348—63), а в качестве продольной — проволоку стальную холоднотянутую высокопрочную периодического профиля (ГОСТ 8480—63).

Для напорных труб без предварительного напряжения (для небольших напоров) в качестве арматуры может применяться сталь:

горячекатаная периодического профиля классов А-II и А-III (ГОСТ 380—60);

проволока стальная низкоуглеродистая холоднотянутая по ГОСТ 6727—53 диаметром от 3 до $5,5 \text{ мм}$ ($R_a^n = 5500 \text{ кг/см}^2$) и диаметром от 6 до 10 мм ($R_a^n = 4500 \text{ кг/см}^2$).

Для изготовления стальных цилиндров может применяться тонколистовая сталь толщиной от $0,8$ до 6 мм марки Ст. 3; для изготовления соединительных обечаек — листовая сталь толщиной $4\text{--}6 \text{ мм}$ из Ст. 0 и Ст. 3.

Конструктивная арматура должна изготавливаться из стали класса А-I и В-I или из стальной холоднотянутой проволоки по ГОСТ 6727—53 (с изменениями 68г).

Модуль упругости стали принимается для арматуры класса А-I рав-

ным $2\,100\,000\text{ кг/см}^2$, для классов А-III и А-IV — $2\,000\,000\text{ кг/см}^2$, для класса В-I — $1\,800\,000\text{ кг/см}^2$.

При выборе арматуры для предварительно напряженных конструкций следует иметь в виду, что стоимость проволоки возрастает с повышением ее предела прочности. С другой стороны, расход арматуры обратно пропорционален прочности стали. Выбор оптимального решения должен быть сделан путем сравнения вариантов, учитывающих конструктивные требования и экономическую целесообразность.

Назначая сталь с оптимальным пределом прочности, необходимо учитывать, что после натяжения арматуры происходит падение предварительного напряжения в результате усадки бетона под витками спиральной арматуры и многократно повторяющейся нагрузки. Оставшееся напряжение и будет рабочим напряжением арматуры, которое должно быть достаточным для обеспечения необходимого предварительного обжатия бетона. Потери напряжения арматуры для большинства обычных изгибаемых предварительно напряженных конструкций составляют весьма значительную величину. В трубах, изготавливаемых по трехступенчатой технологии, в которых напряженная арматура навивается на железобетонный сердечник с прочностью бетона, достигшей не менее 70% от расчетной, влияние ползучести и усадки бетона меньше. Однако общие потери напряжения в арматуре при изготовлении труб очень существенны и практически могут составить $1500\text{—}2000\text{ кг/см}^2$.

Поскольку в предварительно напряженных конструкциях не допускается появление трещин в бетоне, стальная проволока в таких конструкциях должна быть хорошо защищена от коррозии. В железобетонных трубах стальная предварительно напряженная проволока продольной арматуры находится в лучших условиях по сравнению со спиральной, так как последняя защищена слоем раствора меньшей толщины. Учитывая, что этот защитный слой является весьма ответственным с точки зрения предохранения спирали от коррозии, целесообразно рекомендовать делать его так же с предварительным обжатием, как и все сечение стенки трубы, или, еще лучше, изготавливать полное сечение стенки трубы одновременно способом виброгидропрессования.

К недостаткам высокопрочной проволоки относится плохая свариваемость. Сварка разрушает структуру высокопрочной проволоки, поэтому сращивание и закрепление последней при навивке на железобетонный сердечник должны выполняться без применения сварки.

Предел текучести среднеуглеродистых сталей может быть повышен до 6000 кг/см^2 путем холодной протяжки проволоки даже в условиях строительства. Такие стали также могут быть использованы при производстве труб с малыми напорами.

Очень ценными для армирования предварительно напряженных конструкций являются легированные стали, обладающие высокой прочностью, вязкостью, свариваемостью и антикоррозионной стойкостью. Однако в связи с наличием в таких сталях редких металлов они не могут быть пока рекомендованы для широкого применения при изготовлении железобетонных конструкций.

Коррозия арматуры в железобетонных напорных трубах. Опыт длительного применения железобетонных труб со стальным цилиндром не отмечен какими-либо значительными авариями действующих железобетонных водоводов вообще и в частности вследствие коррозии металла в трубах. Немалое значение для сохранности труб имеет большая толщина их стенок, изготовленных из тщательно приготовленного плотного бетона, а также значительный защитный слой бетона, предохраняющий каркас арматуры и стальной цилиндр от коррозии.

Железобетонные трубы из предварительно напряженного железобетона являются большим техническим достижением по сравнению с

первыми напорными трубами из обычного железобетона. Однако заманчивая идея большей экономии металла, и в первую очередь за счет исключения дефицитного стального листа, принесла и дополнительные заботы об усиленной защите от коррозии напряженной арматуры из очень тонкой проволоки диаметром 2—5 мм, от сохранности которой зависит по существу прочность всего водовода. Дело усугубляется тем, что в наше время особенно в районах расположения промышленных предприятий и в городах значительно возросла опасность электрохимической коррозии подземных сооружений.

Все изложенное заставляет особенно внимательно выбирать конструкции предварительно напряженных напорных труб; материалы, применяемые при их изготовлении; процесс производства труб; трассы водоводов; способы укладки труб, а также обеспечить правильную эксплуатацию водоводов. Эти условия являются вполне выполнимыми и, конечно, ни в коей мере не должны препятствовать широкому внедрению в строительство предварительно напряженных напорных труб. Более того, уложенные сотни километров таких труб эксплуатируются более чем успешно и количество аварий на этих водоводах, отмеченное за все прошедшие годы, совершенно ничтожно. Это объясняется тем, что в большинстве случаев проволока надежно защищена в бетоне от атмосферных и агрессивных влияний.

Из всех видов предварительно напряженных железобетонных конструкций в наиболее худших условиях с точки зрения опасности коррозии высокопрочной арматуры находятся трубы, используемые в сооружениях подземных напорных водоводов. Однако экономический эффект от применения предварительно напряженных железобетонных труб взамен чугунных, стальных и, наконец, железобетонных труб со стальным цилиндром настолько значителен, что должны быть приняты все меры и использованы все средства защиты, обеспечивающие их долговечность наравне с другими предварительно напряженными конструкциями.

При выборе конструкции трубы должны быть предусмотрены: достаточная, не менее 20 мм толщина защитного слоя спиральной и продольной (с торцов) предварительно напряженной арматуры с применением соответствующего вяжущего и полная изоляция друг от друга и от внешней среды всех металлических элементов трубы: конструктивной, спиральной и продольной арматуры, стыковых обечаек и других складных частей во избежание их разрушения вследствие электрохимической коррозии. При изготовлении труб необходимо тщательно следить за аккуратным выполнением этих конструктивных требований, не допускать применения арматуры, покрытой ржавчиной, наблюдать за тем, чтобы не наносился защитный слой на начавшую корродировать спиральную проволоку или на замасленную поверхность бетона: перед торкретированием поверхность арматуры и бетона следует очищать стальными щетками или пескоструйными аппаратами.

При проектировании трассы водовода должна быть учтена существующая или предполагаемая агрессивность грунтов, особенно в районах расположения химических и металлургических предприятий, и при наличии или возможной опасности должна быть предусмотрена защита труб от влияния агрессивных жидкостей (облицовка пластмассовыми листами, окраска и др.)¹. На трассе должна быть также предусмотрена необходимая защита водовода от блуждающих токов и от временных нагрузок, а также от возможных оползней, размывов, провалов и других изменений в грунте, которые могут вызвать трещины в бетоне труб и

¹ Доклад К. Карвахам (Испания) «Защита бетонных труб против воздействия агрессивных грунтов и воды применением пластмассовой изоляции» на III Международном конгрессе по сборным бетонным конструкциям, состоявшемся в г. Стокгольме в 1960 г.

последующую коррозию и разрыв предварительно напряженной арматуры. Правда, известно, что именно железобетонные предварительно напряженные трубопроводы наиболее успешно выдерживают всевозможные движения грунта, включая и сейсмические.

При укладке и эксплуатации водовода должны быть приняты меры по предохранению труб от ударов, вызывающих отколы бетона особенно в защитном слое или появление трещин, которые могут оказаться причиной коррозии и разрыва арматуры.

При проектировании и эксплуатации водовода необходимо предусмотреть мероприятия против появления в зоне укладки железобетонных труб внешней агрессивной среды или пропуска по водоводу воды с агрессивными свойствами, например: с содержанием кислот — $\text{pH} < 5$, щелочей — $\text{pH} > 12$, с содержанием $\text{CaSO}_4 > 0,2 \text{ г/л}$ или $\text{MgSO}_4 > 0,1 \text{ г/л}$ и т. д.

Основным же мероприятием для защиты предварительно напряженной проволоки от коррозии следует считать правильный выбор материалов для бетона стенки сердечника трубы и защитного слоя.

Изучением вопросов коррозии предварительно напряженной арматуры в железобетонных напорных трубах занимается целый ряд ученых и специалистов как в нашей стране, так и за рубежом.

Под термином «коррозия» обычно подразумевают разрушение металла в результате химического или электрохимического воздействия на него внешней среды. Большая часть исследований по коррозии носит эмпирический характер, особенно если вопрос касается коррозии сплавов различных металлов. Поведение таких сплавов различно в различных средах, что еще более усложняет вывод каких-либо определенных положений, и характер коррозии сплава в этом случае может быть установлен только опытным путем в результате исследования сплава в данной внешней среде.

Коррозия может быть общей, когда вследствие химического воздействия окружающей среды на металл по всей его поверхности происходит химическая реакция, например окисление железа в соляной кислоте. Здесь процесс коррозии происходит равномерно с уменьшением сечения металла по всей его длине.

В практике и тем более в случаях применения железобетонных труб обычно встречается местная коррозия — в результате электрохимической реакции. Если, например, поместить железо в нейтральный раствор хлористого кальция, то участки, в которых происходит окисление железа, будут действовать как анод, а другие участки, где происходит уменьшение электронов водорода, — как катод. Между этими участками поверхности металла, отстоящими друг от друга на определенном расстоянии, при появившейся разности потенциалов будет проходить поток электронов, обуславливая процесс местной коррозии металла.

Но интенсивность процесса зависит и от посторонних причин, например состояния поверхности корродируемого металла; так, покрытие, растворимое во внешней среде, способствует непрерывному процессу коррозии, и наоборот.

В высокопрочной проволоке, применяющейся в напорных трубах, может происходить так называемая межкристаллическая коррозия, характерная для сплавов металлов, которые состоят из огромного количества кристаллов, имеющих очень развитую межкристаллическую поверхность. Дело в том, что под воздействием термообработки сплавов возможна концентрация какого-либо из компонентов на граничных участках кристаллов. Эти изменения в составе кристаллов и их поверхностей могут явиться причиной появления в металле анодных и катодных участков, если этому содействуют условия внешней среды. А появление разности потенциалов на участках металла, как известно, вызы-

вает поток электронов и, как следствие, — разрушение здесь металла коррозией. При межкристаллической коррозии трещины в металле появляются по поверхностям между кристаллами. Если такой металл подвергается совместному влиянию коррозии и растягивающих напряжений, то трещины в нем в результате происходящих сложных процессов могут проходить как по границам, так и через тело кристаллов. Этот вид разрушения металла местной коррозией получил название напряженно-коррозийной трещиноватости.

Ниже приведен ряд примеров аварийного состояния напорных водоводов из предварительно напряженных труб в связи с коррозией арматуры.

Впервые разрывы высокопрочной проволоки в уложенных напорных трубах были отмечены в 1951 г. в трубопроводе диаметром 1020 мм в районе г. Вербье (Бельгия). При изготовлении труб была использована проволока диаметром 5 мм. Из 800 уложенных труб в траншее разрыв проволоки был обнаружен в 8, а следы коррозии в 80 трубах. Причиной коррозии проволоки и ее разрыва был контакт труб в траншее с агрессивными грунтовыми водами только в тех местах, где защитный слой был выполнен недоброкачественно — из пористого бетона и толщиной менее запроектированных 25 мм. Разрыв проволоки был обнаружен через 1—1,5 месяца после укладки труб в траншею, которая оставалась незасыпанной. Характерно, что коррозия арматуры произошла только в месте непосредственного соприкосновения поверхности труб с агрессивной грунтовой средой и только в местах с дефектным защитным слоем.

Приблизительно в это же время в Голландии были зафиксированы хрупкие разрывы высокопрочной предварительно напряженной проволоки в трубах в результате межкристаллической коррозии, явившейся следствием электрохимической реакции.

Во Франции была обнаружена коррозия спиральной напряженной арматуры в трубах диаметром 900 мм, хранившихся непосредственно на земле на открытом воздухе. Признаки коррозии и наступивший вслед за этим разрыв проволоки были обнаружены через 6 месяцев после начала укладки. Всего было разрушено около 8% труб. При установлении причин коррозии мнения исследователей разошлись: одни считают причиной появления электрохимической реакции между различными цементами, использовавшимися для приготовления бетона железобетонного сердечника (высокопрочный портландцемент) и бетона защитного слоя (шлакопортландцемент), в результате создавшейся для такой реакции благоприятной среды — сырости при неравномерной вентиляции; другие считают, что причиной коррозии могла послужить сама проволока, имевшая дефекты в виде неоднородной структуры — примесей и включений, которые на корродированных участках при наличии водной и соляной сред явились гальваническими элементами с разными электрическими зарядами. Видимо, последнее предположение более вероятно, так как специально проведенные эксперименты подтверждают появление в подобных случаях разности потенциалов до 600—700 мв.

Аналогичный пример разрыва напряженной проволоки в напорных трубах был отмечен в Северной Африке. Железобетонные трубы здесь изготовлялись, как и в предыдущем случае, из двух разных бетонов — для сердечника и защитного слоя — с применением разных цементах. Появление коррозии проволоки авторы обследования объясняют электрохимической реакцией между двумя разными цементами при наличии содействующих этой реакции условий среды.

Наиболее крупная авария, вызванная коррозией высокопрочной арматуры в трубах, произошла в 1952 г. в Канаде на строительстве напорного водовода диаметром 914 мм, длиной 56 км. Производство труб внутренним диаметром 914 мм, длиной 4,87 м было начато в феврале

1952 г. на специально построенном для этой цели фирмой «Прелоад и Компания в Канаде» заводе. К ноябрю 1952 г. было уложено около 8 км труб и 13 км труб было изготовлено на складах, когда в процессе опрессовки уложенных участков водовода была обнаружена течь. Обследование показало, что в трубах в возрасте 4—5 месяцев после изготовления имеются обрывы спиральной предварительно напряженной проволоки вследствие ее коррозии. В декабре 1952 г. производство труб было прекращено. Всего на заводе было изготовлено 4479 труб (и затем дополнительно 36 для испытания в целях установления причин аварии), из которых значительная часть оказалась забракованной.

Производство было организовано по трехступенчатой технологии. Железобетонные сердечники толщиной 70—82 мм изготавливали путем торкретирования в вертикальной форме, на которой были предварительно натянуты с напряжением 9800 кг/см^2 24 стержня продольной арматуры диаметром 4 мм. Изготовленный сердечник подвергали тепловлажностной обработке в горячей воде (температура $60\text{--}65^\circ\text{C}$) в течение 10 ч. На затвердевший бетон навивали с предварительным напряжением спиральную арматуру. Для этой цели применялась проволока из высококачественной стали диаметром 4 мм, которая в процессе навивки пропусклась через фильер диаметром 3,6 мм, в результате чего при соприкосновении с бетоном проволока имела температуру около 150°C . Проволока с пределом прочности около 150 кг/мм^2 навивалась с напряжением 105 кг/мм^2 ; от механического напряжения — около 85 кг/мм^2 и от обжатия при охлаждении — около 20 кг/мм^2 . После навивки на поверхность спиральной арматуры наносили также торкретированием защитный слой толщиной 19 мм. Затем трубы подвергались вторичной тепловлажностной обработке в течение 10 ч при температуре $60\text{--}65^\circ\text{C}$. Все эти операции выполнялись без снятия стальной формы, на которую наносился торкретбетон сердечника. Распалубка производилась после полного изготовления труб, затем последние доставляли на склад.

Железобетонный сердечник изготавливали из бетона на обычном портландцементе с крупностью зерен заполнителей до 6,5 мм. Раствор защитного слоя готовили с применением сульфатостойкого цемента («Kalicrete») в связи с наличием в грунте сульфатной агрессии. Применявшаяся бетонная смесь по проекту была состава 1 : 3, однако из-за большого отскока крупного заполнителя при торкретировании смесь в стенке трубы имела фактический состав около 1 : 2,6. Для уменьшения отскока к раствору добавляли известь.

Первоначальное водоцементное отношение смеси находилось в пределе 0,35—0,4. При принятом способе формирования — торкретировании цементная смесь оплывала, в связи с чем было решено добавлять к воде при затворении хлористый кальций в количестве 2% от веса цемента (при критическом пределе 3%, установленном Американским институтом бетона и ассоциацией «Cement Association»). Однако в производстве, видимо, не было учтено, что при торкретировании фактически уложенная смесь получается всегда в 1,5—2 раза богаче цементом (а в данном случае, следовательно, и хлористым кальцием) из-за большого отскока заполнителя. В результате химического анализа установлено, что содержание хлористого кальция в теле сердечника составляло не 2, а 3,83% от веса цемента. Применявшаяся для тепловлажностной обработки труб горячая вода (взамен пропаривания по проекту) в течение 1—2 недель не менялась; в целях экономии топлива использованная вода подавалась из сборника в систему с помощью насоса. Естественно, что в воде постепенно увеличивалось содержание солей; так, в отобранных пробах было установлено содержание в 1 л воды до 1,4 г хлористого кальция и до 2 г сульфата кальция.

После того как был обнаружен обрыв арматуры в трубах, начались тщательные исследования причин возникновения коррозии. Под защитным слоем бетона было обнаружено, что большинство витков проволоки разорвано (рис. 11), но продольная предварительно напряженная арматура в глубине стенки сердечника сохранилась. На внутренней стороне кусков бетона снятого защитного слоя остались следы ржавчины или куски оторвавшейся с бетоном разрушенной высокопрочной спиральной арматуры (рис. 12). На участке поверхности трубы размерами 40×60 см было обнаружено до 30 обрывов проволоки, происшедших в результате коррозии.

Большим недостатком технологии производства труб была наливка проволоки на неровную торкретированную поверхность сердечника. Проволока не имела контакта с бетоном по всей ее длине. Помимо того, что это приводило к концентрации напряжений в проволоке и в бетоне в местах их соприкосновения, такое положение арматуры содействовало коррозии: при обследовании было обнаружено, что коррозия начиналась именно со стороны сердечника, в то время как сторона проволоки, обращенная к наружному слою, часто оставалась совершенно чистой. Неровности бетонной поверхности сердечника не заполнялись раствором защитного слоя; наоборот, в них были обнаружены скопления отложившихся солей и, как в дальнейшем было подтверждено лабораторными испытаниями, эти соли явились причиной развития коррозии проволоки (рис. 13). Одновременно было установлено, что причиной разрушения труб также является применение хлористого кальция (трубы, изготовленные без хлористого кальция, коррозии не имели). Однако исследователей интересовало, какие факторы содействовали такому быстрому распространению коррозии, появившейся в

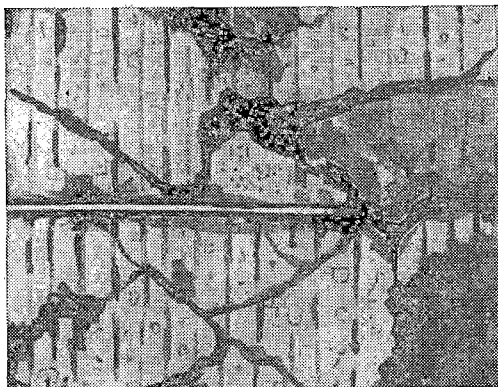


Рис. 11. Общий вид корродированной спиральной арматуры напорной трубы после снятия защитного слоя



Рис. 12. Следы и остатки корродированной спиральной арматуры на внутренней поверхности снятого защитного слоя

отдельных трубах даже через 3 месяца после изготовления. По этому поводу можно привести соображения специалистов, принявших участие в дискуссии и установивших следующие возможные причины ускорения коррозии проволоки в трубах: первая — разность потенциалов между телом трубы и защитным слоем, содержащими различные цементы; вторая — химическая неуравновешенность между двумя слоями бетонных смесей с различными цементами и с различным состоянием этих смесей в зависимости от сроков их схватывания; третья — содержание хлористого кальция и повышенные температура и давление в момент нанесения защитного слоя торкретированием; четвертая — возможность скопления в этой прослойке хлористого кальция, ускорившего коррозию рас-

положенной здесь проволоки; пятая — использование для твердения бетона горячей воды с высоким содержанием сульфата, который при температуре, равной 60°C , поглощается несхватившимся бетоном, приготовленным на обычном портландцементе, и разрушает цемент, причем присутствие в смеси хлористого кальция и извести могло ускорить процесс; шестая — возможность появления коррозии при напряжении проволоки, чему способствовали повышенная температура проволоки при навивке через фильер, кривизна навивки и неровная поверхность обвиваемого сердечника.

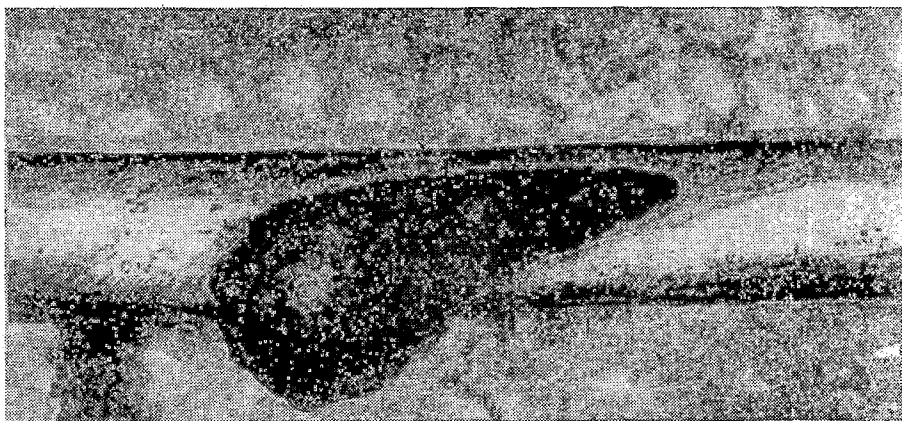


Рис. 13. Деталь корродировавшей проволоки в месте пересечения ею раковины или неровности в бетонной поверхности железобетонного сердечника; продукты коррозии заполняют пустое место под проволокой (увеличено)

Высокая температура, развиваемая при волочении проволоки без охлаждения ее водой или смазывания маслом, уменьшает пластичность металла и вызывает дополнительные поверхностные напряжения в металле.

В заключение необходимо отметить, что, хотя указанный водовод был заново сооружен в 1955 г. из стальных труб и фирма-изготовитель железобетонных труб понесла убытки, техническая целесообразность применения железобетонных напорных труб в США не была подвергнута сомнению.

В связи с происшедшей аварией труб в г. Риджайне были произведены исследования коррозии напряженной высокопрочной проволоки в бетоне и причин, влияющих на развитие такой коррозии.

Проф. Р. Х. Эванс (Англия) осуществил эксперимент с целью воспроизведения в лаборатории условия, вызвавшего коррозию и разрыв проволоки в трубах в г. Риджайне. Он исследовал образцы предварительно напряженных труб диаметром 190/342 мм и призм сечением 51×51 мм, длиной 76 см. Образцы изготовлялись с применением одного и двух различных цементов с содержанием хлористого кальция 2 и 4% от веса цемента и без хлористого кальция с твердением образцов в водной и паровой средах и в естественных атмосферных условиях. Образцы с предварительно напряженной арматурой сравнивались с образцами той же, но ненапряженной проволочной арматуры в бетоне. Результаты экспериментов приведены в табл. 15.

В итоге автором были сделаны следующие выводы:

во всех случаях применения хлористого кальция как в теле трубы, так и в защитном слое появлялась местная коррозия высокопрочной

Результаты лабораторных исследований

Марка цемента		Окончательное напряжение в проволоке в кг/см ²	Содержание хлористого кальция в % от веса цемента	Среда, в которой происходит твердение	Результаты, полученные через 8 недель
в сердечнике	в защитном слое				
Портландцемент	Сульфатостойкий цемент	4250	4	Влажный пар	Коррозия
»	То же	4250	2	То же	»
»	»	4250	4	Влажный песок	Нет
Сульфатостойкий цемент	»	4250	4	То же	»
Портландцемент	»	6375	0	Влажный пар	»
»	»	6375	4	То же	Коррозия
Сульфатостойкий цемент	»	0	4	»	»
Портландцемент	»	0	2	»	»
»	»	0	2	Влажный песок	Нет
Сульфатостойкий цемент	»	0	4	Горячая вода	»
Портландцемент	»	8500	4	То же	Незначительная коррозия
»	»	8500	4	Влажный песок	Нет
»	»	8500	4	Влажный пар	Коррозия

проволоки; при отсутствии хлористого кальция коррозии не наблюдалось независимо от того, в каких условиях твердели трубы;

вид цемента или смесь нескольких цементов практически не влияет на коррозию в арматуре;

величина напряжения в проволоке не оказывает влияния на коррозию;

коррозия в бетоне с хлористым кальцием оказалась более выраженной при вызревании образцов в паровой среде, нежели в горячей водяной ванне; при длительном твердении того же бетона в атмосферных условиях проволока подвергалась только слабой коррозии;

при пропаривании влажным паром бетона с добавлением хлористого кальция коррозия высокопрочной проволоки в образцах настолько велика, что уже через 2 месяца потеря прочности составляет около 10%;

в связи с необходимостью создания защитного слоя бетона в трубе наиболее целесообразно изготовлять трубы по одноступенчатой технологии — гидропрессованием, например по методу Фрейссине.

В лабораториях Ассоциации портландцемента в США были также проведены исследования, предпринятые в связи с аварией в г. Риджайне для выяснения всех факторов, влияющих на коррозию заделанной в бетон напряженной проволоки.

Основные выводы этой работы следующие:

применение хлористого кальция в количестве 2% и более от веса цемента в бетоне может вызвать коррозию предварительно напряженной высокопрочной проволоки, приводящую к ее разрыву; уже после двухлетнего нахождения проволоки в бетоне с 2% хлористого кальция прочность ее на растяжение значительно уменьшается; не исключена возможность появления коррозии и при добавке хлористого кальция в количестве менее 1%, так как, по данным лаборатории, и в этом случае в бетоне в течение длительного времени присутствуют ионы хлорида;

в нормальных условиях бетон на обычном портландцементе обеспечивает полную защиту от коррозии предварительно напряженной проволоки (при отсутствии хлористого кальция);

при наличии в бетоне ионов хлорида коррозия напряженной проволоки протекает независимо от вида цемента, мало зависит от температуры, при которой выдерживается бетон, не зависит от напряженного состояния проволоки; коррозия обычно наблюдается вблизи пустот в

бетоне, имеющих размеры порядка диаметра проволоки, и может вызывать в проволоке продольные трещины (рис. 14); коррозия может проявляться на обычной холоднотянутой проволоке, а также и после ее низкотемпературного отпуска. Коррозия в проволоке увеличивается или уменьшается в зависимости от вида инородного металла, находящегося в контакте с бетоном, в связи с образованием электрической пары при соприкосновении металла с влажным бетоном в среде, содержащей хлористый кальций. Так, в бетоне с добавкой 4% хлористого кальция разность потенциалов между высокопрочной проволокой и бронзой составила 160 мв, между проволокой и нержавеющей сталью — 30 мв, между

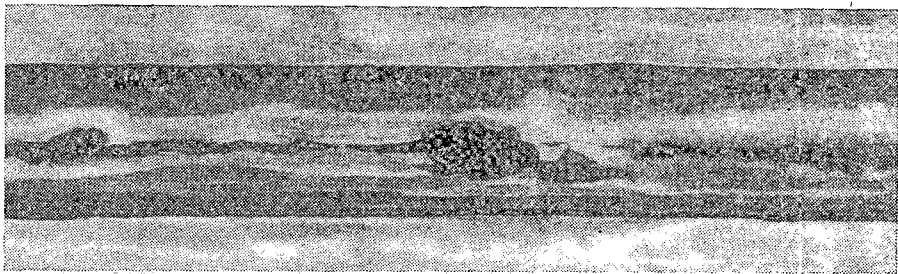


Рис. 14. Продольные трещины в проволоке, образовавшиеся в результате коррозии (увеличено)

проволокой и обычной листовой сталью — 30 мв. Интересно, что в первом и втором случаях направление электрического тока таково, что ионы железа движутся от проволоки к металлу, не разрушая проволоки, а во втором случае — в обратном направлении — от обычной стали к высокопрочной проволоке, разрушая обычную сталь. Следовательно, при изготовлении в обычной стальной форме предварительно напряженной трубы из бетона с добавкой хлористого кальция происходит быстрая коррозия формы вследствие образования отрицательной разности потенциалов между формой и высокопрочной проволокой.

В отечественной практике технологи и строители встретились с проблемами коррозии предварительно напряженной спиральной арматуры из высокопрочной арматуры при использовании для защитного слоя быстротвердеющего водонепроницаемого расширяющегося цемента (ВРЦ). Этот цемент применяли в 1950 г. при изготовлении опытных напорных труб на заводе № 8 «Стройдеталь» в Москве. В дальнейшем этот опыт был перенесен в условия треста Закавказметаллургстрой для изготовления напорных труб диаметрами 900 и 1250 мм и затем на ряд других предприятий, в том числе на Серпуховский и Филевский трубные заводы. Водонепроницаемый расширяющийся цемент отличается быстротой схватывания, что удобно при торкретировании, высокой прочностью в раннем возрасте и самоуплотнением при твердении; последнее, кроме того, давало возможность ожидать в таком защитном слое некоторого предварительного напряжения по сравнению с раствором из обычного портландцемента, что также имело положительное значение при изготовлении предварительно напряженных труб. Расширение ВРЦ при схватывании и твердении объясняется наличием в его составе сернокислого кальция, что вызывало опасения коррозии высокопрочной проволоки под таким защитным слоем.

Первые опытные трубы с использованием ВРЦ изготавливались на заводе № 8 диаметром 600 мм с толщиной защитного слоя 15 мм. Сердечники труб изготавливались с применением обычного портландцемента способом центрифугирования. Сердечники обвивались предварительно

напряженной высокопрочной проволокой диаметром 4 мм, после чего на их поверхность наносился торкретированием защитный слой из раствора состава по объему 1 : 2 (ВРЦ : песок).

Состояние защитного слоя, выполненного с применением ВРЦ, и состояние высокопрочной предварительно напряженной спиральной арматуры под ним систематически проверялись б. ЦНИПСом. Первые обследования труб относятся к 1951 г. в возрасте их 8—12 месяцев. Из осмотренных труб четыре находились на открытом воздухе, одна — в цехе, являясь звеном находившегося там под давлением опытного напорного водовода. На каждой трубе было сделано по 10—15 отколов защитного слоя, нанесенного способом торкретирования. Было установлено, что в четырех трубах никаких следов коррозии проволоки нет, в одной трубе из лежавших вне цеха обнаружена небольшая пленка ржавчины. Сцепление защитного слоя с телом трубы прочное¹. При обследовании опытных труб в 1956 г. участвовали представители НИИ Цемента. Непосредственно перед осмотром² был отбит защитный слой торкретбетона толщиной 11—13 мм. Спиральная арматура из предварительно напряженной высокопрочной проволоки диаметром 4 мм находилась в удовлетворительном состоянии, коррозии проволоки, которая могла бы быть расценена как результат влияния ВРЦ в защитном слое, не наблюдалось. Опытные трубы находились в удовлетворительном состоянии в 1960 г., что отмечено специальным обследованием³; иных сведений не поступало и в последующие годы.

В тресте Закавказьметаллургстрой коррозия арматуры в среде защитного слоя с применением ВРЦ наблюдалась в отдельных случаях в 1949—1951 гг. при изготовлении предварительно напряженных труб диаметром 900 и 1250 мм и позднее в 1956—1958 гг. на трубах тех же диаметров, но с металлическим цилиндром, уложенных на опытных участках. Коррозия напряженной проволоки, а в трубах позднего выпуска — и стального цилиндра была, видимо, вызвана несоблюдением обязательного условия хранения труб во влажной среде после нанесения защитного слоя или недостаточной толщиной последнего.

Для выяснения влияния ВРЦ в защитном слое на появление коррозии высокопрочной спиральной проволоки специальной комиссией в 1961 г. было произведено обследование некоторых труб, изготовленных на различных заводах. Результаты обследования приведены в табл. 16.

Обследование показало, что в случае применения для защитного слоя обычного портландцемента коррозия спиральной арматуры не наблюдается. Если в таком защитном слое появляются трещины, то проникающая через них влага вызывает незначительную коррозию арматуры.

В случае применения ВРЦ, наоборот, при попадании влаги под защитный слой образуется среда, содействующая интенсивной коррозии высокопрочной спиральной арматуры и способствующая ее широкому распространению.

Каналами для проникновения влаги являются трещины, каверны и поры, образующиеся в защитном слое в результате нарушения технологии при изготовлении труб и особенно при нанесении защитного слоя торкретированием. Защитный слой, нанесенный неравномерно и недостаточной толщины, вызывает коррозию арматуры даже при отсутствии в нем трещин и других изъянов.

Часто наблюдалась коррозия концевых спиралей проволоки на ширине до 30 см в связи с попаданием воды под защитный слой через незащищенные торцы труб. Обращалось внимание на необходимость

¹ Акт от 23 июня 1951 г.

² Акт от 30 декабря 1956 г.

³ Акт от 23 июля 1960 г.

Результаты влияния ВРЦ в защитном слое

№ трубы	Дата изготовления труб	Цемент защитного слоя	Продолжительность выдерживания в воде перед испытанием в сутках	Испытательное давление в ат	Условия хранения труб	Результаты обследования
I. Филевский завод железобетонных труб (трубы диаметром 800 мм)						
9—44	Февраль 1960 г.	ВРЦ	3	12	Открытый склад	1. Интенсивная коррозия арматуры в концевых участках труб на длине до 30 см 2. Широкая зона интенсивной коррозии арматуры под слоем торкрета возле дефектных мест (поры, оголенная арматура, малая толщина защитного слоя) 3. В местах с проектной толщиной защитного слоя коррозия арматуры не наблюдалась (за исключением концевых участков) 4. В некоторых местах защитный слой снизу более темный, сверху более светлый
II. Серпуховский завод железобетонных труб (трубы диаметром 800 мм)						
42—74	Февраль 1960 г.	ВРЦ	3	12	Опытный участок водовода	1. Широкая зона интенсивной коррозии арматуры под защитным недостаточной толщины слоем в трубах, торкретированных раствором с ВРЦ. В местах с проектной толщиной защитного слоя, не имеющего дефектов, коррозия арматуры не наблюдалась
—	Январь—февраль 1960 г.	ВРЦ	3	12	То же	2. Концевые участки труб опытного водовода обследовались на расстоянии 150—180 мм от торцов. При наличии проектной толщины защитного слоя коррозия арматуры не наблюдалась
—	1959 г.	ВРЦ	Условия выдерживания и испытания неизвестны		Открытый склад	
—	Январь—февраль 1960 г.	Портланд-цемент	3	12	Опытный участок водовода	3. Труба, находящаяся на складе около 2 лет, имела коррозию арматуры до 50%. При легких ударах молотком защитный слой отскочил в результате полной потери сцепления с бетоном и арматурой (сведений о материале защитного слоя нет)

№ трубы	Дата изготовления труб	Цемент защитного слоя	Продолжительность выдерживания в воде перед испытанием в сутках	Испытательное давление в ат	Условия хранения труб	Результаты обследования
—	Январь—февраль 1960 г.	Портланд-цемент	3	12	Опытный участок водовода	4. В трубах с защитным слоем, нанесенным инъекцией, коррозии арматуры не наблюдалось. Оголенная арматура имела слабый налет ржавчины. Возле дефектных мест под слоем раствора следов налета ржавчины на арматуре не было

III. Завод № 8 (Камушки, Москва, трубы диаметром 300 мм)

—	Май 1950 г.	ВРЦ	3	—	Открытый склад	1. На концевых участках труб с хорошо заделанными торцами, а также по всей длине трубы коррозии арматуры нет 2. В местах, где в прошлые годы вскрывался защитный слой с целью осмотра арматуры, наблюдается интенсивная коррозия в спиральной арматуре, имеющей контакт с защитным слоем; у арматуры, не имеющей контакта с защитным слоем, отмечен только налет ржавчины 3. Широкой зоны распространения коррозии арматуры под слоем торкрета возле оголенных участков арматуры не наблюдалось

IV. Завод железобетонных изделий треста Закавказметаллургстрой в г. Рустави (трубы с металлическим цилиндром диаметром 1200 мм)

БР 3847	1958 г.	ВРЦ	Увлажнение 3 суток	—	Открытый стенд на строительной выставке	1. Защитный торкретный слой по всей поверхности имеет трещины и вспучивание, при легких ударах отскакивает
3346	1958 г.	ВРЦ	Увлажнение 3 суток	—	То же	2. В местах вскрытия защитного слоя имеется интенсивная коррозия арматуры

устройства в торцах труб тщательно уплотненного защитного слоя нормальной толщины. Особенно значительная коррозия спиральной арматуры и стального цилиндра под защитным слоем с применением ВРЦ была замечена в трубах треста Закавказметаллургстрой, хранившихся на открытом воздухе (в выставочном павильоне в Москве) с 1958 г. Защитный слой был в трещинах и легко откалывался, обнаруживая сильно корродированный металл.

Применение ВРЦ в защитном слое преследует также цель увеличения водонепроницаемости труб, поэтому в трубах со стальным цилиндром применение ВРЦ нецелесообразно; для защитного слоя в таких трубах следует применять обычный портландцемент.

В г. Калинин во время укладки железобетонного напорного водовода диаметром 800 мм в 1962 г. при испытании одной из секций на пяти трубах были обнаружены кольцевые трещины и коррозия предварительно напряженной спиральной проволоки. Для установления причин разрушения труб была создана комиссия из специалистов, в задачу которой входило также обследование технологии производства труб заводом-поставщиком и другими заводами, установление причин появления в отдельных трубах коррозии спиральной арматуры и подготовка рекомендаций предприятиям относительно выбора цемента для защитного слоя труб.

Следует заранее оговориться, что причиной разрушения труб сооружавшегося водовода в данном случае оказалась не коррозия арматуры, а несоблюдение технических условий транспортирования, укладки и засыпки труб грунтом при недостаточном предварительном напряжении продольной арматуры, что привело к излому труб по кольцевым сечениям. Этот водовод был сдан в эксплуатацию. Однако обнаруженная коррозия арматуры поставляемых труб представляла не меньшую опасность на будущее время, и этому вопросу было уделено основное внимание при обследовании.

Некоторые трубы на строительство водовода доставлялись Серпуховским заводом по железной дороге. Трубы безраструбные диаметром 800 мм, длиной 5 м, с толщиной стенки 100 мм, включая защитный, слой 20 мм, были изготовлены по трехступенчатой технологии центрифугированием без стального цилиндра с предварительно напряженной продольной и спиральной арматурой диаметром 4 мм из высокопрочной проволоки. Защитный слой состава 1:3 (ВРЦ: песок) наносился двумя способами: торкретированием с применением ВРЦ и пневматическим способом в металлических формах на обычном портландцементе. Стыковые соединения выполнялись из асбестоцементных муфт с резиновыми кольцами. При обследовании особо ставилась задача установить влияние ВРЦ на коррозию спиральной арматуры.

Параллельно было обследовано производство напорных труб диаметром 1400 мм со стальным цилиндром на Филевском трубном заводе. Результаты обследования показали¹, что на поверхности спиральной арматуры в защитном слое из раствора с обычным портландцементом коррозии не наблюдалось, за исключением небольших следов ржавчины в местах отколов и трещин. В напорных трубах, пролежавших на воздухе 1—1,5 года, с защитным слоем, нанесенным торкретированием раствора с ВРЦ, при отсутствии отслоений защитного слоя и при нормальной его толщине спиральная арматура оказалась практически чистой. В трубах с трещинами и отслоениями защитного слоя наблюдалась коррозия спиральной арматуры.

Этому способствовали допущенные нарушения при применении ВРЦ:

поступавший из г. Электростали ВРЦ на заводе не испытывался на расширяемость и водонепроницаемость и по этим показателям не отбраковывался;

проектная толщина защитного слоя труб в ряде мест была зафиксирована 3—5 мм вместо 15 мм по проекту;

нормализация концов труб производилась при свежееотформованном защитном слое, в результате чего нарушалась его монолитность;

¹ Акт от 24 и 26 октября 1962 г.

влажное хранение труб (с нанесенным защитным слоем) в течение трех суток не всегда выдерживалось;

контроль отслоений защитного слоя в готовых трубах с должной тщательностью не производился, и места отслоений не ремонтировались;

спиральная арматура в отдельных случаях наматывалась на железобетонный сердечник и торкретировалась без очистки бывшей на ней ржавчины.

Для осмотра состояния спиральной предварительно напряженной проволоки в защитном слое были пробиты гнезда размером 10×10 см и вскрыты 8—10 витков проволоки в середине и по концам трубы (при возрасте труб 1,5—2 года), а также произведен на складе полный внешний осмотр с простукиванием защитного слоя готовых труб. В результате осмотра было установлено, что защитный слой из раствора с ВРЦ хорошо сцеплен с бетоном сердечника и следы коррозии арматуры в тех случаях, где толщина слоя нормальная (15—20 мм), отсутствуют. Там же, где толщина слоя незначительная (5—10 мм), в отдельных трубах наблюдались отслоения защитного слоя и, как правило, развитие коррозии проволоки. Наблюдались случаи коррозии арматуры у торцов труб вследствие отслоений защитного слоя и трещин в нем. Простукиванием было установлено надежное сцепление защитного слоя с бетоном и спиральной арматурой. Коррозия арматуры под защитным слоем из раствора с обычным цементом не наблюдалась.

На территории Серпуховского завода в 1960 г. был сооружен открытый опытный участок напорного водовода диаметром 800 мм из труб с защитным слоем с применением ВРЦ. Опытный участок испытывался давлением до 12 ат. В процессе наблюдения за опытным водоводом в трубах были в отдельных местах обнаружены отслоения защитного слоя и под ними коррозия спиральной арматуры. Коррозию проволоки вызвала влага, которая проникла в зону спиральной арматуры не по наружным трещинам, а через поры тела трубы. Очевидно, защитный слой был неплотным или между ним и телом трубы появились трещины от удара труб при монтаже (причина не установлена), но создавшаяся агрессивная среда вызвала интенсивную коррозию проволоки, которая в свою очередь разрушила и защитный слой трубы.

Из проведенных обследований напорных труб с защитным слоем из раствора, содержащего ВРЦ, можно сделать следующие выводы.

1. Применение ВРЦ в качестве вяжущего в растворе защитного слоя напорных труб, изготавливаемых по трехступенчатой технологии, пока не является лучшим решением по сравнению с применением портландского цемента в связи с наблюдавшимися случаями коррозии спиральной арматуры.

Учитывая, что одним из достоинств ВРЦ является быстрота схватывания, облегчающая нанесение раствора торкретированием, целесообразнее торкретирование заменить другим из известных способов, допускающих применение обычного портландцемента (технология «Цюблин», «Цен-ви-ро», завода № 1 в Минске и др.), либо применять ускорители твердения портландцемента (исключая хлористый кальций).

Категорически не следует допускать применения ВРЦ в защитном слое напорных труб с металлическим цилиндром, поскольку опасность от коррозии в этом случае особенно возрастает.

2. Применение ВРЦ для защитного слоя может быть допущено при нанесении последнего по всей поверхности трубы проектной толщиной не менее 15 мм, включая торцы труб, при тщательном контроле за сцеплением защитного слоя с бетоном сердечника, а также за сохранностью защитного слоя вплоть до засыпки труб в траншее, не допуская появления трещин или околлов, которые могут быть причиной попадания влаги под защитный слой и образования среды, содействующей развитию коррозии спиральной арматуры.

При использовании ВРЦ должны соблюдаться следующие условия:

а) изготовление ВРЦ в строгом соответствии с техническими условиями;

б) испытание ВРЦ на трубных заводах на расширяемость и водонепроницаемость в сроки, установленные техническими условиями;

в) приготовление смеси для торкретирования на песке с влажностью не более 1,5% и расходование ее в срок, не превышающий 25 мин;

г) обязательное хранение труб со свеженанесенным защитным слоем в водной среде не менее трех суток.

3. Коррозия высокопрочной арматуры под влиянием ВРЦ и происходящие при этом химические или электрохимические процессы недостаточно изучены, в связи с чем широкое применение расширяющегося цемента не может быть рекомендовано. Однако, учитывая, что применение ВРЦ при производстве напорных труб по трехступенчатой технологии имеет свои положительные стороны, целесообразно продолжать исследования ВРЦ для указанных целей.

4. С точки зрения сохранности в трубе высокопрочной предварительно напряженной проволоки для производства напорных труб наиболее целесообразна одноступенчатая технология, обеспечивающая формирование защитного слоя спирали одновременно с телом трубы бетонной смесью на обычном портландцементе.

Глава IV

КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

Развивающееся в мировой практике строительство напорных водоводов из железобетонных труб все более привлекает внимание строителей к вопросам изыскания рациональных конструкций железобетонных напорных труб, новых типов стыковых соединений и исследования их работы. Особенно большое количество различных вариантов конструкций железобетонных труб и их стыковых соединений можно встретить в зарубежной практике.

1. КОНСТРУКЦИИ ТРУБ И ИХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИИ

Все известные в настоящее время железобетонные напорные трубы по их конструкции и способу изготовления можно классифицировать следующим образом:

а) с обычной арматурой для гидравлического давления до 3 ат и с гидроизоляционной прослойкой — до 6 ат (центрифугированные);

б) с обычной арматурой и стальным цилиндром для гидравлического давления до 10 ат (с центрифугированным внутренним слоем бетона и вибрированным наружным или полностью вибрированным бетоном);

в) со стальным цилиндром и предварительно напряженной спиральной арматурой для гидравлического давления до 20 ат (центрифугированные или вибрированные);

г) с предварительно напряженной продольной и спиральной арматурой без стального цилиндра для гидравлического давления до 10 ат и более (центрифугированные, вибрированные или вибропрессованные).

Стыковые соединения труб могут быть жесткими или гибкими. По оформлению концов трубы различают: с раструбными концами; с гладкими цилиндрическими концами, применяющиеся в комплекте с муфтами, и с фланцевыми соединениями — для крепления железобетонных труб к металлическим фасонным частям трубопровода.

Железобетонные трубы с обычной арматурой (рис. 15, а) должны быть рассчитаны на внутреннее гидравлическое давление и внешние нагрузки таким образом, чтобы растягивающие напряжения в стенках не превышали предельных значений для бетона и таким образом гарантировалась бы их прочность. Предел прочности бетона на растяжение обычно не превышает 30 кг/см^2 , поэтому приходится нерационально увеличивать толщину стенок и повышать стоимость труб.

Для изготовления двойной арматурной сетки труб применяется сталь класса А-II и А-III и холоднотянутая проволока.

Железобетонные напорные трубы с обычной арматурой и стальным цилиндром (рис. 15, б) представляют собой одну из первых известных конструкций железобетонных напорных труб. Стальной сварной цилиндр толщиной до 1,5 мм используется обычно только как гидроизоляционная прослойка, защищенная от коррозии с обеих сторон бетоном. Все расчетные усилия воспринимаются рабочей арматурой, расположенной во внутреннем и наружном слоях бетона. Такие трубы диаметром от 400 до 1800 мм, длиной 5, 6 и 7 м применяются в массовом строительстве. Внутренний слой бетона наносится на центрифуге, а наружный (он же защитный слой) — в вертикальных виброформах.

Трубы больших диаметров (до 4000 мм) и длиной до 4 м чаще изготавливают полностью вибрированием в вертикальных разъемных фор-

мах. При этом стальной цилиндр толщиной до 8 мм, частично используемый в качестве несущей арматуры, размещается в сечении стенки ближе к внутренней поверхности трубы, а спиральная рабочая арматура — только в наружном слое бетона. В связи с тем, что трубы больших диаметров можно укладывать в точно фиксированном положении, рабочая арматура применяется двух видов — кольцевая и эллиптическая (с большой осью, расположенной горизонтально). Стальной цилиндр обычно рассчитывается на восприятие до 50% растягивающих

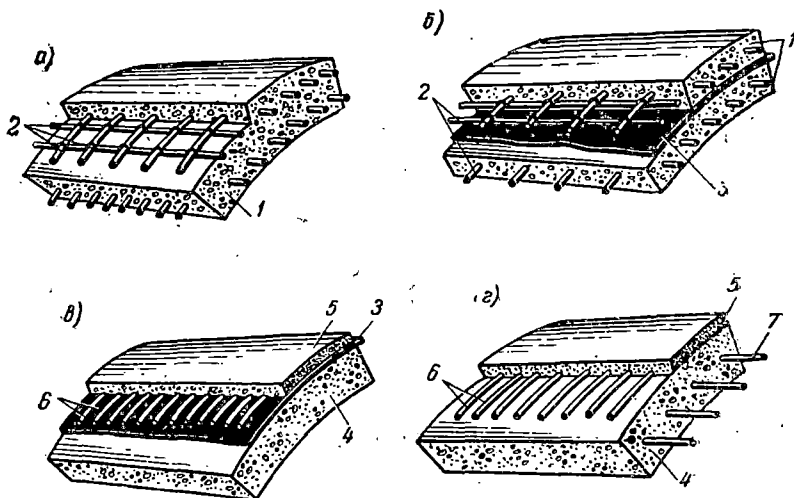


Рис. 15. Конструкции железобетонных напорных труб

а — с обычной арматурой; б — с обычной арматурой и стальным цилиндром; в — со стальным цилиндром и спиральной напряженной арматурой; г — с предварительно напряженной продольной и спиральной арматурой без стального цилиндра; 1 — бетон стенки трубы; 2 — каркас из обычной арматуры; 3 — стальной цилиндр; 4 — сердечник трубы; 5 — защитный слой; 6 — спиральная предварительно напряженная арматура; 7 — продольная предварительно напряженная арматура

усилий в сечении трубы. При этом предусматривается, что в случае выхода из строя части рабочей арматуры стальной цилиндр должен воспринять на себя все растягивающие усилия в сечении. Трубы такой конструкции в большинстве случаев изготовляют с раструбными концами, образуемыми приваркой к стальному цилиндру металлических обечаек, также толщиной до 8 мм. Трубы диаметром до 2000 мм чаще соединяют между собой посредством гибких стыковых соединений, а для труб диаметром более 2000 мм применяют гибкие и жесткие соединения.

Трубы со стальным цилиндром обычно применяют для напоров до 6, реже до 10 ат и в отдельных случаях — более 10 ат. Общий расход стали в них составляет иногда более 50% веса стальных труб. Достоинством конструкции является простота изготовления и гарантия водонепроницаемости, недостатком — увеличенный расход бетона и стали.

Более экономична по расходу стали и бетона конструкция напорных труб со стальным цилиндром и предварительно напряженной спиральной арматурой (рис. 15, в). Стальной цилиндр в этих трубах обеспечивает не только водонепроницаемость их стенок, но и заменяет продольную арматуру; цилиндр располагается ближе к наружной поверхности трубы. Поперечное армирование осуществляется предварительно напряженной спиралью из высокопрочной проволоки. Железобетонный сердечник трубы формируется в заранее изготовленном сварном цилиндре центрифугированием или чаще вибрированием в вертикальных разъемных формах. Спиральная арматура с заданным напряжением навивается на поверхность стального цилиндра после твердения бетона и обжи-

мает сечение трубы. Возникающие в стенке сердечника при навивке растягивающие напряжения вдоль трубы также воспринимаются стальным цилиндром. Для защиты металла от коррозии на поверхность сердечника торкретированием или вибрированием наносят защитный слой из цементного раствора толщиной 15—20 мм.

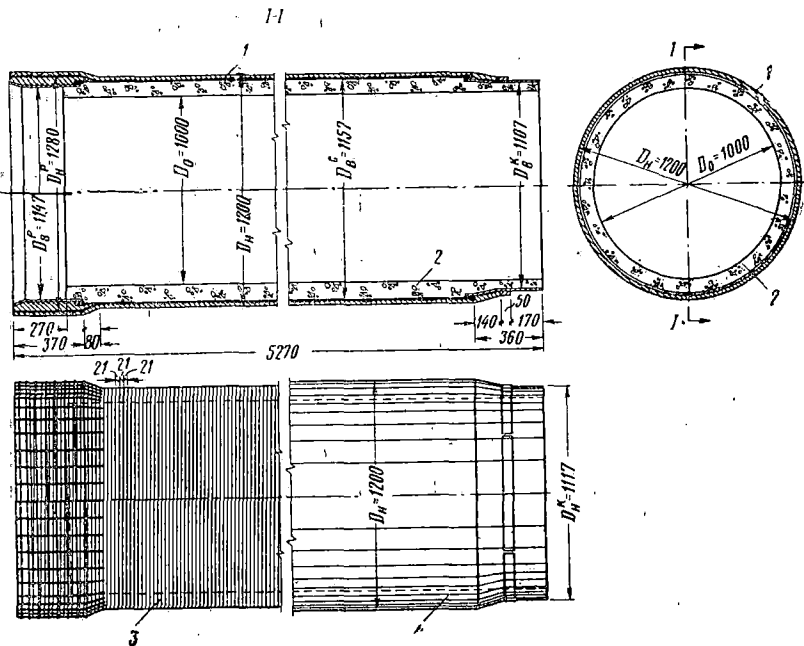


Рис. 16. Железобетонные напряженно-армированные трубы диаметром 1000 мм со стальным цилиндром для напора 10 ат конструкции института Водоканалпроект

1 — защитный слой; 2 — железобетонный сердечник; 3 — предварительно напряженная спиральная арматура; 4 — стальной цилиндр

В наших условиях для изготовления цилиндра применяется сталь класса А-IV толщиной 1—1,5 мм, а для спиральной навивки — гладкая высокопрочная проволока диаметром от 2 до 5 мм по ГОСТ 7348—63.

В практике действующих предприятий за рубежом такие трубы изготовляют диаметром от 400 до 1500 мм (реже больших диаметров), длиной до 6 м и рекомендуют их в основном для напоров от 5 до 20 ат. Трубы подобной конструкции могут проектироваться с гладкими или раструбными концами с металлическими обечайками толщиной 5—6 мм, привариваемыми к стальному цилиндру. Однако наиболее целесообразны гибкие раструбные соединения.

В нашей практике конструкции предварительно напряженных труб диаметром 500—1000 мм, длиной 5 м и диаметром 1200—1500 мм, длиной 3 м со стальным цилиндром для рабочего напора 10 ат были разработаны институтом Водоканалпроект б. Министерства строительства предприятий металлургической и химической промышленности. Опытное производство таких труб в вертикальных формах с вибрированием осуществлялось в тресте Закавказметаллургстрой. В последние годы напорные трубы со стальным цилиндром диаметром 1400 мм, длиной 5 м начали изготовлять также на Московском трубном заводе в Филах. Трубы изготовляются с гибкими стыковыми соединениями, допускающими поворот в месте стыка до 3°. Стальной цилиндр выполняется из

тонколистовой стали ГОСТ 3680—57 толщиной 1,5 мм, спиральная арматура — из высокопрочной проволоки ГОСТ 7348—63.

Конструкция трубы диаметром 1000 мм показана на рис. 16. Некоторые технические показатели труб, разработанных Водоканалпроектом, приведены в табл. 17.

Таблица 17

Техническая характеристика железобетонных напорных труб со стальным цилиндром

Показатели	Внутренний диаметр труб в мм							
	500	600	700	800	900	1000	1200	1500
	длина 5 м						длина 3 м	
Толщина стенки трубы в мм	70	80	90	90	100	100	120	140
Объем бетона марки 300 на трубу (включая защитный слой) в м ³	0,67	0,87	1,12	1,29	1,64	1,74	1,52	2,24
То же, на 1 пог. м в м ³	0,14	0,17	0,22	0,26	0,33	0,35	0,51	0,73
Расход стали на трубу в кг	177	240	290	340	442	490	474	720
В том числе на стальной цилиндр в кг	142	190	218	250	318	330	318	490
Общий расход стали на 1 пог. м трубы в кг	35,4	48	58	68	88,4	98	158	240
Вес трубы в т	1,7	2,22	2,58	3,3	4,18	4,51	4	5,91

Таким образом расход металла на изготовление цилиндра от общего расхода стали составляет 72—85% и на спиральную арматуру — 15—28%. Достоинством конструкции трубы является гарантия водонепроницаемости, недостатком — значительный расход металла для устройства цилиндров, хотя по сравнению со стальными трубами он не превышает 25—35%. Для сооружения водоводов с большими напорами применение таких труб было бы весьма целесообразно. Однако для широкого их внедрения необходимо дополнительное более тщательное изучение возможного возникновения электрохимической коррозии в результате образования замкнутой электрической цепи между соприкасающимися цилиндром и спиральной арматурой, изготовленных из различного металла.

Наиболее экономичной по расходу стали является конструкция железобетонной напорной трубы с предварительно напряженной продольной и спиральной арматурой без стального цилиндра (рис. 15, г).

Для армирования труб используется высокопрочная проволока. В отечественной практике спиральная арматура применяется диаметром от 2,5 до 5 мм из гладкой высокоуглеродистой проволоки ГОСТ 7348—63 с пределом прочности на разрыв до 200 кг/мм², а продольная арматура — из профилированной проволоки диаметром 8 мм по ГОСТ 8480—63 с пределом прочности на разрыв до 180 кг/мм² (проволока малого диаметра в этом случае применяется в прядях из 2—3 шт.).

Предварительное обжатие стенок труб в радиальном направлении достигает 100—150 кг/см², в продольном направлении — 20—50 кг/см² в зависимости от расчетных нагрузок на трубопровод.

Выбор марки бетона и диаметра высокопрочной проволоки в каждом отдельном случае должен производиться с учетом не только технической, но и экономической целесообразности (марку бетона целесообразно применять не ниже 500).

Предварительно напряженные трубы лучше делать с раструбными концами. В трубах с раструбными концами возможны два варианта отделки внутренней поверхности раструба — с помощью стальной обечай-

ки толщиной 4—6 мм, привариваемой к каркасу арматуры, или шлифовкой бетонной поверхности раструба, соприкасающейся с резиновой прокладкой стыкового соединения.

Трубы подобной конструкции диаметром от 500 до 1500 мм (реже большего диаметра) и длиной 5—6 м для рабочего напора до 10 ат обычно изготавливают в заводских условиях.

В зависимости от способа производства различают: трубы с необжатым защитным слоем, который при изготовлении по трехступенчатой технологии наносится на трубу после навивки спирали, и с обжатым защитным слоем. Последний при трехступенчатой технологии наносится на поверхность железобетонного сердечника, подвергнутого соответствующему гидравлическому напору, а при одноступенчатой технологии получается обжатым во время изготовления вибропрессованием всего монолитного сечения стенки трубы.

Железобетонный сердечник при производстве труб по трехступенчатой технологической схеме можно изготавливать центрифугированием, вибрированием или комбинированным способом («Рокла» и др.).

В отечественной практике предварительно напряженные напорные трубы без стального цилиндра диаметром 300—1500 мм, длиной 5 м для рабочих напоров 6, 8 и 10 ат были классифицированы во «Временных технических условиях на трубы железобетонные предварительно напряженные напорные и соединительные муфты к ним» (ТУ 67—51 МСПТИ). По этим ТУ в зависимости от несущей способности различались пять типов труб: НЖ-I, НЖ-II, НЖ-III, НЖ-IV и НЖ-V, характеристики которых по допускаемым рабочим напорам (p_d), соответствующим им контрольным испытательным давлениям по трещинообразованию ($p_{тр}$) и водонепроницаемости (p_n) приведены в табл. 18. Трубы предусмотрены только безраструбные двух конструкций: для укладки с гибкими

Таблица 18

Допускаемые величины давления на трубы в ат (б. ТУ 67-51 МСПТИ)

Характеристики	Типы труб				
	НЖ-I	НЖ-II	НЖ-III	НЖ-IV	НЖ-V
Контрольное испытательное давление по трещинообразованию ($p_{тр}$)	12	16	20	24	28
То же, по водонепроницаемости (p_n)	8	10	12	12	12
Допускаемый рабочий напор (p_d) по расчету, не более	6	8	10	10	10

стыковыми соединениями, имеющие на концах металлические обечайки, и с жесткими стыками — без металлических обечаек. Основные показатели труб, рассчитанных на рабочий напор 10 ат, приведены в табл. 19.

В настоящее время классификация, проектирование, технология изготовления и приемка железобетонных предварительно напряженных труб производятся в соответствии с требованиями СНиП.

Несомненно, наиболее прогрессивной является конструкция напорной трубы с монолитным сечением, включающим защитный слой; изготовление такой трубы с напряжением спиральной арматуры до отвердения бетона осуществляется способом гидравлического вибропрессования. Достоинство этой конструкции заключается в равномерном прессовании бетонной смеси в форме, последующем равномерном обжатии затвердевшего бетона предварительно напряженной спиральной и продольной арматурой, высокой плотности прессованного бетона, твердеющего под давлением, и правильности геометрических размеров отформованной трубы.

Основные показатели безраструбных предварительно напряженных труб без стального цилиндра (б. ТУ 67-51 МСПТИ) длиной 5 м, рабочий напор 10 ат

Показатели	Наружный диаметр трубы в мм						
	500	600	700	900	1000	1100	1200
Толщина стенки трубы в мм	55	65	75	85	85	95	95
Объем бетона трубы (включая защитный слой) в м ³	0,42	0,58	0,77	1,12	1,24	1,53	1,67
То же, на 1 пог. м в м ³	0,084	0,116	0,153	0,223	0,25	0,306	0,335
Расход стали на трубы НЖ-II, НЖ-III, НЖ-IV, НЖ-I в кг	23—42	34—61	48—88	70—130	90—164	107—201	132—265
То же, на 1 пог. м в кг	4,6—8,4	6,8—12,2	9,8—17,6	14—26	18—32,8	21,4—40,2	26,4—53
Вес трубы в т	1,1	1,5	2	2,9	3,2	4	4,4

Конструкция вибропрессованной трубы из серии изготавливаемых на трубном заводе в г. Куйбышеве диаметром 500—1200 мм на рабочее давление до 10 ат и стыкового соединения показана на рис. 17. В этих

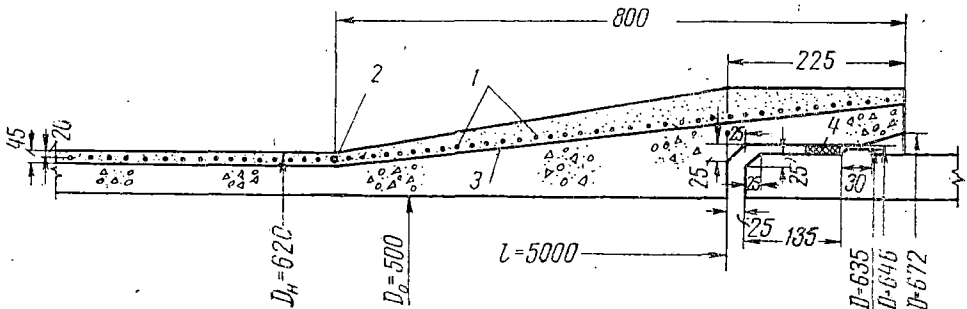


Рис. 17. Конструкция стыкового соединения железобетонной напряженно-армированной трубы диаметром 500 мм, длиной 5 м, изготавливаемой способом виброгидропрессования
1 — спиральная арматура 32 Ø 4 или 52 Ø 3 мм; 2 — обжимное кольцо диаметром 8—10 мм; 3 — продольные стержни 22 Ø 4 мм периодического профиля; 4 — резиновое кольцо

трубах продольная арматура, напрягаемая предварительно на форме, выполняется из профилированной высокопрочной проволоки диаметром 4 мм по ГОСТ 8480—63 с $R_a^H = 160 \text{ кг/мм}^2$, а спиральная арматура, напрягаемая в процессе гидравлического прессования, — из высокопрочной гладкой проволоки диаметром 3—4 мм по ГОСТ 7348—63 с $R_a^H = 160 \div 180 \text{ кг/мм}^2$. Марка бетона 500. Трубы изготовляют с раструбными соединениями без металлических обечаек, поэтому бетонные поверхности концов труб, соприкасающиеся с резиновыми стыковыми кольцами, тщательно обрабатываются шлифовкой.

В табл. 20 приведены некоторые технические показатели вибропрессованных труб диаметром от 500 до 1200 мм, длиной 5 м.

Исключительно ответственными в конструкции напорных трубопроводов являются стыковые соединения. Они должны, во-первых, обеспечить герметизацию стыка труб и, во-вторых, предохранить трубопровод от аварийных деформаций, которые могут быть вызваны изменени-

Техническая характеристика вибропрессованных напорных труб
диаметром от 500 до 1500 мм, длиной 5 м

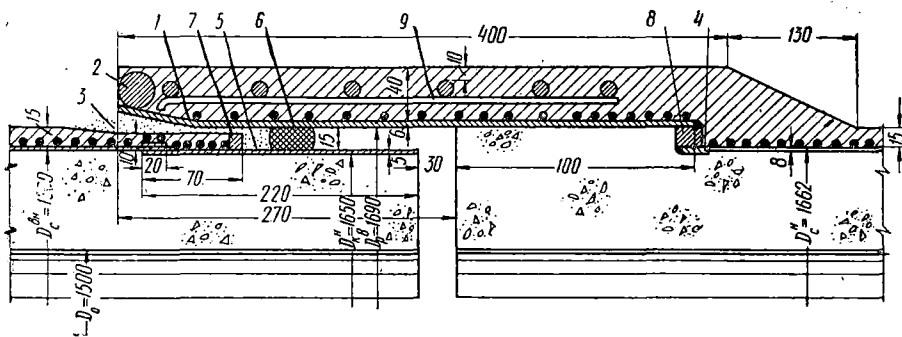
Показатели	Внутренний диаметр трубы в мм							
	500	600	700	800	900	1000	1200	1500
Толщина стенки в мм	60	60	60	80	80	80	100	120
Объем бетона трубы в м ³	0,64	0,75	0,9	1,2	1,4	1,55	2,3	3,35
То же, на 1 пог. м в м ³	0,13	0,15	0,18	0,24	0,28	0,31	0,46	0,67
Расход стали на трубу в кг	42	57	78	109	140	175	210	285
То же, на 1 пог. м в кг	8,4	11,4	15,6	22	28	35	42	57
Вес трубы в т	1,6	1,8	2,2	3,1	3,5	3,9	5,7	8,4

ем температуры грунта или транспортируемой по трубопроводу жидкости, осадками или просадками грунта, гидравлическим ударом, а также продольными усилиями, возникающими от движения жидкости по трубопроводу (особенно в местах поворота трассы, установки отводов и задвижек).

При устройстве жестких стыков возникающие напряжения дополнительно нагружают конструкцию водовода, при этом деформации его могут быть допущены только в пределах упругих свойств материала трубы. Естественно, что в этих случаях должны быть повышены требования к проектированию трассы водовода, устройству основания для укладки труб и ограничен напор в целях сведения к минимуму возможных деформаций «жесткого» трубопровода. При проектировании такого водовода устройство стыков должно осуществляться особенно тщательно, учитывая все действительные условия его строительства и эксплуатации. Жесткие стыки применяют для соединения раструбных и цилиндрических труб. В последнем случае используют предварительно напряженные железобетонные или чугунные муфты. Железобетонные муфты изготавливают одновременно с трубами и рассчитывают на то же гидравлическое давление, что и трубы. Длина муфты от 300 до 450 мм. Чугунные надвижные муфты (ГОСТ 5225—61) разрешается применять для жестких стыков только в исключительных случаях. При устройстве жестких стыков щель между наружной поверхностью конца трубы и внутренней поверхностью муфты или пространство в раструбе уплотняют пеньковой пряжей с последующей заделкой (зачеканкой) асбестоцементом или другим водонепроницаемым материалом. В особо ответственных трубопроводах применяют чеканку стыков свинцом.

Наиболее прогрессивным решением стыкового соединения является гибкий стык, который допускает взаимное смещение труб в продольном направлении до 5 мм и поворот конца трубы или прогиб в стыке обычно в среднем до 1,5°. В некоторых зарубежных конструкциях гибких стыков поворот конца трубы в зависимости от диаметра соединяемых труб допускается от 2 до 6° (например, стык «Викинг—Джонсон» и др.). При этом стыковое соединение должно отвечать требованию водонепроницаемости и герметичности даже в случае образования вакуума в трубопроводе. В конструкции современного гибкого стыка водонепроницаемость обеспечивается применением упругой прокладки в виде резинового кольца круглого сечения диаметром обычно от 25 до 32 мм в зависимости от диаметра трубы или применением другой упругой прокладки. Резиновое кольцо должно хорошо противостоять старению, а также возможным агрессивным влияниям. Практика строительства напорных водоводов за рубежом показывает, что резиновые кольца из ка-

Гибкие стыки можно также применять для соединения железобетонных напорных цилиндрических и раструбных труб. Стыкование цилиндрических труб в данном случае допускается производить с помощью соединительных металлических муфт.

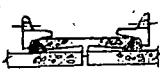
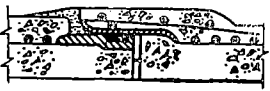


1 — раструбная обечайка; 2 — кольцо жесткости; 3 — цементный раствор; 4 — подкладное кольцо; 5 — гладкая обечайка; 6 — резиновое кольцо; 7 — замок; 8 — переходное кольцо; 9 — сетка

На рис. 18 показано гибкое стыковое соединение для предварительного напряженных труб диаметром от 500 до 1500 мм со стальным цилиндром конструкции ВОДГЕО, осуществленное в тресте Закавказметаллургстрой. Испытание стыка под давлением до 15 ат подтвердило

Таблица 21

Характерные типы гибких стыковых соединений (в зарубежной практике)

Типы стыковых соединений	Допустимый угол поворота в град	Диаметр труб в см	Испытатель- ное давление, в ат
«Викинг — Джонсон» (США) 	При диаметрах труб: до 60 см 6 от 60 до 75 см 5 от 75 до 90 см 4 от 90 до 120 см 3 от 120 до 180 см 2	5—180	До 24
«Локк Джойнт» (США) 	1	40—210	6—24
«Сокоман» (Франция) 	1—1½	30—160	До 24
«Сокол» (Бельгия) 	2	—	» 24
«Сентаб» (Швеция) 	1—2	50—120	» 20
«Примо» (Швеция)	1—2	40—150	» 20

его герметичность, осевое перемещение концов труб в стыке до 34 мм, взаимный поворот труб — до 3° и осадка трубы — до 24 мм.

В табл. 21 даны наиболее характерные типы гибких стыковых соединений железобетонных напорных труб, применяющиеся в различных странах.

На рис. 19 показана конструкция наиболее распространенного в США гибкого стыкового раструбного соединения фирмы «Локк Джойнт». Такие стыковые соединения применяются в трубах диаметром до 2100 мм для испытательного давления от 6 до 24 ат. Однако наибольший угол поворота труб в стыке относительно невелик — до 1°. На рис. 20 приведен вариант такого же стыка, но

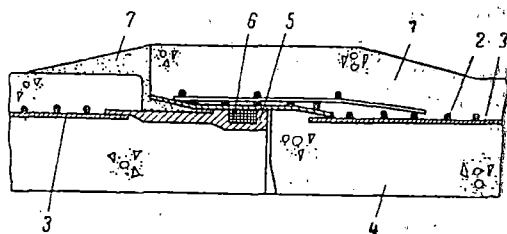


Рис. 19. Конструкция гибкого стыкового соединения фирмы «Локк Джойнт» в трубах со стальным цилиндром

1 — защитный слой; 2 — напряженная арматура;
3 — стальной цилиндр; 4 — бетонный сердечник;
5 — стальные обечайки; 6 — резиновое кольцо; 7 — цементный раствор

с металлическим цилиндром, расположенным ближе к внутренней поверхности трубы, в связи с чем отпадает необходимость устройства раструбного утолщения. Уплотнение стыка производится резиновым кольцом, закатываемым в специальное углубление, имеющееся в фасонных стальных соединительных обечайках, приваренных к стальному цилиндру

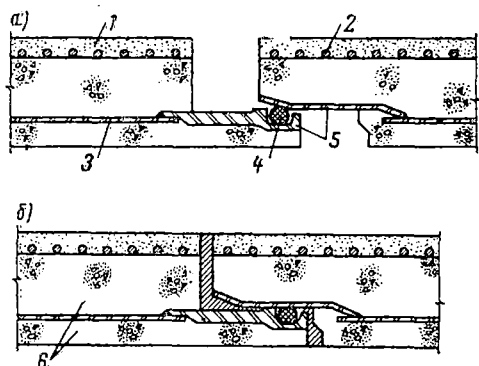


Рис. 20. Вариант конструкции стыка «Локк Джойнт» для труб со стальным цилиндром, расположенным у внутренней поверхности трубы

а — перед надвигкой; б — заделанный стык; 1 — защитный слой; 2 — предварительно напряженная спираль; 3 — стальной лист; 4 — резиновое кольцо; 5 — стальные профилированные кольца; 6 — железобетонный сердечник

трубы. Стыки подобной конструкции применяются фирмой «Бетондак» в Голландии для соединения предварительно напряженных напорных раструбных труб (рис. 21). Но стальные фасонные обечайки в этом варианте заанкериваются в железобетонном сердечнике бортиком листа, отогнутым под прямым углом, и обвиваются предварительно напряженной спиралью. Кроме того, концы трубы усиливаются конструктивной арматурной сеткой.

К группе гибких стыковых соединений с железобетонными раструбами без стальных обечаек, уплотняемых резиновыми круглыми кольцами, относятся конструкции стыков, применяемых фирмами «Стентон» в Австрии, «Сентаб-Пайп» и «Асторпс Брук» в Швеции и др.

На рис. 22 показана конструкция стыка фирмы «Стентон» с резиновым уплотнением.

Кроме круглых резиновых колец для уплотнения стыков применяют другие конструкции прокладок. Одним из таких решений является резиновое кольцо, поперечное сечение которого имеет U-образную форму (рис. 23). При монтаже кольцо вкладывается в специальный паз, предусмотренный в цилиндрическом конце трубы, и вводится в раструб. Гидравлическим давлением кольцо прижимается к стенкам раструба тем сильнее, чем выше давление. Между соединяемыми трубами предусмотрен зазор, равный в данном случае (см. рис. 23) 40 мм, чтобы при продольных деформациях труба могла перемещаться в обе стороны до 36 мм — 1% от длины трубы; таким образом, наименьший зазор между трубами 4 мм и наибольший — 76 мм. Опыт показал, что при постоянном напоре стыковое соединение с таким уплотнением работает удовлетворительно, однако при образовании вакуума резиновое кольцо отходит, опускается внутрь трубопровода и выходит из строя. Поэтому для использования в отечественной практике такие кольца не рекомендуются. Интересно отметить, что стоимость новых форм для изготовления подобного типа прокла-

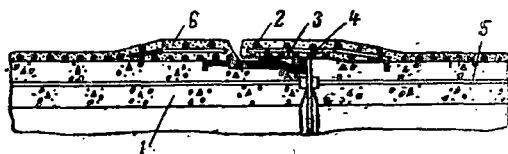


Рис. 21. Конструкция гибкого стыкового соединения фирмы «Бетондак» для напорных труб без стального цилиндра

1 — бетонный сердечник; 2 — напряженная спиральная арматура; 3 — стальные обечайки; 4 — резиновое кольцо; 5 — напряженная продольная арматура; 6 — защитный слой

дочных резиновых колец при строительстве за рубежом первого небольшого железобетонного трубопровода диаметром 1000 мм составила около 8,5% от стоимости трубопровода при общей экономии, полученной на

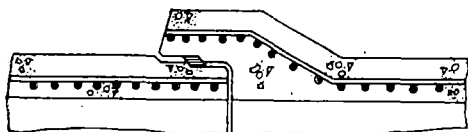


Рис. 22. Конструкция гибкого стыкового соединения фирмы «Стентон» для напорных труб без металлических обечаек

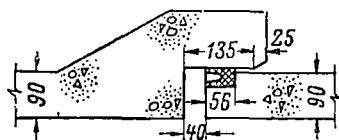


Рис. 23. Гибкое стыковое соединение железобетонных труб с уплотнением стыка резиновым кольцом U-образного сечения

строительстве благодаря применению железобетонных труб вместо стальных, не менее 30%.

2. ФАСОННЫЕ ДЕТАЛИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ

Для строительства железобетонных напорных водоводов необходимо организовать изготовление железобетонных переходов, колен, тройников, отводов и других фасонных деталей соответствующего диаметра. Применение металлических фасонных элементов связано, во-первых, со значительным расходом металла и, во-вторых, с введением в железобетонный водовод металлических вставок, неравнозначных в отношении коррозии с железобетонными трубами. В отдельных случаях подобные решения технически и экономически оправдываются, однако, как правило, в железобетонных водоводах надлежит применять только железобетонные фасонные детали.

В отечественной практике железобетонные фасонные элементы в напорных водоводах не получили еще широкого применения, поэтому целесообразно ознакомиться с имеющимся зарубежным опытом.

Фасонные элементы, применяемые при устройстве напорных железобетонных водоводов, используются в основном для:

- а) горизонтального, вертикального или совмещенного поворота водовода;
- б) изменения диаметра водовода;
- в) бокового ответвления от основного водовода равного или меньшего диаметра;
- г) присоединения железобетонного напорного водовода к водоводу из труб другого материала (стальных, чугунных, асбестоцементных и др.);
- д) присоединения к разводящим сетям зданий и сооружений;
- е) устройства в напорных железобетонных трубах воздушных клапанов (продувка водовода, люков, затворов, перемычек и заглушек).

В зарубежной практике во Франции, США, Голландии, Швеции, Дании и других странах железобетонные фасонные элементы являются стандартными деталями.

На предприятиях фирмы «Бонна» во Франции и в ряде других стран Западной Европы, а также другими фирмами, выпускающими железобетонные трубы, уже длительное время изготавливаются различные фасонные железобетонные элементы для напорных водоводов с внутренним диаметром от 200 до 2500 мм. Особенно широкое применение

ние получили переходы, колена и трубы с ответвлениями. Фасонные элементы изготовляют с раструбными и фланцевыми соединениями.

Материалом для изготовления железобетонных фасонных элементов служит тонкий стальной лист, соответствующим образом раскроенный. Толщина листа назначается по расчету, но обычно в практике ее принимают в пределах 1,5—3 мм. Защитный слой бетона наносят различными способами в зависимости от сложности конфигурации и раз-

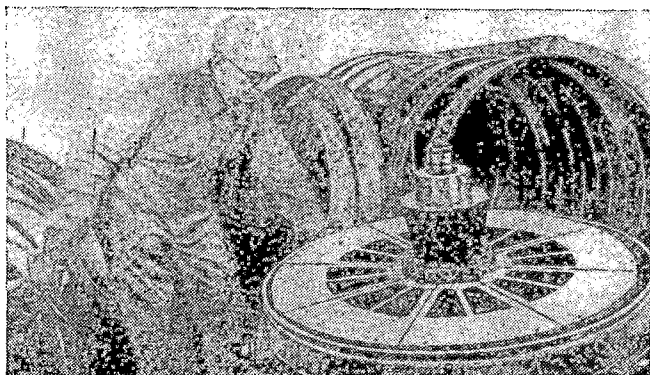


Рис. 24. Обработка в холодном состоянии на гидравлическом прессе стальных соединительных обечайек с допуском $\pm 1,5$ мм.

меров фасонной детали: центрифугированием, вибрированием или обычным обетонированием. С наружной стороны обетонирование производится по проволоочной сетке.

Стальной лист приваривается к обрамляющим его по концам фасонной детали стальным соединительным обечайкам толщиной обычно 6 мм и шириной 120—140 мм. Стальные обечайки предварительно обрабатывают в холодном состоянии на гидравлическом прессе для обеспечения точности формы и размеров кольца (рис. 24), гальванизируют в целях защиты их от коррозии и только после этого приваривают к стальному сердечнику фасонной детали. Стальной сердечник подвергают предварительному испытанию внутренним гидравлическим давлением и затем обетонируют.

Фасонные железобетонные элементы должны быть предохранены от ударов и повреждений во время погрузки на транспортные средства, транспортирования и разгрузки на трассе.

Гладкий конец фасонной детали, вводимый в раструб уложенной трубы при монтаже водовода, имеет, как и в обычных трубах, кольцевой паз для резинового кольца. Другой конец фасонного элемента, раструбный, также изготавливается по аналогии с раструбным концом обычной трубы и является точным его повторением. Допуски в геометрических размерах стальных кольцевых обечайек не превышают $\pm 1,5$ мм, что гарантирует равномерное сжатие резины и полную водонепроницаемость соединения.

Резиновые кольца предварительно тщательно смазывают мыльным составом, который готовят из мыла на основе растительных жиров, смешанного с водой в пропорции 1:5. Этот состав должен быть приготовлен за сутки до употребления. Мыльным составом покрывают также раструб и кольцевой паз на гладком конце трубы, чтобы растянутая резиновая прокладка хорошо располагалась в кольцевом пазе, чем достигается ее равномерное обжатие по всей окружности трубы.

Если размеры трубы допускают возможность войти в нее, рабочий должен проследить изнутри за вводом гладкого конца в раструбный, за правильным обжатием резиновой прокладки и образованием задан-

ного зазора между торцами вводимого элемента и раструба (для этой цели необходимо применять временные деревянные или металлические вкладыши). Правильность положения резиновой прокладки на гладком конце монтируемого элемента проверяют специальным щупом (рис. 25). Если проверка подтвердит, что прокладка находится на месте, устанавливаемое звено вдвигают в раструб до конца.

Установка некоторых фасонных частей трубопровода требует специальной организации работ. Так, например, при монтаже железобетонных колен больших диаметров колено подвешивают двумя талями в том положении, в котором оно должно быть вдвинуто в раструб ранее уложенной трубы, и реечным домкратом подают вперед. Колено на талях обычно удерживают до тех пор, пока не будет смонтирована следующая труба, закрепляющая его в проектном положении.

Место стыкового соединения обтягивают резиновым бандажом, смазанным с внутренней стороны мыльным составом, и зазор между трубами заливают специальной горячей асфальтобетонной массой, имеющей температуру около 200°C . Через полчаса после заливки бандаж может быть снят.

Такие фасонные части, как колено, воспринимают боковую нагрузку от внутреннего гидравлического давления, поэтому они должны быть забетонированы с опорой, прочно упирающейся в твердый грунт.

Засыпку траншей с уложенными фасонными элементами производят с большой осторожностью, чтобы предотвратить возможное смещение труб, а пазухи труб тщательно подбивают. При поточной укладке засыпку траншей производят до середины последней уложенной трубы.

Поворот трассы водовода может быть выполнен разными способами в зависимости от радиуса кривой: при больших радиусах закруглений, т. е. при пологой кривой, в водоводах с гибкими стыками поворот обеспечивается путем смещения труб в стыковых соединениях; величина смещения зависит от диаметра и конструкции труб. Так, для труб типа «Бонна» диаметром от 300 до 2500 мм угол поворота в стыке допускается в пределах от $0,9$ до $3,2^{\circ}$, при этом величина радиуса закругления получается соответственно в пределах от 320 до 90 м. Подробные данные для различных диаметров труб приведены на рис. 26.

Существует практика изготовления труб со скошенным концом путем установки стыковой обечайки гладкого конца трубы под углом к оси трубы. Максимальный скос допускает отклонение трубы от прямой трассы на $4-5^{\circ}$ в зависимости от их диаметра. Практикуется применение косых вставок, представляющих короткие элементы, изготовленные сваркой между собой скошенных раструбной и гладкой стыковых обечаек. Такие вставки оказались весьма целесообразными для устройства изгиба трассы водовода в непредусмотренных случаях, которые могут возникнуть в полевых условиях.

Для осуществления поворота водовода с меньшим радиусом кривизны применяют специальные фасонные железобетонные элементы. Стандартные колена, применяемые, например, для труб конструкции

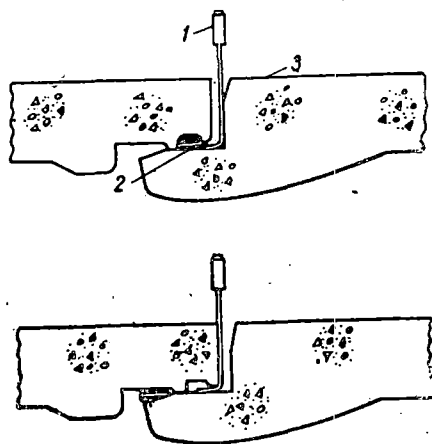
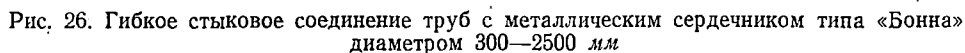


Рис. 25. Проверка щупом правильности укладки резинового кольца

1 — щуп; 2 — резиновое кольцо; 3 — внутренняя поверхность трубы



а) α L_n R D_u $D_l \geq 500$ мм

б) 100° L_n R D_u $D_l \geq 500$ мм

в) Для $D_l \geq 1800$ мм: 60
к.к. п. и. в. : 140

Рис. 27. Конструкция и основные размеры железобетонных колен диаметром 300—2500 мм

a — для укладки труб с металлическим цилиндром; *b* — для укладки труб без металлического цилиндра

D_i	D_u	Расчетная длина L_n в мм при α						Длина T в мм при α						R
		$7 \frac{1^\circ}{2}$	15°	$22 \frac{1^\circ}{2}$	30°	$37 \frac{1^\circ}{2}$	45°	$7 \frac{1^\circ}{2}$	15°	$22 \frac{1^\circ}{2}$	30°	$37 \frac{1^\circ}{2}$	45°	
300	405	410	514	619	723	828	932	53	105	159	215	272	331	800
400	510	423	541	658	776	894	1012	59	118	179	241	306	373	900
500	620	436	567	698	829	959	1090	66	132	199	268	340	414	1000
600	730	494	638	782	926	1070	1214	72	145	219	295	374	456	1100
700	840	507	664	821	978	1135	1292	79	158	239	322	408	497	1200
800	954	520	690	861	1031	1201	1371	85	171	259	348	442	538	1300
900	1050	533	717	900	1083	1267	1450	92	184	278	375	476	580	1400
1000	1154	546	743	939	1135	1332	1528	98	197	298	402	510	621	1500
1100	1270	559	769	978	1188	1397	1607	105	211	318	429	543	663	1600
1200	1420	573	795	1018	1240	1463	1685	111	224	338	456	577	704	1700
1400	1640	599	847	1096	1345	1594	1842	124	250	378	509	645	787	1900
1450	1680	605	861	1116	1371	1626	1882	128	257	388	523	662	808	1950
1630	1880	629	908	1186	1465	1744	2023	140	281	424	571	724	882	2130
1800	2070	506	807	1108	1409	1710	2011	151	303	457	616	781	953	2300
2000	2300	532	860	1187	1514	1841	2168	164	329	497	670	849	1036	2500
2500	2852	598	990	1373	1776	2169	2561	197	395	597	804	1019	1243	3000

«Бонна», имеют углы поворота $7,5-15-22,5-30-37,5-45^\circ$. Длина их зависит от диаметра трубы и угла поворота. Соответствующие размеры колен показаны на рис. 27.

На рис. 28 показана укладка железобетонного напорного водовода диаметром 4120 мм с поворотом трассы.

Фасонные железобетонные элементы — переходы — изготавливают с

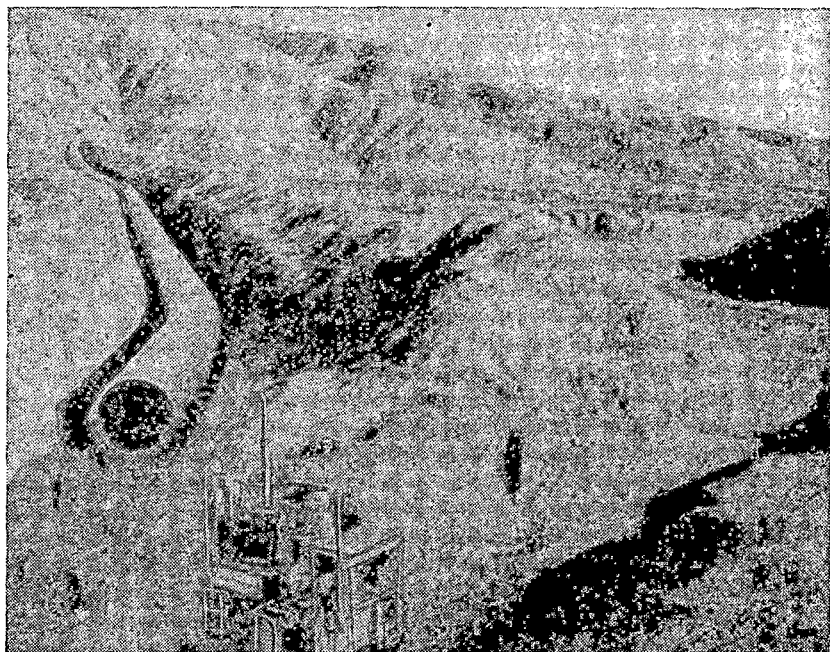


Рис. 28. Сооружение железобетонного напорного водовода диаметром 4120 мм (США). Поворот трассы водовода

фланцевыми или раструбными (рис. 29) соединениями. Изготавливают такие переходы для присоединения и к чугунным трубам.

Для выполнения ответвлений поставляются специальные железобетонные элементы или железобетонные трубы с ответвлениями, имеющими фланцевые или раструбные соединения (рис. 30); к ним же относятся железобетонные трубы с ответвлениями для выпуска воды и промывки сети (рис. 31). Выпуски располагают в низких точках трассы и предусматривают таких размеров, которые достаточны для удаления воды из трубопровода в короткий срок.

Отверстия для откачки воды в трубах делают в их верхней части и достаточного размера — для присоединения пневматического насоса с воздухопроводом и шлангами. Для выпуска воздуха при первоначальном заполнении линии и во время ее эксплуатации

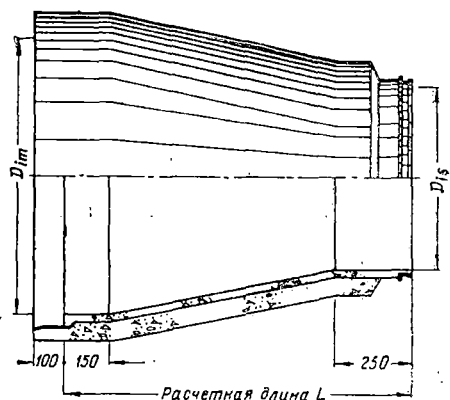


Рис. 29. Фасонная железобетонная деталь для перехода от одного диаметра водовода к другому

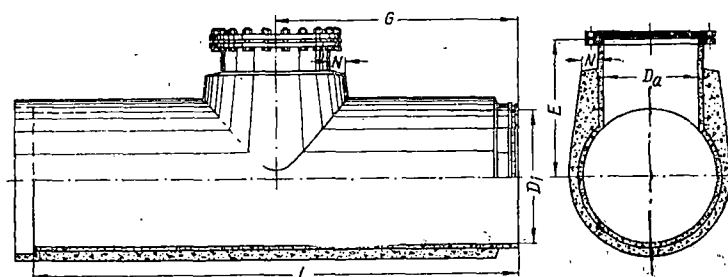


Рис. 30. Конструкция и основные размеры железобетонных тройников диаметром 300—2500 мм

Тип трубы	D_1 , мм	E/N при D_a в мм				L, см	G, см
		100—250	300—500	600—800	900—1100		
A-300/ D_a	300	470/50	480/50			520	
A-400/ D_a	400	520/50	540/50			520	
A-500/ D_a	500	580/60	600/60			200	100
A-600/ D_a	600	630/70	660/70	680/70		200	100
A-700/ D_a	700	690/80	710/80	740/80		200	100
A-800/ D_a	800	750/80	770/80	810/80		200	100
A-900/ D_a	900	790/90	820/90	860/90	870/90	200	100
A-1000/ D_a	1000	850/90	870/90	910/90	940/90	200	100
A-1100/ D_a	1100	900/100	930/100	970/100	1010/100	200	100
A-1200/ D_a	1200	980/110	1010/110	1040/110	1080/110	200	100
A-1250/ D_a	1250	990/120	1020/120	1060/120	1100/120	200	100
A-1400/ D_a	1400	1090/130	1110/130	1150/130	1190/130	200	100
A-1450/ D_a	1450	1110/140	1130/140	1170/140	1210/140	200	100
A-1630/ D_a	1630	1210/150	1230/150	1270/150	1310/150	200	100
A-1800/ D_a	1800	1300/170	1330/170	1370/170	1410/170	250	125
A-2000/ D_a	2000	1420/190	1440/190	1480/190	1520/190	250	125
A-2500/ D_a	2500	1690/240	1720/240	1760/240	1800/240	250	125

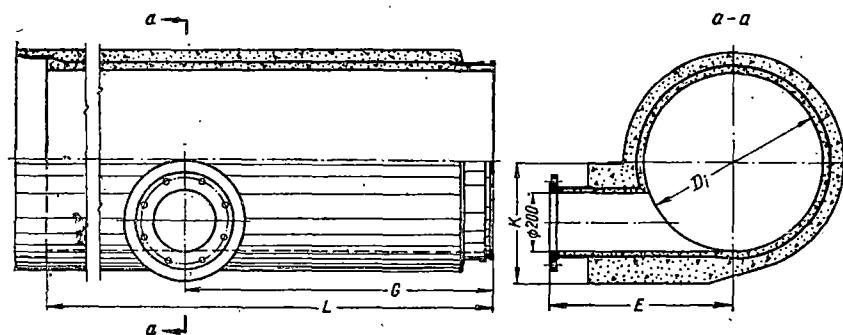


Рис. 31. Железобетонная труба с фасонной деталью для выпуска воды

Тип трубы	D_1 , мм	E, см	L, см	G, см	K, см	Тип трубы	D_1 , мм	E, см	L, см	G, см	K, см
SV(H)-300	300	40	520	70	40	SV(H)-1200	1200	92	200	100	50
SV(H)-400	400	48	520	70	40	SV(H)-1250	1250	94	200	100	55
SV(H)-500	500	57	200	100	40	SV(H)-1400	1400	101	200	100	55
SV(H)-600	600	62	200	100	40	SV(H)-1450	1450	101	200	100	55
SV(H)-700	700	67	200	100	45	SV(H)-1630	1630	109	200	100	55
SV(H)-800	800	72	200	100	45	SV(H)-1800	1800	116	250	125	60
SV(H)-900	900	77	200	100	50	SV(H)-2000	2000	124	250	125	60
SV(H)-1000	1000	81	200	100	50	SV(H)-2500	2500	144	250	125	70
SV(H)-1100	1100	86	200	100	50						

в наиболее высоких точках трассы помещают автоматические или ручные вантузы.

В ряде водоводов требуется установка вакуумных клапанов для впуска воздуха в водовод, например, чтобы предотвратить вторичные гидравлические удары (при наличии ниже уравнительного устройства).

Присоединение железобетонного напорного водовода к чугунным трубам показано на рис. 32 и 33; в первом случае к раструбному и во

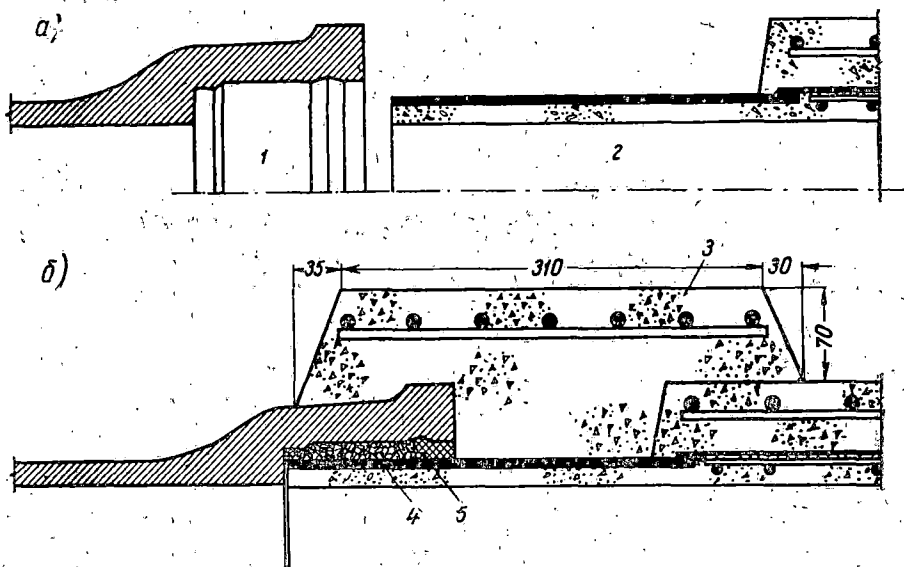


Рис. 32. Деталь присоединения железобетонной напорной трубы к раструбному концу чугунной трубы

а — стыковое соединение перед монтажом; *б* — готовое стыковое соединение; 1 — раструб чугунной трубы; 2 — обетонированная стальная обечайка; 3 — железобетонная монолитная муфта; 4 — смоляная прядь; 5 — свинцовая чеканка

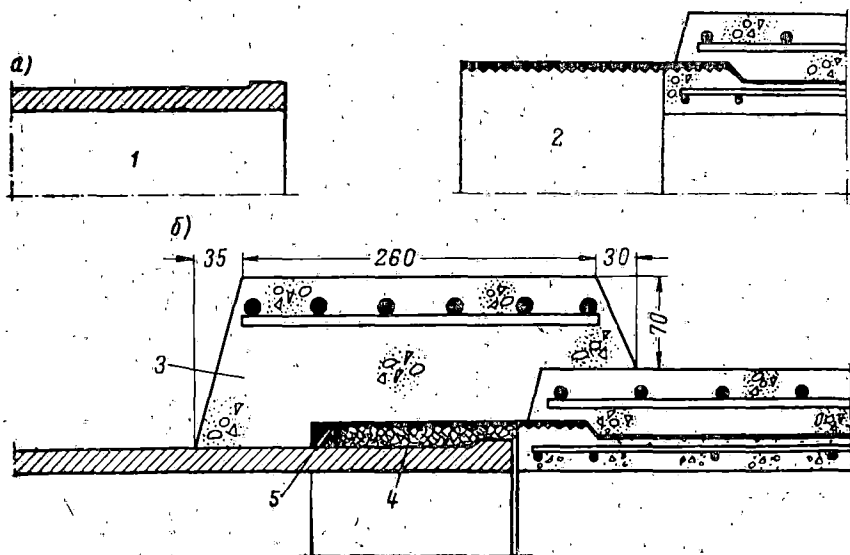


Рис. 33. Деталь присоединения железобетонной напорной трубы к гладкому концу чугунной трубы

а — стыковое соединение до монтажа; *б* — готовое стыковое соединение; 1 — гладкий конец чугунной трубы; 2 — профилированная стальная обечайка; 3 — железобетонная монолитная муфта; 4 — смоляная прядь; 5 — свинцовая чеканка

втором — к гладкому концу трубы. В обоих случаях стыковое соединение обетонируется (с укладкой арматурного каркаса).

Конструкция фланцевого соединения примыкающей железобетонной трубы к металлической показана на рис. 34.

При устройстве ввода в здание или в какое-либо из инженерных сооружений на трассе водовода применяют специальные короткие железобетонные звенья или вставки.

При необходимости устройства (иногда в процессе эксплуатации) ответвлений небольших диаметров или врезки контрольных приборов

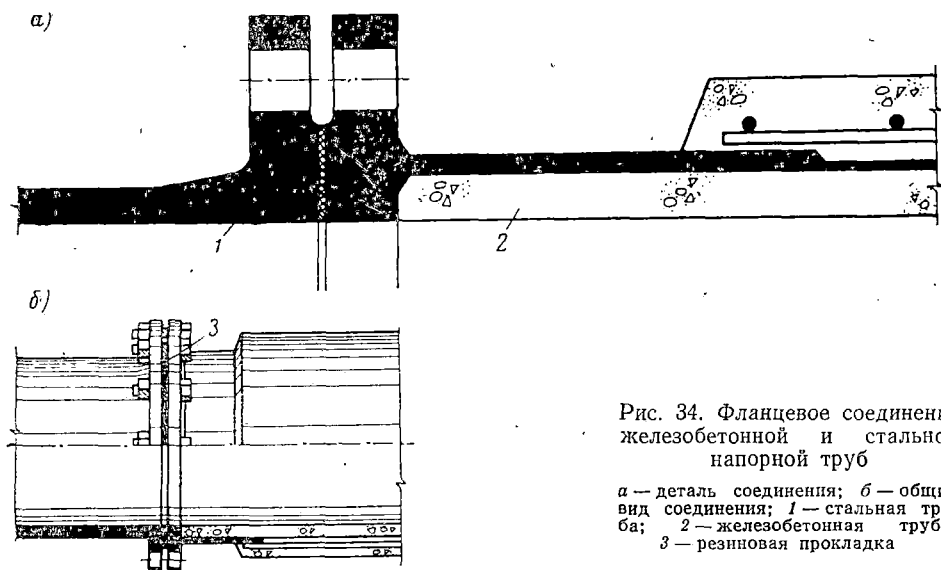


Рис. 34. Фланцевое соединение железобетонной и стальной напорной труб

а — деталь соединения; б — общий вид соединения; 1 — стальная труба; 2 — железобетонная труба; 3 — резиновая прокладка

используются присоединения труб диаметром от 12 до 50 мм. В трубах со стальным цилиндром для этой цели в месте присоединения удаляется защитный слой бетона и арматуры и к стальному цилиндру плотно прижимается через резиновую кольцевую прокладку специальное фасонное устройство с сальником, имеющим резьбу для присоединения крана, удерживаемое на месте небольшой седелкой и овальными болтами, охватывающими трубу. Проходной кран ввинчивается в сальник, и к нему присоединяется сверлильная машина для образования отверстия в стенке трубы. Аналогичным способом в процессе эксплуатации водовода может быть осуществлено фланцевое присоединение к нему ответвлений более значительных диаметров (но менее диаметра основного магистрального трубопровода). В этом случае к накладке присоединяется специальная задвижка, а к последней — машина для сверления трубы. Если присоединение имеет большой диаметр и может быть осуществлено к трубопроводу, свободному от воды, бетон стенки трубы удаляют вручную, например, пневматическим инструментом, а стальной сердечник вырезают автогенно. Патрубок отвода в этом случае приваривают к стальному цилиндру и седелке, прижатой к трубе болтами.

При устройстве отводов к железобетонным трубам без стального цилиндра седелку прижимают болтами к бетонной поверхности трубы через резиновую прокладку, обеспечивающую водонепроницаемость соединения. К седелке приваривают фланцевый патрубок присоединяемой трубы, и дальнейший процесс врезки осуществляют как в напорной трубе с металлическим сердечником.

Описанный способ непригоден для присоединения к магистральному водоводу ответвления того же диаметра. В этом случае надлежит

трубу в месте присоединения заменять специальной трубой с крестовиной и затвором.

Из изложенного следует, что производство железобетонных фасонных деталей необходимо создавать параллельно с производством железобетонных напорных труб. Фасонные детали должны поставляться на строительство водоводов комплектно с трубами.

3. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С УКЛАДКОЙ, ИСПЫТАНИЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕМ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В результате производственного опыта и научно-исследовательских работ, осуществляющихся в течение последних более чем 50 лет в США, Англии, Франции, Швеции и в других странах, а также в Советском Союзе, начиная с 1930 г. было установлено, что несущая способность трубы, уложенной в подземном трубопроводе, зависит от следующих основных факторов:

- а) конструкции стенки трубы и предела прочности при растяжении ее материала;
- б) степени деформации, претерпеваемой трубой до разрушения, и формы разрушения ее от вертикальных нагрузок;
- в) длины трубы и типа соединения;
- г) характера постели трубы.

По степени деформации (до разрушения) горизонтального диаметра трубы при воздействии вертикальных нагрузок Морстоном (США) введена следующая классификация труб: гибкие, деформирующиеся до 3% и более; полужесткие, деформирующиеся в пределах 0,1—3%; жесткие, деформирующиеся до 0,1% и менее.

Железобетонные предварительно напряженные и обычные армированные напорные трубы относятся к категории полужестких труб; к этой же группе относятся и чугунные трубы; к гибким относятся стальные и пластмассовые¹; к жестким — бетонные и керамические трубы.

Механические испытания труб производят приложением двусторонней вертикальной нагрузки, в результате которой в стенках трубы появляются перерезывающие усилия и изгибающие моменты, эпюра их показана на рис. 35.

Разрушение полужестких труб при механических испытаниях раздавливанием вертикальной нагрузкой происходит в результате разрушения бетона стенки трубы в растянутой зоне вследствие превышения предела прочности бетона растяжению и в сжатой зоне — вследствие превышения предела прочности бетона сжатию. Образец устанавливается в прессе таким образом, чтобы нагрузка передавалась на трубу через деревянные бруски, расположенные сверху трубы вдоль верхней

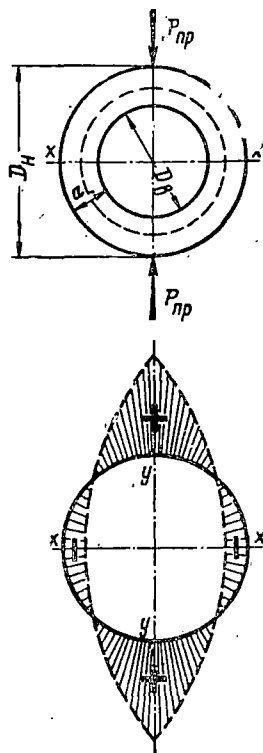


Рис. 35. Эпюра изгибающих моментов в сечении трубы при действии вертикальной двусторонней сосредоточенной линейной нагрузки

¹ В отечественной практике к гибким относят также железобетонные трубы больших диаметров.

образующей и внизу (один или два бруска) — вдоль нижних образующих. Английским стандартом предусмотрено применение при таком испытании труб стальных или резиновых прокладок. В американской практике, как и у нас, применяют деревянные прокладки по трем образующим.

В связи с тем, что прокладки фактически передают давление от прессы не по одной образующей, а по некоторой площади опирания на

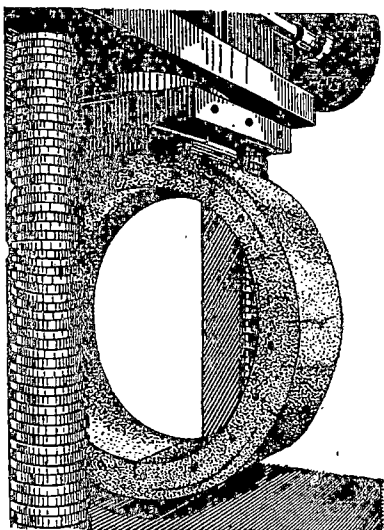


Рис. 36. Испытание железобетонных труб раздавливанием двусторонней нагрузкой. Видны характерные трещины в начале деформации сечения

наружную поверхность трубы, значение раздавливающей нагрузки получается несколько завышенным по сравнению с теоретическим. По данным Британской строительной научно-исследовательской станции, при испытании по английскому стандарту жестких труб диаметром более 500 мм нагрузкой до 2 т/пог. м эти расхождения не выходят за пределы 5%; они увеличиваются с уменьшением диаметра труб и увеличением нагрузки, так как при уменьшении диаметра труб искажение теоретических условий приложения нагрузки становится более значительным. При передаче испытательной нагрузки через три деревянные опоры больших расхождений не наблюдается при условии, если угол охвата трубы двумя нижними опорами не превышает 45° .

При испытании раздавливанием железобетонных, в том числе предварительно напряженных труб первые продольные трещины появляются на внутренней поверхности трубы

в ключе и лотке в результате влияния положительных моментов (рис. 36). При увеличении нагрузки начинают появляться продольные трещины по наружным боковым поверхностям трубы вследствие влияния отрицательных моментов. Одновременно наблюдается появление кольцевых трещин между железобетонным сердечником и защитным слоем (при изготолении труб по трехступенчатой технологической схеме). На рисунке показаны все характерные трещины на испытуемом образце. Кольцевые трещины начинают появляться в местах максимальных значений скалывающих напряжений, т. е. в местах перегиба эпюры моментов ($M=0$; $Q=\text{макс.}$) и отсюда в стороны. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к значительным видимым деформациям сечения трубы и появлению сквозных трещин, раскрывающихся в сторону действия изгибающего момента. Разрыва арматуры при этом не наблюдается, так как деформация трубы опережает появление критических напряжений в стали и разрушение стенки происходит в результате выкрашивания бетона.

По данным Британской станции, при испытании двусторонней нагрузкой напряженно-армированной трубы диаметром 1200 мм с толщиной стенки 90 мм растрескивание произошло при нагрузке около 9 т/пог. м. Трещины шириной до 0,25 мм появились при нагрузке 14,5 т/пог. м. Предельно допустимая ширина трещины в действующем железобетонном трубопроводе в результате влияния на сечение внешних нагрузок считается 0,125 мм, поскольку трещины шириной до

0,25 мм имеют способность самоуплотняться и не могут служить причиной течи и коррозии арматуры.

По данным НИИЖБа и треста Закавказметаллургстрой, при испытаниях напряженно армированных труб раздавливанием первые трещины на внутренней поверхности трубы в замке и лотке появляются при нагрузке, составляющей приблизительно 30%, а на наружной стороне боковой поверхности 50—80% от разрушающей. Отслаивания защитного слоя при нанесении его торкретированием не наблюдалось. Испытания показывают, что разрушающая нагрузка для предварительно напряженных труб в 6—8 раз выше разрушающей нагрузки для железобетонных труб такого же диаметра с обычной арматурой.

Интересно отметить результаты произведенного Британской станцией испытания двусторонней нагрузкой новой конструкции «гибкой» трубы, представляющей собой обычную бетонную трубу, армированную стекланным волокном, пропитанным послойно синтетической смолой. Под воздействием внешней нагрузки бетонная труба растрескивается и деформируется, однако высокопрочная гидроизоляционная оболочка предотвращает разрушение и в результате жесткая труба превращается в гибкую четырехшарнирную (шарниры — трещины). Гидроизоляционная оболочка одновременно служит хорошей защитой бетона от коррозии. Испытания двусторонней нагрузкой трубы диаметром 450 мм с толщиной стенки 40 мм показали, что общий предел прочности ее в 5 раз выше предела прочности обычной бетонной трубы, хотя характер появления трещин в бетонном сердечнике соответствовал характеру разрушения его без обмотки. Такая «гибкая» труба, уложенная в грунт, вызвала пассивный боковой отпор грунта, что содействовало повышению величины допустимой вертикальной нагрузки.

Испытание на прочность ($p_{тр}$) гидравлическим давлением, эквивалентным по величине расчетным внешним нагрузкам, действующим на трубу, гарантирует ее от образования трещин. Такая методика является условной и предусмотрена для ориентировочного подбора типа труб. Величина испытательного давления указана в табл. 18.

Испытания гидравлическим давлением напорных предварительно напряженных труб, проведенные в отечественных исследовательских институтах и на действующих предприятиях, кроме контроля водонепроницаемости труб, дали возможность выявить ряд других факторов, влияющих на водонепроницаемость и несущую способность труб: величину обжатия спиральной арматурой железобетонного сердечника; дополнительное возрастание напряжения в предварительно напряженной спиральной арматуре в результате воздействия испытательного давления; влияние защитного слоя на работу стенки трубы; потери напряжения в арматуре за счет смятия бетона, релаксации и т. д.

Однако результаты отдельных испытаний внутренним гидравлическим давлением и раздавливанием двусторонней нагрузкой не дают полного представления о работе трубы при совместном действии этих нагрузок. Представляют интерес испытания предварительно напряженных напорных труб при одновременном воздействии внешнего и внутреннего давлений. Такие исследования, в частности, были проведены в Американской ассоциации напорных труб. Подобные испытания комбинированными нагрузками, проводившиеся ранее, также не отражали действительной работы стенок трубы вследствие влияния на них жестких торцовых диафрагм напорной камеры. Значения выбранных нагрузок, при которых появлялись первые трещины, и разрушающих нагрузок оказывались ошибочными, что влияло на точность расчета труб.

При новых испытаниях условия эксперимента были изменены путем введения между торцами трубы и торцовыми диафрагмами упру-

гих колец из листовой стали шириной 450 мм. Влияние таких колец на трубу оказалось весьма незначительным, но и это влияние уточнялось контрольными испытаниями и учитывалось при расчете. Испытанию подвергались железобетонные трубы с внутренним диаметром 1500 мм. Контрольные приборы позволяли определять трещины шириной 0,025 мм. Видимыми считались трещины более 0,05 мм, а критическими — 0,12 мм. Общий вид установки с испытуемой трубой показан на

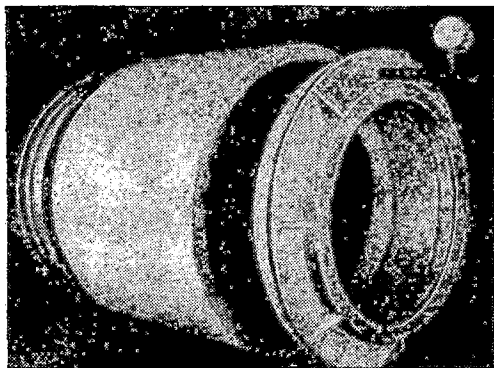


Рис. 37. Общий вид установки для испытания предварительно напряженной трубы диаметром 1500 мм одновременным воздействием внешней двусторонней нагрузки и внутреннего гидравлического давления

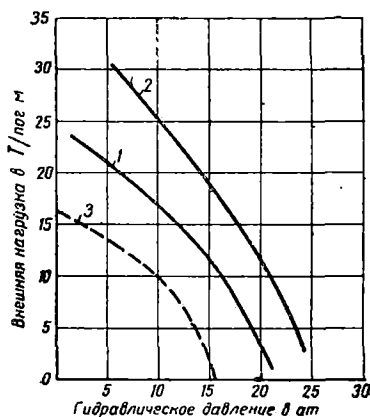


Рис. 38. График комбинаций нагрузок

рис. 37, а некоторые из результатов испытания — на рис. 38. Кривая 3 на рис. 38, по американским нормативам, соответствует нормальному допустимому напряжению в трубе при возможных различных комбинациях приведенной внешней нагрузки и внутреннего гидравлического давления (например, 16 т/пог. м при отсутствии гидравлического давления; 15 ат при отсутствии вертикальной нагрузки; 10 т/пог. м при 10 ат и т. д.). Никаких следов трещин в трубе обнаружено не было. Однако при повышении нагрузок приблизительно на 10% с помощью приборов были обнаружены тончайшие трещины. При увеличении нагрузок в 2,5 раза отмечено образование трещин шириной 0,12 мм, которые закрывались до ширины 0,01 мм после уменьшения нагрузки до исходных нормативных значений. Значения комбинации нагрузок, при которых образуются трещины, выше на 30—40%. Кривые 1 и 2 показывают полученные комбинации внешней нагрузки и внутреннего гидравлического давления, при которых возникали видимые трещины шириной 0,05 мм; при этом кривая 1 построена при возрастающем внутреннем давлении и неизменной внешней нагрузке, а кривая 2 — при возрастающей внешней нагрузке и неизменном внутреннем давлении. При отсутствии внешней нагрузки и возрастании гидравлического давления первая видимая трещина в стенке трубы появилась при 22,4 ат (см. кривую 1), а разрушение трубы произошло при 43,4 ат, однако и после этого труба находилась некоторое время под давлением 28 ат. Из дальнейшего анализа кривой 1 можно установить, что при постоянной внешней нагрузке 10 т/пог. м появление видимых трещин было обнаружено, очевидно, в момент, когда гидравлическое давление повысилось приблизительно до 16,5 ат; при постоянной внешней нагрузке 20 т/пог. м видимые трещины появились при гидравлическом давлении 6 ат и т. д. На первый взгляд кажется, что кривые 1 и 2 должны сов-

падать, так как в расчете труб, например, не учитывается порядок наращивания расчетных нагрузок, а принимаются во внимание только их конечные значения. В действительности же не безразлично, какая из нагрузок будет наращиваться последней. Из расположения кривых 1 и 2 следует, что трещины появляются значительно раньше, если при установившейся внешней нагрузке гидравлическое давление будет возрастать сверх нормативного. И наоборот, менее опасно возрастание вертикальной внешней нагрузки при сохранении постоянного гидравлического давления.

Влияние внешней нагрузки на трубы, уложенные в земле. Точный расчет трубопровода, уложенного в земле, чрезвычайно затруднителен в связи со сложностью учета действующих на него нагрузок. Если металлические трубы в ряде случаев можно укладывать исходя из приближенного расчета, то железобетонные напорные трубопроводы с более сложной конструкцией стенок необходимо проектировать с предварительным возможно точным выявлением всех действующих на них внешних нагрузок: завышение несущей способности по сравнению с действительно необходимой будет связано с неоправданным удорожанием сооружения, а отсутствие учета ряда факторов, влияющих на правильность расчета, может повести к перенапряжению стенок труб и аварии водовода.

Расчетными нагрузками, действующими на напорный водовод, уложенный в земле, являются: давление грунта; статические и подвижные нагрузки от автомашины, трактора или поезда; собственный вес трубы; вес воды, наполняющей трубу; внутреннее давление воды. Из указанных нагрузок менее всего поддается точному определению давление грунта и передающиеся через него нагрузки с поверхности земли. Это объясняется тем, что определение давления грунта зависит от очень большого количества факторов: от способов укладки труб в траншею или под насыпью; от вида основания — на земляном основании с различной глубиной профилированного ложа трубы в материковом грунте или на бетонной подушке; от отношения глубины засыпки к ширине траншеи; от физико-механических свойств засыпки — объемного веса, коэффициента внутреннего трения, коэффициента трения засыпки по стенам траншеи и т. д. Точного метода определения расчетной нагрузки от засыпки для любого случая укладки трубопровода в земле не существует, и наиболее приближенное значение теоретических данных может быть получено только в результате экспериментальных наблюдений.

В настоящее время благодаря проведению значительной исследовательской работы по обработке результатов большого количества испытаний (А. Морстон, Н. Н. Давиденков, А. Фельми, Г. И. Покровский и др.) получена возможность более или менее правильно устанавливать расчетную нагрузку при различных условиях засыпки. Целью испытаний было определение величины предельных нагрузок на трубопроводы, уложенные в траншеях и под насыпями в различных грунтах, а также выявление законов распределения этих нагрузок.

Разработанная на основе исследований теория применима к любому типу трубопровода. Однако следует учитывать, что выведенные расчетные формулы построены на принципах классической теории сыпучего тела. Условным также является членение теории расчета труб на два самостоятельных раздела: при укладке в траншею и под насыпью. Так, например, для того чтобы ограничить возрастающий вес засыпки при увеличении ширины траншеи, что в натуре не соответствует действительности, так как в этом случае часть нагрузки будет восприниматься дном траншеи по бокам трубы, условно устанавливают предельную ширину траншеи, при превышении которой трубопровод

рассматривается как уложенный под насыпью. Учитывая, однако, что данные испытаний близки к результатам, полученным по формулам этой теории, и охватывают большое количество случаев из практики укладки труб, главным образом в узких траншеях и под насыпями, выведенные положения приняты в настоящее время для расчета труб как наиболее удовлетворительные.

При определении влияния засыпки на трубы, уложенные в траншее, исходят из того, что свойства засыпки отличны от свойств естественного ненарушенного грунта, в котором вырыта траншея.

В результате дальнейшего уплотнения засыпка с течением времени оседает и дополнительно загружает трубу. При осадке между засыпкой и стенками траншеи возникают силы трения, воспринимающие часть нагрузки от засыпки и, таким образом, разгружающие трубу. Естественно, что чем плотнее утрамбован грунт при обратной засыпке, тем больше будут влиять силы трения и меньше нагрузка от засыпки на трубу. Следовательно, величина нагрузки на трубу от засыпки будет зависеть как от плотности и фрикционных свойств засыпки, так и от глубины и ширины траншеи. Через засыпку на трубу передаются нагрузки с поверхности земли. Расчетные формулы для определения этих нагрузок в их первоначальном виде были предложены Морстоном. Соответствующие графики, иллюстрирующие эти формулы, впоследствии были доработаны.

Расчетные формулы, выведенные на основе исследований, допускают, что труба несет вертикальную нагрузку от засыпки в объеме призмы грунта, расположенного над трубой по всей ширине траншеи, и что силы сцепления в грунте теоретически отсутствуют. Предполагается, что при укладке жестких труб не проявляется горизонтальный отпор грунта и что ширина траншеи не превышает наружный диаметр трубы более чем в 2 раза.

Параллельно были предложены аналогичные методы подсчета нагрузок на трубы, уложенные под насыпями или в широких траншеях. Нагрузки в указанных условиях при одинаковой глубине заложения труб значительно превышают нагрузки в предыдущих условиях.

На рис. 39, а на песчаной модели иллюстрируется влияние нагрузки от засыпки на трубу, уложенную в узкой траншее, а на рис. 39, б — на трубу, уложенную в широкой траншее. Точками показано положение слоев грунта засыпки до осадки, а линиями — после осадки. Как видно, трение грунта в узкой траншее удерживает слои грунта от обрушения и, таким образом, уменьшает нагрузку на трубу.

По данным Британской исследовательской строительной станции, в практике строительства последних лет были отмечены случаи разрушения труб, уложенных в глубоких траншеях, от перегрузки на уровне верха трубы. В целях уменьшения нагрузки на трубы в траншеях целесообразно укладывать их в специально вырытую на дне узкую траншею глубиной несколько больше наружного диаметра трубы. В этом случае нагрузка на трубу резко снизится, так как, по существу, труба будет уложена в более узкой, чем основная, траншее.

В результате обследования эксплуатируемых трубопроводов Британской исследовательской строительной станцией были выявлены следующие причины, которые приводили уложенные в земле трубопроводы к аварийному состоянию:

- 1) значительная перегрузка трубопровода внешней нагрузкой с образованием местных просадок в постели трубы, вследствие чего она работает как неразрезная или консольная балка. Устранение такой перегрузки возможно только путем проведения предварительных тщательных изысканий трассы трубопровода и контроля за соответствующим качеством работ;

2) непредусмотренное появление вибрации грунта от работы близ расположенных машин или движения транспорта, что может привести либо к нарушению действующих в грунте сил трения и вследствие этого к увеличению нагрузки на трубопровод от засыпки, либо к осадке

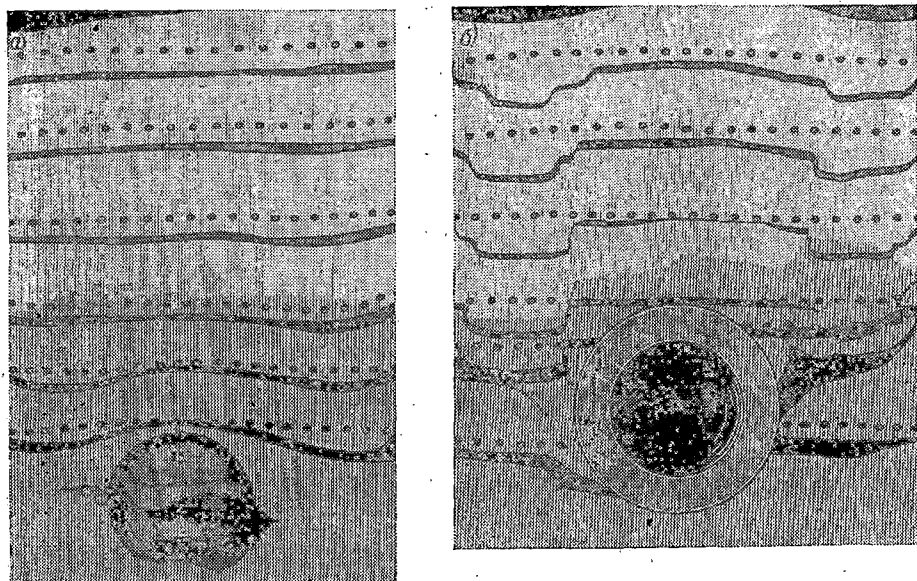


Рис. 39. Песчаная модель, иллюстрирующая влияние нагрузки от засыпки на трубу

а — уложенную в узкой траншее; б — уложенную в широкой траншее

примыкающих конструкций или разрушению стыков; при невозможности изменения появившихся условий на этом участке трассы водовода должны быть уложены гибкие трубы;

3) проведение параллельно водоводу земляных работ, в результате чего может произойти сдвиг грунта из-за образования неуравновешенной односторонней горизонтальной нагрузки. Предупредить подобные явления можно соответствующим закреплением грунта;

4) неожиданное разрушение трубопровода в результате подъема уровня грунтовых вод; в этом случае силы трения, действовавшие в грунте, уменьшаются, уменьшается также и вес взвешенной засыпки, и если он окажется недостаточным, то ненаполненный трубопровод может всплыть, что вызовет в стенках и стыках дополнительные критические напряжения¹.

Для предупреждения таких случаев при проектировании необходимо предусматривать, чтобы вес засыпки во взвешенном в воде состоянии был больше направленной вверх и заставляющей всплыть трубу силы, равной, как известно, весу воды в объеме трубы за вычетом ее собственного веса;

5) появление осевых растягивающих напряжений, причиной которых могут явиться температурные колебания или усилия растяжения от продольного перемещения грунта насыпи, уложенного без необходи-

¹ Подобный случай произошел на строительстве напорного Булачаурского водовода (Грузинская ССР), где участок из предварительно напряженных труб диаметром 900 мм, подготовленный к испытанию, всплыл в открытой траншее, затопленной ливневыми водами.

мого уплотнения. Кроме того, причинами продольного растяжения могут быть давление воды на поворотах трубопроводов, сейсмические воздействия и т. д. Очевидно, в первом случае во избежание аварий должно быть рекомендовано обязательное устройство гибких стыковых соединений, рассчитанных на максимально возможное перемещение¹ при наибольшем перепаде температур.

В других случаях также будет правильным решением устройство гибких стыков и, кроме того, соответствующих насыпей, упоров на поворотах трубопровода и т. д.

Наиболее нагруженное состояние трубопровода от засыпки землей наблюдается по истечении длительного времени после его укладки (через 2 года и более), в связи с чем должно быть осуществлено соответствующее наблюдение за уложенным трубопроводом;

б) перегрузка трубопровода неучтенными проектом поверхностными постоянными или временными нагрузками. В связи с этим в некото-

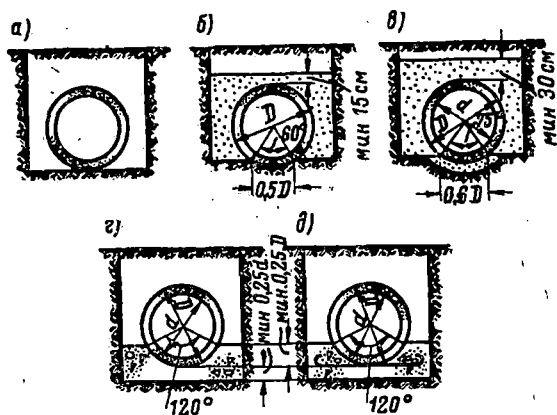


Рис. 40. Типы оснований железобетонных трубопроводов, исследованных Морстоном для установления несущей способности труб

рых странах введены ориентировочные нормативные значения равномерно распределенных и сосредоточенных поверхностных нагрузок над трубопроводами;

7) перегрузка напорного водовода и его повреждение вследствие гидравлического удара, не учтенного расчетом, что иногда происходит в связи с неожиданным прекращением работы насосов. Во избежание этого в сети рекомендуется устраивать обратные клапаны, останавливающие без удара обратный поток воды в водоводе.

Вопросы укладки труб. Как уже отмечалось, величина внешних нагрузок, действующих на трубу через засыпку и от засыпки, и прочность самой трубы зависят в числе других причин от конструкции постели трубы. Так, например, Морстон и Шлик, исследуя этот вопрос, установили, что если для жестких труб принять за отправной показатель прочности величину двусторонней нагрузки, разрушающей трубу в прессе, то рассмотренные ими конструкции постели трубы в траншее повышают несущую способность трубы от 1,1 до 3,4 раза.

На рис. 40 показаны пять типов исследованных оснований, в результате чего были сделаны следующие выводы.

Труба, уложенная на естественное основание без профилирования с обычной засыпкой узкой траншеи, имеет на 10% повышенную несущую способность по сравнению с трубой, разрушаемой двусторонней нагрузкой в прессе ($K=1,1$).

Труба, уложенная на естественное основание, профилированное по контуру ее поверхности на ширину $0,5D_n$ (рис. 40, б), т. е. охватываемую центральным углом сечения трубы $\alpha=60^\circ$ и засыпанную зернистым

¹ Например, в проекте напорного железобетонного водовода, построенного в ФРГ в 1953 г., общее возможное продольное перемещение в гибком стыке трубы длиной 3,6 м было принято равным ± 36 мм.

материалом с тщательным уплотнением на высоту не менее 15 см выше верха трубы, имеет на 50% повышенную несущую способность ($K=1,5$).

Труба, уложенная на подготовку с шириной постели $0,6 D_n$ ($\alpha=75^\circ$) из хорошо уплотненного зернистого материала, углубленная в нее и засыпанная аналогично предыдущему на высоту выше верха трубы не менее 30 см (рис. 40, в), имеет на 90% повышенную несущую способность ($K=1,9$).

Труба, уложенная на подушку-лоток из бетона (прочность бетона 140 кг/см^2) общей высотой минимум $0,5 D_n$ и углубленная в нее минимум на $0,25 D_n$ ($\alpha=120^\circ$) (рис. 40, г), приобретает в 3 раза большую несущую способность ($K=3$, при $\alpha=90^\circ$ $K=2,25$).

Труба, уложенная на такую же подушку, но из железобетона ($\alpha=120^\circ$) (рис. 40, д), имеет еще большую несущую способность ($K=3,4$).

Кроме технической целесообразности при выборе типа постели необходимо учитывать и экономическую эффективность решения. Возможны следующие способы устройства постели при укладке напорных железобетонных труб (рис. 41).

На естественное основание с песчаной или песчано-гравийной подготовкой трубы укладывают на глубину не менее $0,1 D_n$ с соответствующим профилированием основания. Подготовка под трубы должна быть толщиной не менее 8 см. При бетонном основании трубы нужно укладывать в лоток на глубину не менее $0,25 D_n$; толщина бетонного основания

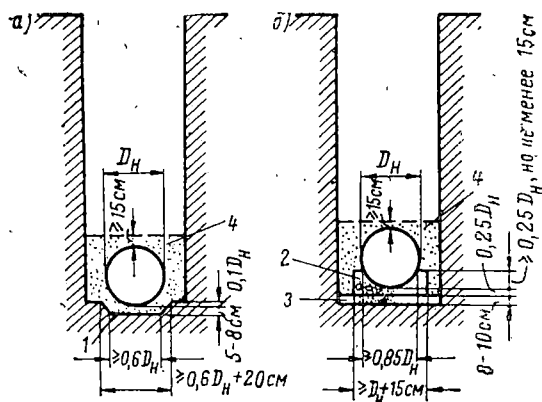


Рис. 41. Способы укладки труб на основание

а — нормальный (на естественное основание); б — на бетонное основание; 1 — естественное основание с песчано-гравийной подготовкой; 2 — бетонное основание; 3 — подготовка из утрамбованного щебня или гравия (только при слабых грунтах); 4 — утрамбованная засыпка; D_n — наружный диаметр трубы

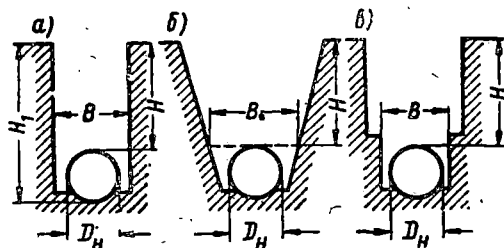


Рис. 42. Профили траншей для укладки труб

а — траншеи с вертикальными стенками; б — траншеи с наклонными стенками; в — траншеи с уступами; B — ширина траншеи на уровне верха трубы; H_1 — глубина заложения труб; H — высота засыпки; D_n — наружный диаметр трубы

должна быть не менее 15 см; остальная часть трубы в обоих случаях засыпается грунтом с тщательным уплотнением на глубину не менее 15 см выше верха трубы.

При скальных и полускальных грунтах трубы с гибкими стыками целесообразно укладывать на профилированную песчаную подушку толщиной не менее 20 см, а трубы с жесткими стыками — в бетон на высоту $0,25 D_n$.

Варианты профилей траншей приведены на рис. 42. Ширина траншей B на уровне верха трубы может быть принята в зависимости от внутреннего диаметра трубы D_0 (табл. 22).

В местах соединений труб допускаются уширения траншей.

В результате исследований вопросов укладки трубопроводов (ВОДГЕО, Британская исследовательская станция и др.) были выра-

ботаны некоторые указания по укладке труб, гарантирующие нормаль-

ную работу трубопровода. Так, в це-
лях исключения просадочности постели не разрешается укладывать трубы на грунт с нарушенной структурой. Для этого при выемке земли следует не добирать грунт до проектной отметки на 15—20 см и профилирование постели при обычном способе укладки производить с большой тщательностью. Нельзя допускать утаптывания грунта, особенно пылеватого, глинистого и мелкопесчаного. Естественное основание должно быть тщательно обрабо-

Таблица 22
Ширина траншеи B на уровне
верха трубы в зависимости
от внутреннего диаметра трубы D_0

D_0 в мм	B в м	D_0 в мм	B в м
300	0,9	800	1,7
400	1,1	900	1,8
500	1,4	1000	1,9
600	1,5	1200	2,1
700	1,6	1500	2,4

работано путем удаления камней или других твердых включений, а выбоины от них заполнены уплотненным грунтом. Плотность грунта в основании должна быть одинакова по длине траншеи, что устанавливается с помощью приборов или просто штыкованием стальным прутком. Слабые места по трассе укладки следует уплотнить путем замены грунта либо добавлением в него крупнозернистого материала. Участки с включениями твердого грунта, наоборот, необходимо заменить грунтом меньшей плотности.

Экспериментальной станцией в Айове (США) рекомендуется в целях ускорения подготовки естественного основания вынимать грунт в траншее, наоборот, ниже проектной отметки на 10—15 см с последующим выравниванием постели щебнем. При механизированном способе выемки траншеи и укладки щебня обеспечиваются устройство однородной постели, хороший дренаж, тщательное уплотнение слабых грунтов, а также создаются удобства для производства работ в сухой траншее.

При подготовке бетонной постели бетонную смесь следует уплотнять таким образом, чтобы под трубой не осталось зазоров. При устройстве гибких стыков в месте стыка в бетонной подготовке должен быть оставлен зазор, который в последующем следует тщательно забить мягкой глиной. При укладке труб в скалистом грунте однородность постели достигается устройством подушки из уплотненного песка или бетона. При резкой смене подстилающего грунта в траншее (скала—глина, глина—песок и т. д.) или в местах присоединения трубопровода к сооружениям с разными осадками примыкающую трубу следует обязательно укладывать с гибкими стыковыми соединениями.

Особое внимание должно быть уделено качеству засыпки траншеи. Засыпать, особенно нижнюю часть траншеи, включающую уложенную трубу, следует с тщательным равномерным уплотнением грунта по всей ширине траншеи. Неравномерное уплотнение грунта обеих сторон трубы может создать неуравновешенное боковое давление, способное разрушить трубу или стыковые соединения. Материал для засыпки этой части траншеи не должен включать крупных камней и комков. При проходе траншеи под дорогами или в местах пересечения другими трубопроводами засыпка должна быть произведена особенно тщательно, чтобы осадка ее в дальнейшем была минимальной. С этой целью такие места следует засыпать зернистым грунтом типа песчано-гравийной смеси и ни в коем случае не глинистым грунтом.

Испытания трубопроводов. В соответствии со СНиП II-Г.3-62 величина расчетного внутреннего давления в трубопроводе принимается.

равной наибольшему возможному давлению с учетом гидравлического удара, умноженному на коэффициент K_y (для железобетонных трубопроводов $K_y = 1$), или максимальному возможному рабочему давлению; принимается наибольшее значение из этих величин.

В зарубежной практике строительства напорные водоводы испытывают по различным техническим условиям, устанавливаемым часто по договоренности между строителями и владельцами трубопроводов. В нашей практике железобетонные напорные трубопроводы испытывают дважды: до и после засыпки траншей. Первое — предварительное — на прочность и второе — окончательное испытание — на плотность (после полного окончания строительных работ на испытываемом участке) должны производиться на испытательное давление в течение не менее 10 мин каждое. При первом испытании не должно быть обнаружено каких-либо внешних повреждений трубопровода и его стыков, а также утечки воды сверх допустимой при условии подкачки. Допускаемая утечка воды на 1 км трубопровода (и более) нормирована в зависимости от диаметра трубопровода и установлена от 3,2 л/мин для труб диаметром 500 мм до 10 л/мин для труб диаметром 3000 мм. При длине испытываемого участка менее 1 км допускаемые нормы утечки воды уменьшаются пропорционально уменьшению фактической длины участка водовода.

В первое время после наполнения трубопровода водой обычно утечки не наблюдается, давление же падает очень интенсивно в связи с происходящим насыщением бетона водой, поэтому испытание трубопровода следует производить не ранее чем через 72 ч после его наполнения.

Необходимо отметить, что в результате испытаний железобетонных напорных водоводов, выполненных с соблюдением технических условий, установлены значительно меньшие потери воды по сравнению с допустимыми. Со временем благодаря самоуплотнению бетона в стенках труб потери воды в железобетонных водоводах снижаются еще больше.

4. РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

Современный расчет железобетонных предварительно напряженных труб для напорных водоводов (в стадии эксплуатационного состояния) включает:

а) определение наибольших возможных внешних нагрузок и внутреннего гидравлического давления, действующих на трубу;

б) подбор спиральной и продольной предварительно напряженной арматуры для заданного сечения стенки трубы или сечения стального листа;

в) проверку трещиностойкости стенки трубы.

Определение расчетных нагрузок, действующих на трубу. К нагрузкам на трубу относятся:

1) давление земли от засыпки в траншее или от насыпи;

2) временная равномерно распределенная или сосредоточенная нагрузка на поверхность земли от колес 13-т автомобиля, 60-т трактора или паровоза;

3) собственный вес трубы;

4) вес воды, наполняющей трубу;

5) расчетное внутреннее давление воды.

Внутреннее гидравлическое давление вызывает растягивающие напряжения в стенках трубы. Усилие, передаваемое на стенку трубы, вычисляется по формуле

$$N_n = pr_0b,$$

где P — расчетное внутреннее гидравлическое давление в трубе;
 r_0 — внутренний радиус трубы;
 b — единица длины трубы (обычно 100 см).

Изгибающий момент в стенках трубы вычисляется по формуле

$$M_{\Pi} = 0,318 P^{\text{пр}} r,$$

где $P^{\text{пр}}$ — приведенная расчетная сосредоточенная двусторонняя нагрузка на единицу длины трубы, к которой приводятся в различных сочетаниях указанные нагрузки;
 r — средний радиус трубы (до центра сечения стенки).

Трубы могут быть рассчитаны на следующие два сочетания нагрузок:

1) основное сочетание, включающее нагрузки от давления земли (в траншее P_1 или под насыпью P'_1), веса трубы с водой ($P_6 + P_7$), расчетного гидравлического давления внутри трубы (N_{Π});

2) дополнительное сочетание, включающее нагрузки от давления земли (P_1 или P'_1), веса трубы с водой ($P_6 + P_7$), расчетного гидравлического давления внутри трубы с коэффициентом 0,9 ($0,9 N_{\Pi}$) и временной нагрузки на поверхности земли (P_2, P_3, P_4 или P_5) с тем же коэффициентом 0,9.

Таким образом, расчетные комбинации нагрузок можно представить в следующем виде:

$$\text{I. } M_{\Pi} = 0,318 P^{\text{пр}}_I r;$$

$$N_{\Pi} = pr_0 b,$$

где

$$P^{\text{пр}}_I = P_1 + P_6 + P_7;$$

$$\text{II. } M_{\Pi} = 0,318 P^{\text{пр}}_{II} r;$$

$$N_{\Pi} = 0,9 pr_0 b,$$

где

$$P^{\text{пр}}_{II} = P_1 + P_6 + P_7 + P_{2, \dots, 5}.$$

Определение приведенных внешних нагрузок, действующих на трубу, производится в зависимости от способа ее укладки в траншее или

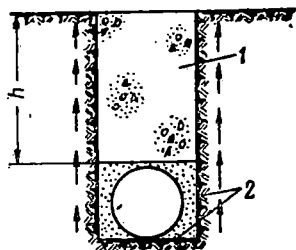


Рис. 43. Предполагаемое распределение нагрузок на трубу в траншее

1 — засыпка; 2 — естественный или насыпной слежавшийся грунт

под насыпью и от характеристики грунта, в котором укладывается труба.

Нагрузка от засыпки на трубу, уложенную в траншее. Схема нагрузки от засыпки на трубу, уложенную в траншее, и взаимодействия засыпки с силами трения, возникающими вдоль стенок траншеи, показана на рис. 43.

Величина силы трения насыпного грунта о стенки траншеи вычитается из веса засыпки. Величина вертикального расчетного давления засыпки на трубу, уложенную в траншее, определяется по формуле

$$G'_1 = c_{\text{тр}} \gamma_1 B^2 T / \text{пог. м},$$

где $c_{тр}$ — коэффициент, зависящий от отношения глубины засыпки до верха трубы (h) к ширине траншеи и физико-механических свойств засыпки;
 γ_1 — объемный вес засыпки в т/м³, определяемый опытным путем;
 B — ширина траншеи в м, определяемая на уровне верха трубы и не зависящая от формы траншеи.

Значения ширины траншеи принимаются в соответствии с данными, приведенными в табл. 23.

Таблица 23

Выбор кривых в зависимости от вида грунта засыпки

Вид засыпаемого грунта	№ кривых на рис. 45 и 48	Значения $\eta\mu'$
Пески и растительный грунт: сухие	1	0,192
влажные, насыщенные во- дой, глинистые твердые	2	0,165
Глинистые грунты: пластичные	3	0,148
текучие	4	0,132

Коэффициент $c_{тр}$ вычисляется по формуле

$$c_{тр} = \frac{1 - e^{-\frac{2\eta\mu' h}{B}}}{2\eta\mu'}$$

где η — отношение величины горизонтального давления в засыпке к вертикальному;
 μ' — коэффициент трения засыпки о стенку траншеи;
 e — основание натуральных логарифмов.

Для определения $c_{тр}$ следует пользоваться графиком на рис. 44, который составлен как функция двух величин $\frac{h}{B}$ и $\eta\mu'$, вычисленных для различных грунтов.

Выбор приведенных на этом графике кривых производится в зависимости от вида грунта засыпки (табл. 23).

Сосредоточенная расчетная нагрузка на 1 пог. м трубы определяется по формуле

$$P_1 = \frac{G'_1}{\psi'}$$

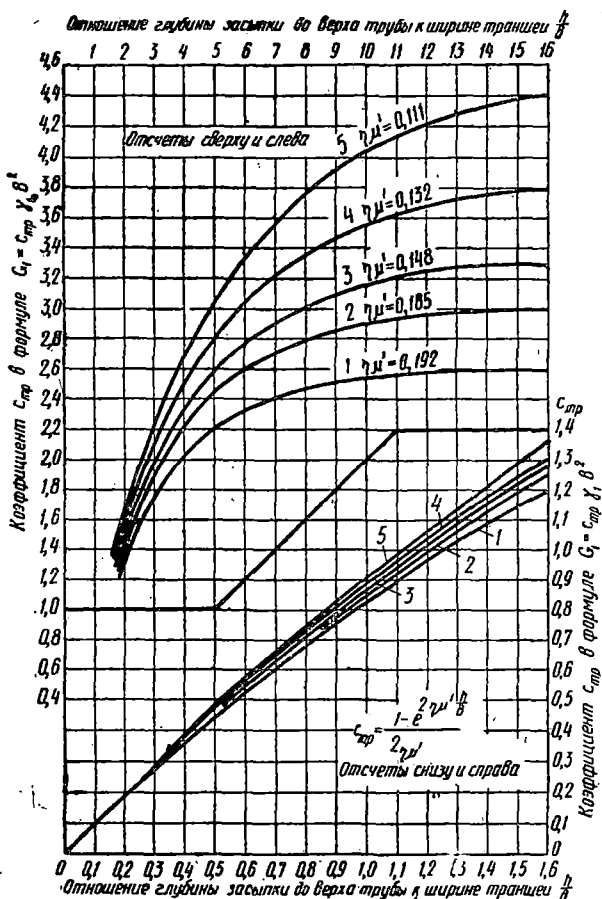


Рис. 44. График для определения коэффициента $c_{тр}$

где ψ' — коэффициент нагрузки, переводящий вертикальную нагрузку G_1 от засыпки на трубу, уложенную в траншее, к двум сосредоточенным линейным нагрузкам P_1 .

Коэффициент ψ' установлен опытным путем в зависимости от диаметра и способов укладки труб в траншее (рис. 45). Таким образом, формулу расчетной приведенной величины вертикальной линейной нагрузки от засыпки в траншее в т/пог. м можно представить в виде

$$P_1 = \frac{c_{тр} \gamma_1 B^2}{\psi'}.$$

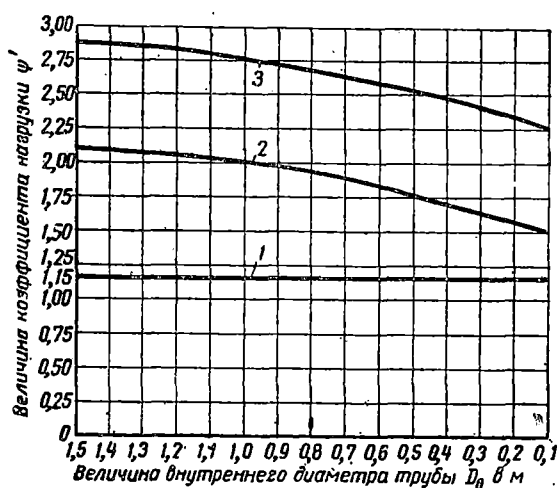


Рис. 45. График коэффициента ψ' для труб, укладываемых в траншеях

1 — укладка труб на земляное основание, не спроектированное по нижней части трубы и без трамбования боковых пазух; 2 — нормальный (на естественное основание) способ укладки труб; 3 — укладка труб на бетонной подушке

Нагрузка от земли на трубу, укладываемую под насыпью. В противоположность засыпке в траншее силы трения грунта, возникающие между плоскостями скольжения земляной призмы, увеличивают суммарную нагрузку от засыпки.

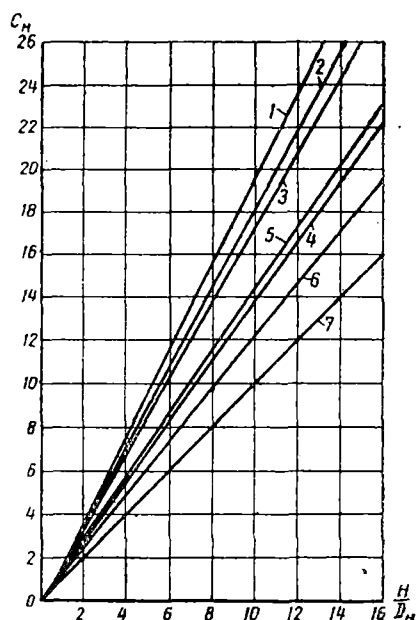


Рис. 46. График для определения коэффициента c_n в формуле $G_1'' = c_n \gamma_1 D_n^2$

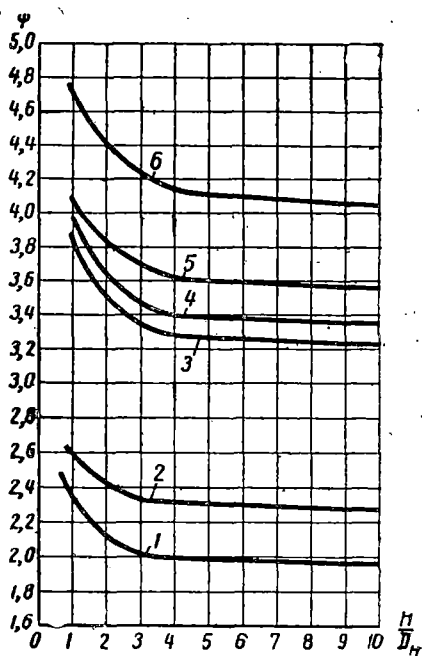


Рис. 47. График коэффициентов нагрузки ψ для труб, укладываемых под насыпью

Величина этого суммарного давления выражается формулой

$$G_1' = c_n \gamma_1 D_n^2 T / \text{пог. м},$$

где c_n — коэффициент, зависящий от отношения глубины засыпки до верха трубы H к ее внешнему диаметру D_n , способа укладки трубы и вида грунта основания, определяемого по графику на рис. 46;

γ_1 — объемный вес засыпки в т/м^3 ;

D_n — внешний диаметр трубы в м.

Кривые 1—7 для определения коэффициента c_n выбираются в зависимости от вида грунта основания и способа укладки труб по табл. 24.

Приведенную величину вертикальной линейной нагрузки на трубы, укладываемые под насыпью, определяют по формуле

$$P_1' = \frac{G_1'}{\psi} = \frac{c_n \gamma_1 D_n^2}{\psi} T / \text{пог. м},$$

где ψ — коэффициент нагрузки для труб, переводящий вертикальную нагрузку G_1' от засыпки на трубы, уложенные под насыпями, к двум сосредоточенным линейным нагрузкам P_1' , принимается по графику на рис. 47.

Указанные на рис. 47 кривые 1—6 выбирают при определении коэффициента нагрузки ψ также по табл. 24 в зависимости от вида грунта основания и способа укладки труб.

Таблица 24

Выбор кривых для определения коэффициентов c_n и ψ

Грунты основания	Номера кривых на рис. 46, при укладке труб		Номера кривых на рис. 47, при укладке труб	
	нормальным способом	на бетонном основании	нормальным способом	на бетонном основании
Скальные и полускальные . .	1	2	1	3
Крупнообломочные	3	3	1	4
Песчаные:				
а) пески гравелистые крупные и средней крупности, плотные .	3	3	1	4
б) те же пески средней плотности, а также пески мелкие и пылеватые, плотные	5	4	1	5
в) пески мелкие и пылеватые, средней плотности	7	6	2	6
Глинистые:				
а) твердые	3	3	1	4
б) пластичные	5	4	1	5
в) текучие	7	6	2	6

Нагрузки на трубу от временных грузов на поверхности земли.
 Временными нагрузками на поверхности земли над трубопроводами являются: равномерно распределенная нагрузка от людей, штабелей материалов и т. д.; грузовые автомашины; гусеничные тракторы; паровоз нормальной колеи.

Равномерно распределенная нагрузка с интенсивностью $U \text{ Т/м}^2$ передает давление на трубу, уложенную в траншее.

Величина расчетной нагрузки на трубу выражается формулой

$$G_2 = c_n B U T / \text{пог. м},$$

где c_n — коэффициент, зависящий от отношения глубины засыпки до верха трубы h к ширине траншеи B и физико-механических свойств засыпки, определяемый по рис. 48. Номера кривых, показанных на графике, принимаются по табл. 23.

Для труб, лежащих под насыпью, необходимо h увеличить на величину, равную U/ψ' , и подсчитать суммарное давление от засыпки и равномерно распределенной нагрузки.

Приведенные величины вертикальной линейной нагрузки на 1 пог. м трубы определяют по формуле

$$P_2 = \frac{G_2}{\psi'} = \frac{c_u BU}{\psi'},$$

где ψ' — коэффициент нагрузки, определяемый по графику на рис. 45.

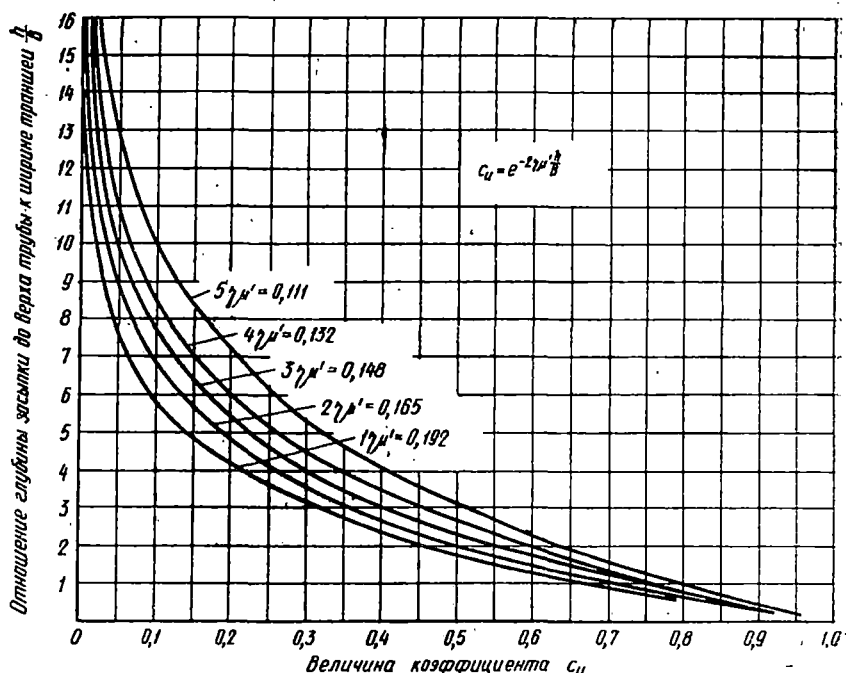


Рис. 48. График для определения коэффициента c_u

Вертикальное давление на трубу, уложенную в траншее или под насыпью, от задних колес проезжающих над трубой двух грузовых автомобилей устанавливается по формуле

$$G_3 = f_1 \frac{c_v V}{L} T / \text{пог. м},$$

где f_1 — динамический коэффициент, определяемый по табл. 25 в зависимости от высоты засыпки до верха трубы (h);

c_v — грузовой коэффициент, определяемый по рис. 49 (грузовые коэффициенты вычислены для задних колес двух грузовых автомобилей; расстояние между колесами автомобилей 1,7 м, а расстояние между колесами соседних грузовых автомобилей принято 1,1 м);

V — давление в T от одного заднего колеса автомобиля (для 13-т грузовика $V = 4,75$ т; для 17-т грузовика $V = 6,2$ т);

L — длина участка трубопровода в м, для которого были определены опытным путем грузовые коэффициенты.

Вертикальное давление на трубу, уложенную в траншее или под насыпью, от проезжающего над ней 60-т трактора выражается формулой

$$G_4 = f_1 c'_4,$$

где f_1 — динамический коэффициент.

Значение c'_4 в зависимости от глубины засыпки и внешнего диаметра трубы принимается по графику рис. 50.

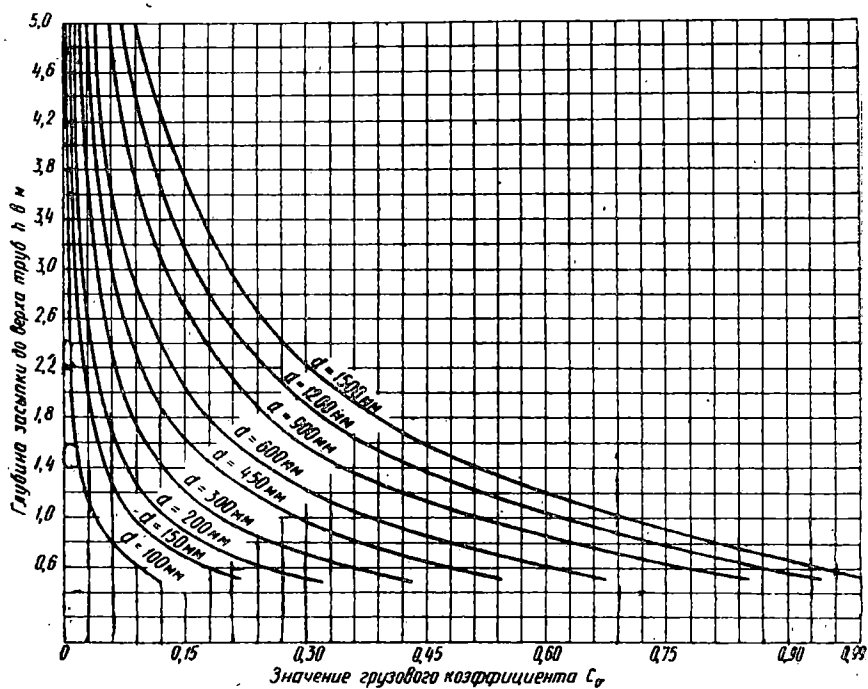


Рис. 49. График грузовых коэффициентов C_v

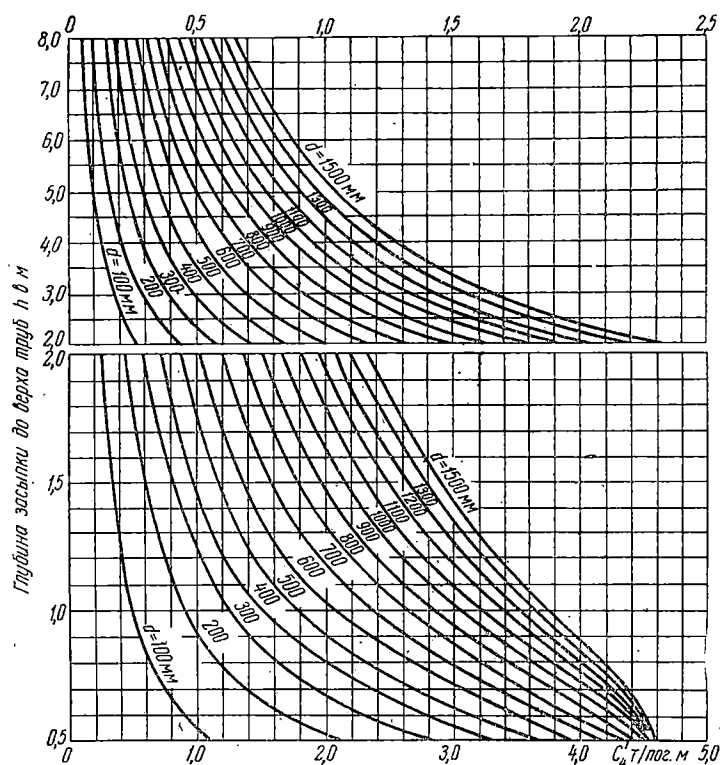


Рис. 50. График для определения C_4

Величина вертикального давления от проезжающего паровоза на трубу, уложенную в траншее или под насыпью, определяется по формуле

$$G_5 = f_2 \frac{2,18 D_n k}{l + 1,154 h},$$

где f_2 — динамический коэффициент, определяемый по табл. 25;

D_n — наружный диаметр трубы в м;

k — коэффициент интенсивности нагрузки, зависящий от класса нагрузки; для $H_8 k=8$; для $H_7 k=7$; для $H_6 k=6$;

l — длина шпалы, равная 2,7 м;

h — глубина засыпки до верха трубы в м.

Таблица 25

Значения динамических коэффициентов f_1 и f_2

h в м	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
f_1	1,7	1,5	1,3	1,05	1
f_2	1,9	1,6	1,3	1,1	1

Приведенная величина вертикальной линейной нагрузки на 1 пог. м трубы, укладываемой в траншее или под насыпью, от указанных нагрузок будет выражаться соответственно формулами:

от грузовых автомобилей

$$P_3 = \frac{G_3}{\psi_1} = f_1 \frac{c_v V}{\psi_1 L} T/\text{пог. м};$$

от трактора

$$P_4 = \frac{G_4}{\psi_1} = f_1 \frac{c'_4}{\psi_1} T/\text{пог. м};$$

от паровоза

$$P_5 = \frac{G_5}{\psi_1} = f_2 \frac{2,18 D_n k}{\psi_1 (l + 1,154 h)} T/\text{пог. м}.$$

Коэффициент нагрузки ψ_1 для давлений от автомобилей, трактора и паровоза принимается равным 1,5.

Нагрузка от собственного веса трубы. Собственный вес трубы определяется по формуле

$$G_6 = 2\pi r_{\text{ср}} \gamma_2 \delta T/\text{пог. м}.$$

где $r_{\text{ср}}$ — радиус до середины толщины стенки трубы в м;

γ_2 — объемный вес железобетона в т/м³;

δ — толщина стенки трубы в м.

Толщину стенки железобетонной трубы можно принимать в расчете ориентировочно равной $0,1 D_0$, где D_0 — внутренний диаметр трубы.

Приведенная величина вертикальной линейной нагрузки от собственного веса трубы выражается формулой

$$P_6 = \frac{G_6}{\psi} = \frac{2\pi r_{\text{ср}} \gamma_2 \delta}{\psi} T/\text{пог. м},$$

причем коэффициент нагрузки ψ при укладке труб в траншее надлежит принимать по графику на рис. 45, а при укладке труб под насыпью — по графику на рис. 47.

Нагрузка от веса жидкости в трубе. При заполнении всего сечения трубы жидкостью вес ее будет составлять

$$G_7 = \pi r^2 \gamma_3 T/\text{пог. м},$$

где r — внутренний радиус трубы в м;
 γ_3 — объемный вес жидкости в т/м³.

Соответственно

$$P_7 = \frac{G_7}{\psi} = \frac{\pi r^2 \gamma_3}{\psi} T / \text{пог. м.}$$

Расчет труб. Железобетонные предварительно напряженные трубы рассчитывают по предельному состоянию, определяемому появлением трещин в стенке напорной трубы. В соответствии с указаниями СНиП II-B.1-62 при расчете поперечного сечения труб и подборе сечения спиральной арматуры можно руководствоваться следующими формулами:

$$M_b^a \leq R_T W_T \pm M_{об}^a$$

или

$$M_b^y \leq R_T W_T \pm M_{об}^y,$$

где M_b^a и M_b^y — моменты внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения, относительно оси, нормальной к плоскости изгиба и проходящей через ядровую точку или условную ядровую точку, наиболее удаленную от зоны сечения, трещинообразование которой произойдет в первом случае на расстоянии $r_a = \frac{W_0}{F_n}$ и во втором случае на расстоянии $r_y = \frac{W_T}{F_n}$ от центра тяжести сечения;

$M_{об}^a$ и $M_{об}^y$ — моменты равнодействующих усилий $N_{об}$ в напрягаемой (в общем случае и в ненапрягаемой) арматуре относительно осей, проходящих через ядровую или условную ядровую точки, вычисляемые с учетом коэффициента точности натяжения арматуры $m_T = 0,9$. Знак момента определяется направлением вращения;

R_T — расчетное сопротивление бетона растяжению при расчете сечения по образованию трещин;

W_0 и W_T — моменты сопротивления для растянутого краевого волокна приведенного сечения стенки трубы соответственно без учета и с учетом пластических свойств бетона растянутой зоны;

F_n — площадь приведенного сечения стенки трубы.

Расчетная формула выбирается в соответствии с указаниями той же главы СНиП.

Если сила обжатия $N_{об}$ и ядровая точка, наиболее удаленная от проверяемой по трещинообразованию зоны сечения, расположены по одну сторону от внешней силы N_n и расстояние между N_n и $N_{об}$ удовлетворяет условию: $e_n - e_0 \geq \frac{W_T R_T}{N_{об}}$ (где e_n и e_0 — соответственно расстояния от внешней силы N_n и от силы обжатия $N_{об}$ до центра тяжести приведенного сечения), то расчет производят по первой формуле $M_b^a \leq R_T W_T \pm M_{об}^a$. Если же хоть одно из этих условий не удовлетворяется, то расчет ведут по второй формуле. Основное сечение для расчета выбирают в ключе трубы.

Аналогичным образом может быть проверено на трещиностойкость другое сечение трубы (например, сечение по горизонтальной оси, нагруженное максимальным изгибающим моментом обратного знака) при условии уточнения в этом сечении действующего момента от внешних сил, применения соответствующей расчетной формулы и учета фактической работы защитного слоя.

При расчете труб с предварительно обжатым защитным слоем и труб, изготавливаемых по одноступенчатой технологической схеме способом вибропрессования, все сечения трубы рассматриваются как монолитные.

Кроме расчета поперечного сечения трубы с подбором требуемой спиральной арматуры необходимо производить расчет продольной предварительно напряженной арматуры в целях обеспечения обжатия с заданным напряжением стенок трубы в продольном направлении. Исходя из условий укладки или действительной работы трубы в конструкции трубопровода может потребоваться проверка ее на изгиб в продольном направлении как балки, а также на продольные усилия, возникающие при эксплуатации трубопровода. Кроме того, может оказаться целесообразной проверка на трещиностойкость железобетонного сердечника с предварительно напряженной продольной арматурой при навивке напряженной спирали, вызывающей в стенках сердечника появление продольных растягивающих усилий.

Проверку сечения стенки трубы по образованию трещин ведут в следующей последовательности:

а) определяют приведенную площадь сечения стенки, как сумму площади бетона (F_6) и приведенной площади предварительно напряженной спиральной арматуры (nF_H).

$$F_{\pi} = F_6 + nF_H;$$

б) для приведенного сечения определяют положение нулевой линии, как для изгибающего элемента, где $y_{\pi} = \frac{S_{\pi}}{F_{\pi}}$, вычисляют момент сопротивления приведенного сечения (W_0) и момент сопротивления приведенного сечения с учетом пластических деформаций бетона, который в данном случае может быть определен по упрощенной формуле:

$$W_T = \gamma W_0,$$

где $\gamma = 1,75$ — коэффициент, принимаемый для поперечного сечения прямоугольной формы;

в) определяют положение ядровой (или условной ядровой) точки, наиболее удаленной от проверяемой по трещинообразованию зоны сечения:

$$r_{\text{я}} = \frac{W_0}{F_{\pi}}; \quad r_y = \frac{W_T}{F_{\pi}};$$

г) определяют предварительное напряжение в спиральной арматуре до обжатия бетона и после обжатия бетона с учетом всех потерь и коэффициента однородности натяжения арматуры (σ_H):

$$\sigma_0 = 0,75 R_a^H;$$

$$\sigma_H = m_T \sigma_0 - \sigma_{\pi}.$$

Коэффициент однородности натяжения арматуры принимается $m_T = 0,9$.

Сумма потерь предварительного напряжения в спиральной арматуре после обжатия бетона трубы (σ_{π}) складывается из потерь: от смятия бетона под витками спиральной арматуры, от усадки и ползучести бетона, от релаксации напряжений в высокопрочной проволоке и определяется следующим образом:

в соответствии с указаниями СНиП II-B.1-62:

1) потери от смятия под витками спиральной арматуры составляют $\sigma_{\pi, \text{с}} = 300 \text{ кг/см}^2$;

2) потери от усадки бетона $\sigma_{\pi, \text{ус}} = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ кг/см}^2$;

3) потери от ползучести бетона определяют по формуле

$$\sigma_{\pi, \text{п}} = \frac{0,75 k E_a R}{E_6 R_0} \left[\sigma_0 + 3 R_0 \left(\frac{\sigma_0}{R_0} - 0,5 \right) \right] 0,5,$$

где k — коэффициент при использовании арматуры из высокопрочной проволоки $k = 1$; E_a и E_6 — расчетные модули упругости стали и бетона в кг/см^2 ;

R — марка бетона в кг/см^2 ;
 R — кубиковая прочность бетона к моменту передачи на бетон предварительного напряжения в кг/см^2 ;
 σ_6 — предварительное напряжение в бетоне сердечника до появления потерь в кг/см^2 , т. е. может быть вычислено по формуле $\sigma_6 = \frac{m_t \sigma_0 F_n}{F_6}$.

При изготовлении трубы по трехступенчатой технологии без обжатого защитного слоя $F_6 = b d$, где d — толщина стенки сердечника.

Практически в предварительно напряженных трубах $\sigma_6 < 0,5 R_0$, поэтому значением $3 R_0 \left(\frac{\sigma_6}{R_0} - 0,5 \right)$ можно пренебречь. Тогда, учитывая, что на трубы навивается спираль из высокопрочной холодноотянутой проволоки ($k=1$) и кубиковая прочность бетона сердечника к моменту навивки должна быть не менее 0,7 проектной прочности, т. е. $R_0 \geq 0,7 R$, потери напряжений в арматуре от ползучести бетона можно определять по упрощенной формуле

$$\sigma_{п.п} = 0,536 n \sigma_6;$$

4) потери от релаксации напряжений в высокопрочной проволоке

$$\sigma_{п.р} = \left(0,27 \frac{\sigma_0}{R_a^n} - 0,1 \right) \sigma_0.$$

Применительно к расчету предварительно напряженных напорных труб с использованием спиральной арматуры из проволоки $\sigma_0 = 0,75 R_a^n$, потери напряжений от релаксации в таком случае можно определять также упрощенно по формуле

$$\sigma_{п.р} = 0,0765 R_a^n.$$

Таким образом, для вычисления суммы потерь предварительного напряжения в спиральной арматуре из высокопрочной проволоки, навиваемой на железобетонный сердечник трубы, может быть рекомендовано следующее упрощенное выражение (в кг/см^2):

$$\sigma_n = 450 + 0,536 n \sigma_6 + 0,0765 R_a^n; \quad [A]$$

д) определяют величину силы обжатия бетонного сечения стенки трубы предварительно напряженной спиральной арматурой до проявления потерь $N_0 = F_n \sigma_0$ и после проявления всех потерь $N_{об} = F_n \sigma_n$, а также расстояние между точкой ее приложения и центром тяжести приведенного сечения

$$e_0 = y_n - d/2,$$

где d — толщина сечения стенки сердечника; для трубы, изготовленной по одноступенчатому технологическому процессу или с обжатым защитным слоем, $d = h$ (полной толщине стенки трубы);

е) проверяют напряжение сжатия в бетоне до проявления потерь на уровне центра тяжести обжимающего усилия

$$\sigma_6 = \frac{N_0}{F_n} \pm \frac{N_0 e_0}{W_0} = \frac{F_n \sigma_0}{F_n} \pm \frac{F_n \sigma_0 e_0}{W_0}$$

и уточняют его в обжатом бетоне после проявления всех потерь

$$\sigma_6 = \frac{N_{об}}{F_n} \pm \frac{N_{об} e_0}{W_0} = \frac{F_n \sigma_n}{F_n} \pm \frac{F_n \sigma_n e_0}{W_0};$$

ж) определяют эксцентриситет приложения внешней продольной силы N_n по отношению к центру тяжести приведенного сечения

$$e_n = \frac{M_{пр}}{N_n};$$

з) проверяют обеспечение условия трещиностойкости сечения по приведенным выше формулам.

При определении площади сечения спиральной арматуры можно воспользоваться, например, формулой $M_b^y \leq R_t W_t + M_{об}^y$, выразив значение обжимающей силы $N_{об}$ через коэффициент армирования μ . При этом для упрощения принимают, что площадь приведенного сечения стенки равна площади сечения бетона и что сила обжатия совпадает с центром сечения (т. е. $e_0 = 0$).

В этом случае из равенства $M_{об}^y = M_b^y - R_t W_t$, выражая значение $N_{об}$ через μ , получим:

$$M_{об}^y = N_{об} r_y = F_n \sigma_n r_y = \mu F_6 \sigma_n r_y;$$

$$\mu F_6 \sigma_n r_y = M_b^y - R_t W_t,$$

откуда

$$\mu = \frac{M_b^y - R_t W_t}{F_6 \sigma_n r_y} \text{ и } F_n = \mu F_6.$$

Определив процент армирования сечения в зависимости от M_b^y , имеющего два разных значения, соответствующих 1-му и 2-му сочетаниям нагрузок, выбирают наибольшее и по нему принимают сечение спиральной арматуры.

Расчет продольной предварительно напряженной арматуры производят, исходя из заданного предварительного обжатия бетона трубы в продольном направлении. Эти напряжения надлежит принимать не менее 20 кг/см^2 . Однако практически на строительстве различных трубопроводов их принимают до 50 кг/см^2 .

Продольная арматура из высокопрочной проволоки во всех рассмотренных конструкциях труб предварительно напрягается на форме, т. е. до твердения бетона. Следовательно, напряжения в этой арматуре надлежит определять значениями:

а) σ_0 — контролируемые до обжатия бетона и проявления потерь предварительного напряжения, как и при напряжении арматуры на упоры; величину наибольшего возможного предварительного напряжения арматуры также принимают, как и для спиральной арматуры, $\sigma_0 = 0,75 R_a$;

б) σ_n — контролируемые после обжатия бетона, т. е. после распалубки и передачи усилий предварительного напряжения на бетон с учетом дальнейших потерь

$$\sigma_n = \sigma_0 - \sigma_{п.}$$

Сумма потерь складывается из потерь от усадки, ползучести бетона и релаксации напряжений в арматуре. Потери от деформации анкеров и от изменения температуры рабочей арматуры, воспринимающей усилия натяжения (например, при подогреве бетона и т. д.), в зависимости от конструкции анкеров и технологии пропаривания железобетонных сердечников труб в формах, можно не учитывать; однако при проектировании нового производства такие потери следует иметь в виду.

Потери предварительного напряжения при натяжении арматуры на форме также вычисляют согласно СНиП II-B.1-62, но по графе «при натяжении арматуры на упоры» и принимают:

1) от усадки бетона

$$\sigma_{п.ус} = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ кг/см}^2;$$

2) от ползучести бетона

$$\sigma_{п.п} = \frac{k E_a R}{E_6 R_0} \left[\sigma_0 + 3 R_0 \left(\frac{\sigma_0}{R_0} - 0,5 \right) \right] 0,5.$$

Учитывая, что $\sigma_6 < 0,5 R_0$; так как предварительное напряжение бетона в продольном направлении обычно принимают в пределах 20—50 кг/см^2 , выражением в круглых скобках можно пренебречь, и формула упрощается:

$$\sigma_{п.п} = \frac{0,5 k E_a R}{E_6 R_0} \sigma_6;$$

3) потери от релаксации напряжений в арматуре

$$\sigma_{п.р} = \left(0,27 \frac{\sigma_0}{R_a^H} - 0,1 \right) \sigma_0.$$

Принимая в приведенных формулах $k=1$, $\sigma_0=0,75 R_a^H$, $R_0=0,7 R$ и $\frac{E_a}{E_6}=n$, для упрощения подсчета суммы перечисленных потерь предварительного напряжения в продольной арматуре трубы формула может быть записана в виде общего приведенного выражения (в кг/см^2)

$$\sigma_{п} = 200 + 0,714 n \sigma_6 + 0,0765 R_a^H. \quad [Б]$$

В формуле [Б] напряжение в бетоне (σ_6) может быть принято равным заданному напряжению, т. е. $\sigma_6 = [\sigma_6]$.

Сечение продольной арматуры определяют из выражения, удовлетворяющего условию

$$m_T F_{п} \sigma_{п} \geq F_6 [\sigma_6],$$

где m_T — коэффициент однородности натяжения продольной арматуры, принимаемой равным 0,9;

$F_{п}$ — сечение предварительно напряженной продольной арматуры;

$\sigma_{п} = \sigma_0 - \sigma_{п}$ — предварительное напряжение продольной арматуры с учетом всех потерь;

$F_6 = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - D_0^2)$ — площадь бетона полного сечения стенок трубы или сердечника трубы в зависимости от того, как наносится защитный слой — до или после обжатия продольной арматуры.

При расчете напорных труб со стальным цилиндром без предварительного напряжения продольной арматуры сечение цилиндра можно рассматривать как сечение продольной ненапряженной арматуры. Расчет трубы на воздействие продольных усилий в этом случае надлежит производить по несущей способности и по трещиностойкости как железобетонной конструкции с обычной арматурой, а при расчете такой же трубы, но усиленной предварительно напряженной спиральной арматурой, — по приведенным формулам для расчета предварительно напряженных труб.

Пример расчета железобетонной предварительно напряженной трубы напорного водовода

Проверить трещиностойкость запроектированной напорной трубы и величину обжатия бетона в радиальном и продольном направлениях.

Труба раструбная длиной 6 м с гибкими стыковыми соединениями, изготавливаемая по одноступенчатому технологическому процессу вибропрессованием.

Внутренний диаметр $D_0=1000$ мм; наружный диаметр $D_n=1150$ мм; толщина стенок $\delta=75$ мм, в том числе толщина защитного слоя — 15 мм.

Гидравлическое расчетное давление в трубопроводе $p=15$ ат.

Бетон марки 500. Расчетное сопротивление бетона растяжению при расчете по образованию трещин $R_T=19,5$ кг/см^2 (нормативные данные здесь и ниже приняты по СНиП II-V.1-62, п. 3.2 и 3.5).

Приняты коэффициенты: однородности бетона при сжатии и изгибе $k_{б.с}=0,6$; однородности бетона при растяжении $k_{б.р}=0,5$; условий работы бетона марки 500 в сжатой зоне при проверке несущей способности $k_{б.с}=0,95$; условий работы бетона в растянутой зоне при расчете по образованию трещин $m_{б.р}=1,4$.

Модуль упругости бетона $E_6^H=0,38 \cdot 10^6$ кг/см^2 .

Арматура спиральная предварительно напрягаемая из высокопрочной проволоки гладкой по ГОСТ 7348—63 с нормативным сопротивлением $R_a^H = 17\,000 \text{ кг/см}^2$ и расчетным сопротивлением $R_a = 9500 \text{ кг/см}^2$, диаметром 5 мм, с шагом 19,02 мм.

Арматура продольная предварительно напряженная из высокопрочной проволоки периодического профиля по ГОСТ 8480—63 $R_a^H = 15\,000 \text{ кг/см}^2$, $R_a = 9500 \text{ кг/см}^2$.

Модуль упругости арматуры из высокопрочной проволоки $E_a = 1,8 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$.

Приняты коэффициенты: однородности арматуры $k_a = 0,8$; условий работы арматуры из гладкой проволоки $m_a = 0,7$; из проволоки периодического профиля $m_a = 0,8$.

Коэффициент точности предварительного натяжения арматуры при расчете по образованию трещин трубопровода в стадии его эксплуатации $m_T = 0,9$.

Соотношение нормативных модулей упругости стали и бетона

$$n = \frac{E_a}{E_b^H} = \frac{1,8 \cdot 10^6}{0,38 \cdot 10^6} = 4,75.$$

Трубы укладываются в траншее на естественное основание с песчано-гравийной подготовкой. Грунт основания и засыпки глинистый, пластичный, с объемным весом $\gamma_{гр} = 1,8 \text{ т/м}^3$. Глубина укладки труб от поверхности земли до верха трубы $H = 2 \text{ м}$. Ширина траншеи на уровне верха трубы $B = 1,9 \text{ м}$. Временная нагрузка на поверхности земли — автотранспорт. Давление от заднего колеса 13-т грузового автомобиля $v = 4,75 \text{ т}$. Расчетная длина трубы $b = 100 \text{ см}$.

а) Определение внешних нагрузок

Нагрузка от засыпки. За расчетную приведенную величину вертикальной линейной нагрузки на трубу, укладываемую в траншее, принимаем меньшее из значений, определяемых по двум формулам:

$$1) P_1 = \frac{c_n \gamma_1 D_n^2}{\psi} = \frac{2,5 \cdot 1,8 \cdot 1,15^2}{2,12} = 2,8 \text{ Т/пог. м},$$

где $c_n = 2,5$ — см. рис. 46 и значение кривой 5 по табл. 24 и

$$\frac{H}{D_n} = \frac{2}{1,15} = 1,74;$$

$\psi = 2,12$ — см. рис. 47 и значение кривой 1 по табл. 24;

$$2) P_1' = \frac{c_{тр} \gamma_1 B^2}{\psi'} = \frac{0,9 \cdot 1,8 \cdot 1,9^2}{2} = 2,91 \text{ Т/пог. м},$$

где $c_{тр} = 0,9$ — см. график на рис. 44 и значение кривой 3 по табл. 23 и

$$\frac{H}{B} = \frac{2}{1,9} = 1,05,$$

$\psi' = 2$ — см. кривую 2 на рис. 45.

Нагрузка от автотранспорта. Расчетная приведенная вертикальная нагрузка от задних колес, проезжающих над водоводом грузовых автомашин:

$$P_3 = f_1 \frac{c_v v}{\psi_1} = 1 \frac{0,24 \cdot 4,75}{1,5} = 0,76 \text{ Т/пог. м},$$

где $c_v = 0,24$ — грузовой коэффициент, см. график на рис. 49;

$\psi_1 = 1,5$ — коэффициент нагрузки.

Нагрузка от собственного веса трубы. Расчетная приведенная вертикальная линейная нагрузка

$$P_6 = \frac{2\pi r_{ср} \gamma_2 h}{\psi} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,538 \cdot 2,5 \cdot 0,075}{2} = 0,32 \text{ Т/пог. м},$$

где $\psi = 2$ — коэффициент нагрузки, см. рис. 47;

$r_{ср} = 0,538$ — средний радиус трубы в м;

$\gamma_2 = 2,5$ — объемный вес железобетона в т/м^3 .

Нагрузка от веса воды в трубе. Приведенная вертикальная линейная нагрузка

$$P_7 = \frac{\pi r^2 \gamma_3}{\psi} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 1}{2} = 0,4 \text{ Т/пог. м},$$

где $\psi = 2$ — коэффициент нагрузки, принимаемый аналогично предыдущему;

γ_3 — объемный вес воды;

r — внутренний радиус трубы.

Расчетные усилия от внутреннего давления с учетом гидравлического удара

$$N_{\text{н}} = prb = 15 \cdot 50 \cdot 100 = 75\,000 \text{ кг/пог. м} = 75 \text{ Т/пог. м.}$$

где p — расчетное гидравлическое давление, $p = 15 \text{ ат.}$

б) Определение расчетных усилий при совместном действии нагрузок

Первое (основное) сочетание нагрузок:

$$P_{\text{нр}} = P_1 + P_6 + P_7 = 2,8 + 0,32 + 0,4 = 3,52 \text{ Т/пог. м;}$$

$$M_{\text{н}} = 0,318 P_{\text{нр}} r = 0,318 \cdot 3,52 \cdot 0,538 = 0,6 \text{ Тм/пог. м;}$$

$$N_{\text{н}} = 75 \text{ Т/пог. м.}$$

Второе (дополнительное) сочетание нагрузок:

$$P_{\text{нр}} = P_1 + 0,9P_3 + P_6 + P_7 = 2,8 + 0,9 \cdot 0,76 + 0,32 + 0,4 = 4,2 \text{ Т/пог. м;}$$

$$M_{\text{н}}' = 0,318 P_{\text{нр}} r = 0,318 \cdot 4,2 \cdot 0,538 = 0,72 \text{ Тм/пог. м;}$$

$$N_{\text{н}} = 75 \cdot 0,9 = 67,5 \text{ Т/пог. м.}$$

в) Определение геометрических характеристик сечения (рис. 51)

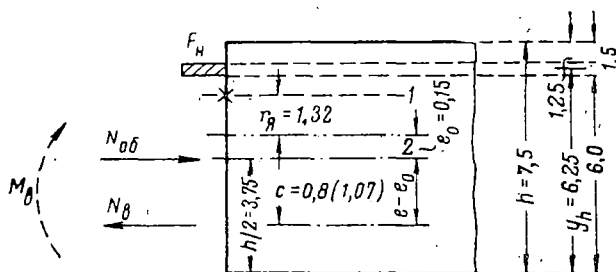
Площадь расчетного сечения бетона $F_6 = bh = 7,5 \cdot 100 = 750 \text{ см}^2$.

Площадь сечения спиральной, предварительно напряженной арматуры диаметром 5 мм ($f = 0,196 \text{ см}^2$) на 1 пог. м трубы при шаге спирали 19,02 мм

$$F_{\text{н}} = \frac{100 \cdot 0,196}{1,902} = 10,3 \text{ см}^2.$$

Рис. 51. Схема усилий в сечении стенки трубы внецентренно растянутого элемента

1 — ядровая точка; 2 — центр тяжести приведенного сечения



Приведенная площадь сечения

$$F_{\text{н}} = F_6 + nF_{\text{н}} = 750 + 4,75 \cdot 10,3 \approx 800 \text{ см}^2,$$

Определяем положение центра тяжести приведенного сечения (положение нулевой линии):

$$y_{\text{н}} = \frac{S_{\text{н}}}{F_{\text{н}}} = \frac{750 \cdot 3,75 + 4,75 \cdot 10,3 \cdot 6,25}{800} = 3,9 \text{ см.}$$

Расстояние между точками приложения силы обжатия $\left(\frac{h}{2}\right)$ и центром тяжести приведенного сечения

$$e_0 = y_{\text{н}} - \frac{h}{2} = 3,9 - 3,75 = 0,15 \text{ см.}$$

Момент сопротивления приведенного сечения

$$W_0 = \frac{J_{\text{н}}}{h - y_{\text{н}}} = \frac{3807}{7,5 - 3,9} = 1060 \text{ см}^3,$$

где

$$J_{\text{н}} = \frac{bh^3}{12} + bh \left(y_{\text{н}} - \frac{h}{2} \right)^2 + nF_{\text{н}} (y_{\text{н}} - y_{\text{н}})^2 = \frac{100 \cdot 7,5^3}{12} + 100 \cdot 7,5 (3,9 - 3,75)^2 + 4,75 \cdot 10,3 (6,25 - 3,9)^2 = 3807 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления приведенного сечения с учетом пластических свойств бетона растянутой зоны

$$W_T = \gamma W_0 = 1,75 \cdot 1060 = 1855 \text{ см}^3.$$

Определяем положение условной ядровой точки, наиболее удаленной от зоны сечения, проверяемой по образованию трещин:

$$r_{\text{я}} = \frac{W_0}{F_{\text{п}}} = \frac{1060}{800} = 1,32 \text{ см.}$$

г) Определение напряжения в рабочей арматуре и бетоне сечения

Предварительное напряжение в спиральной арматуре при ее натяжении

$$\sigma_0 = 0,75 R_a^H = 0,75 \cdot 17\,000 = 12\,750 \text{ кг/см}^2.$$

Наибольшее предварительное напряжение сжатия в бетоне до проявления потерь

$$\sigma_6 = \frac{N_0}{F_{\text{п}}} + \frac{N_0 e_0}{W_0} = \frac{141\,600}{800} + \frac{141\,600 \cdot 0,15}{1060} = 202 \text{ кг/см}^2,$$

где $N_0 = F_{\text{н}} \sigma_0 = 10,3 \cdot 12\,750 = 141\,600 \text{ кг} = 141,6 \text{ Т}$ — усилие обжатия до проявления потерь.

Потери предварительного напряжения в спиральной арматуре

$$\sigma_{\text{п}} = 450 + 0,536 \sigma_6 + 0,0765 R_a^H = 450 + 0,536 \cdot 4,75 \cdot 202 + 0,0765 \cdot 17\,000 = 2270 \text{ кг/см}^2.$$

Предварительное напряжение в спиральной арматуре с учетом потерь и коэффициента равномерности натяжения проволоки

$$\sigma_{\text{н}} = m_T \sigma_0 - \sigma_{\text{п}} = 0,9 \cdot 12\,750 - 2270 = 10\,100 \text{ кг/см}^2.$$

Наибольшее предварительное напряжение сжатия в бетоне после проявления потерь в спиральной арматуре

$$\sigma_6 = \frac{N_{\text{об}}}{F_{\text{п}}} + \frac{N_{\text{об}} e_0}{W_0} = \frac{104\,000}{800} + \frac{104\,000 \cdot 0,15}{1060} = 145 \text{ кг/см}^2,$$

где $N_{\text{об}} = F_{\text{н}} \sigma_{\text{н}} = 10,3 \cdot 10\,100 = 104\,000 \text{ кг} = 104 \text{ Т}$ — усилие обжатия сечения после проявления потерь.

д) Проверка трещиностойкости сечения

Определяем эксцентрицитет внешней силы $N_{\text{н}}$:

$$\text{а) по первому сочетанию нагрузок } e_{\text{н}} = \frac{M_{\text{п}}}{N_{\text{н}}} = \frac{0,60 \cdot 100}{75} = 0,8 \text{ см;}$$

$$\text{б) по второму сочетанию нагрузок } e_{\text{н}} = \frac{M_{\text{п}}}{N_{\text{н}}} = \frac{0,72 \cdot 100}{67,5} = 1,07 \text{ см.}$$

Проверка производится по формуле $M_{\text{в}}^H \leq R_T W_T + M_{\text{об}}^H$, так как удовлетворяются условия:

$$1) (e_{\text{н}} - e_0 = 0,8 - 0,15) > \left(\frac{W_T R_T}{N_{\text{об}}} = \frac{1855 \cdot 19,5}{104\,000} = 0,35 \right) \text{ и}$$

2) сила обжатия ($N_{\text{об}}$) и ядровая точка находятся по одну сторону от внешней силы.

По первому сочетанию нагрузок:

$$M_{\text{в}}^H = N_{\text{н}} (e_{\text{н}} + r_{\text{я}}) = 75 (0,008 + 0,0132) = 1,576 \text{ Тм;}$$

$$M_{\text{об}}^H = N_{\text{об}} (e_0 + r_{\text{я}}) = 104 (0,0015 + 0,0132) = 1,53 \text{ Тм;}$$

$$R_T W_T = 19,5 \cdot 1855 \cdot 10^{-5} = 0,36 \text{ Тм,}$$

$$\text{откуда } M_{\text{в}}^H < R_T W_T + M_{\text{об}}^H (1,576 < 0,36 + 1,53).$$

По второму сочетанию нагрузок:

$$M_{\text{в}}^H = N_{\text{н}} (e_{\text{н}} + r_{\text{я}}) = 67,5 (0,0107 + 0,0132) = 1,615 \text{ Тм;}$$

$$M_{\text{об}}^H = 1,53 \text{ Тм;}$$

$$R_T W_T = 0,36 T_m,$$

$$\text{т. е. также } M_B^{\text{я}} < R_T W_T + M_{06}^{\text{я}} (1,615 < 0,36 + 1,53).$$

Следовательно, при обоих сочетаниях внешних нагрузок трещиностойкость сечения достаточна.

В процессе эксплуатации водовода в результате воздействия на трубу расчетных внешних нагрузок предварительное напряжение сжатия в стенках трубы будет убывать. Остающаяся величина предварительного напряжения сжатия будет колебаться в зависимости от изменения интенсивности этих нагрузок.

В самом критическом случае напряжение в бетоне рассматриваемого сечения при одновременном действии всех внешних нагрузок может составить:

$$\sigma_6 = \frac{75\,000}{800} + \frac{75\,000 \cdot 0,8}{1060} - 145 = +5 < [19,5] \text{ кг/см}^2;$$

по второму сочетанию нагрузок:

$$\sigma_6 = \frac{67\,500}{800} + \frac{67\,500 \cdot 1,07}{1060} - 145 = +7 < [19,5] \text{ кг/см}^2.$$

е) Проверка обжатия стенок вдоль оси трубы

Площадь сечения продольной предварительно напряженной арматуры из высокопрочной проволоки диаметром 5 мм периодического профиля по ГОСТ 8480—63

$$F_n = 40 \cdot 0,196 = 7,83 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения бетона

$$F_6 = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - D_0^2) = \frac{3,14}{4} (115^2 - 100^2) = 2530 \text{ см}^2.$$

Приведенная площадь сечения

$$F_n = F_6 + n F_n = 2530 + 4,75 \cdot 7,83 = 2567 \text{ см}^2.$$

Напряжения в арматуре до обжатия бетона

$$\sigma_0 = 0,75 R_a^{\text{н}} = 0,75 \cdot 15\,000 = 11\,250 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжения в бетоне без учета потерь

$$\sigma_6 = \frac{F_n \sigma_0}{F_n} = \frac{7,83 \cdot 11\,250}{2567} = 34,3 \text{ кг/см}^2.$$

Предварительные напряжения в продольной арматуре после обжатия бетона с учетом потерь и коэффициента неоднородности натяжения арматуры

$$\sigma_n = m_T \sigma_0 - \sigma_n = 0,9 \cdot 11\,250 - 1460 = 8660 \text{ кг/см}^2,$$

$$\text{где } \sigma_n = 200 + 0,714 n \sigma_0 + 0,0765 R_a^{\text{н}} = 200 + 0,714 \cdot 4,75 \cdot 34,3 + 0,0765 \cdot 15\,000 = 1460 \text{ кг/см}^2.$$

Окончательное напряжение в бетоне в результате обжатия сечения трубы продольной предварительно напряженной арматурой с учетом потерь напряжения

$$\sigma_6 = \frac{F_n \sigma_n}{F_n} = \frac{7,83 \cdot 8660}{2567} = 26,4 > [20] \text{ кг/см}^2.$$

Приведенный пример расчета составлен применительно к исходным данным, изложенным в настоящей главе. В практической работе при проектировании напорных железобетонных труб и напорных трубопроводов надлежит руководствоваться утвержденными нормативными документами. Так, в соответствии с указаниями СН 292-64 расчет таких труб должен производиться на наиболее невыгодные, но возможные сочетания нагрузок и возникающих в трубах усилий, определяемых с учетом требований СНиП II-A.10-62 и II-A.11-62; внешние нагрузки от давления грунта и грузов на поверхности земли рекомендуется определять в соответствии с указаниями СНиП II-Г.3-62; при проектировании труб следует руководствоваться помимо указанных нормативных документов также СНиП II-B.1-62. Помимо этого, указания, относящиеся к проектированию и расчету подземных трубопроводов, содержат

ся в ряде других разделов СНиП и развивающих их нормативных материалах, которые в необходимых условиях также используются при проектировании трубопроводов.

5. КЛАССИФИКАЦИЯ И РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ В ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКЕ

В ряде стран предложена классификация железобетонных напорных труб и трубопроводов из них в зависимости от размеров, конструкции, расположения и способа сооружения.

Классификация по размерам предусматривает деление труб по внутреннему диаметру на трубы малого диаметра — до 1000 мм и большого диаметра — более 1000 мм. Это деление обуславливается тем, что в трубах первой группы при небольшой толщине стенок обычно в пределах 4—8 см доминирующими в расчете являются внешние нагрузки — гидростатическое давление и нагрузки от грунта, в то время как во второй группе увеличиваются значения нагрузок от собственного веса трубопровода, от влияния температурных изменений, а также имеет существенное значение при расчете тип опорной подушки трубы.

Классификация по конструкции предусматривает деление труб на предварительно напряженные и из обычного железобетона, со стальным цилиндром и без него.

По расположению трубопроводы классифицируются на подземные и открытые — надземные, а по способу сооружения — из сборных труб (диаметром до 2000 мм, изготавливаемых на специализированных предприятиях, и более 2000 мм, изготавливаемых на полигонах, вблизи места укладки) и монолитные, бетонируемые на месте.

В данном разделе рассматриваются сборные трубы большого диаметра (от 1000 до 3000 мм), укладываемые в земле. Такие трубы укладываются обычно на тщательно уплотненную гравийную постель с устройством сплошной бетонной подушки, охватывающей трубу с центральным углом опирания 120° (при очень плотных грунтах) или 90° (в обычных грунтах). Бетонная подушка создается путем обетонирования уложенной трубы.

Толщину стенки обычно армированной трубы рекомендуется подбирать по условиям образования трещин в сечениях под углом 45° , испытывающих простое растяжение (в этих сечениях $M=0$, а $Q=\text{макс}$), с коэффициентом запаса 1,5—2, т. е. допускаемым напряжением бетона на растяжение порядка 15—20 кг/см². Учитывая, что в ряде сечений трубы, работающих на совместное действие изгибающего момента и нормальной силы, знак последней может меняться в зависимости от наличия гидравлического давления (т. е. нормальная сила создает напряжение сжатия или растяжения в стенке трубы), расчет производят в трех состояниях трубопровода: 1) без заполнения водой; 2) наполненного водой без напора и 3) находящегося под влиянием гидростатического давления. Знак продольной силы в третьем состоянии меняется.

Напорные железобетонные трубы без предварительного напряжения рекомендуется армировать двумя концентрическими спиральными каркасами, расположенными у наружной и внутренней поверхности трубы.

Пределом применения напорных труб больших диаметров из обычного железобетона считают 5—6 ат гидравлического давления или показатель 150—200 м², полученный умножением диаметра трубы на высоту расчетного напора в м. Трубы для водоводов с большим напором рекомендуется изготавливать предварительно напряженными с показателем предела применения 200—1000 м².

Предварительно напряженные трубы больших диаметров изготавливают с конструктивной арматурой, обжатые высокопрочной проволоочной спиралью с усилием, компенсирующим появление растягивающих напряжений от любых расчетных или фактических нагрузок. Трубы изготавливают чаще по трехступенчатой технологии со стальным цилиндром (при высоких напорах) или без него, хотя обычно этот вопрос решается не техническими, а конъюнктурными соображениями. Как правило, трубы изготавливают предварительно напряженными в продольном направлении и с защитным слоем спиральной предварительно напряженной арматуры толщиной 20—30 мм.

Предварительно напряженные трубы разделяют на два класса:

а) изготовленные по трехступенчатой технологии с навивкой предварительно напряженной спирали на заранее изготовленный железобетонный сердечник и

б) изготовленные по одноступенчатой технологии, когда напряжение спирали производится одновременно с изготовлением трубы.

В первом случае при изготовлении трубы, в частности во время навивки высокопрочной проволоки с предварительным напряжением, железобетонный сердечник получает постепенное обжатие на части длины. Во втором случае труба по всей длине обжимается предварительно напряженной арматурой равномерно.

В наиболее часто встречающихся случаях изготовления труб по трехступенчатой технологии с необжатым защитным слоем расчет трубы производят на основе известных формул Лямэ, считая, что труба состоит из трех связанных между собой концентрических слоев¹:

1) железобетонного сердечника с внутренним радиусом r и наружным R , толщиной s , имеющего модуль упругости бетона E_c , испытывающего усилия на внутренней поверхности p_i и на наружной поверхности p_e и получающего соответствующие напряжения в сечении σ_i и σ_e ;

2) предварительно напряженной спиральной арматуры с радиусом R , с приведенным сечением ω (ω —площадь сечения спиральной арматуры на единицу длины трубы в $\text{см}^2/\text{пог. см}$), с модулем упругости E_f , испытывающей усилие p_e и получающей соответствующее напряжение σ_f ;

3) защитного слоя с внутренним радиусом R и наружным R_1 из бетона с модулем упругости E_r и напряжением σ_r .

Расчет трубы производят по стадиям: а) в процессе изготовления; б) изготовленной, но не заполненной водой; в) подверженной внешним нагрузкам (при наземных водоводах—только гидравлическому напору).

В соответствии с положениями Лямэ:

$$\sigma_i = B p_i - C p_e;$$

$$\sigma_e = A p_i - B p_e,$$

где

$$A = \frac{2r_i^2}{r_e^2 - r_i^2}; \quad B = A + 1; \quad C = A + 2.$$

Для очень тонких концентрических слоев $A = B = C = \frac{r}{s}$.

Для расчета трубы приняты исходные данные:

$$n = \frac{E_f}{E_c}; \quad n_1 = \frac{E_f}{E_r}; \quad n_2 = \frac{E_r}{E_c};$$

¹ Буквенные обозначения в формулах приняты по подлиннику.

$$A = \frac{2r^2}{R^2 - r^2}; \quad B = A + 1; \quad C = A + 2;$$

$$B_r = \frac{R_1^2 + R^2}{R_1^2 - R^2};$$

$$B_f = \frac{R}{\omega}, \quad k = \frac{B}{B_r}.$$

В первой стадии расчета — в процессе навивки на сердечник предварительно напряженной высокопрочной проволоки с контролируемым напряжением σ_f — принято, что «второй слой» оказывает давление на «первый» (т. е. на сердечник), и наоборот, с интенсивностью в радиальном направлении

$$t_1 = \frac{\omega \sigma_f}{R},$$

на основании чего вычисляются деформации проволоки (ε) и соответствующие потери напряжения в спирали в этот период

$$\Delta'_{\sigma_f} = E_f \varepsilon = \frac{n t_1}{4} \cdot \frac{R + r}{R - r}$$

и определяются начальные напряжения:

растяжения в арматуре $\sigma'_f = \sigma_f - \Delta'_{\sigma_f}$

и сжатия в бетоне сердечника:

а) на внутренней стороне сечения $\sigma_i = -C \frac{\omega \sigma'_f}{R};$

б) на наружной стороне сечения $\sigma_e = -B \frac{\omega \sigma'_f}{R}.$

В процессе навивки происходит частичное обжатие сечения сердечника, которое вызывает меняющееся по длине трубы перераспределение напряжений сжатия в бетоне. Напряжения в данном состоянии определяются на основе принципа теории цилиндрических оболочек, разработанного Тимошенко¹. В соответствии с этим наибольшие напряжения от постепенной навивки могут появиться в стенке трубы со средним радиусом r_m на расстоянии от конца трубы $x = 1,2 \sqrt{r_m s}$.

Величина этих напряжений в зависимости от единичного давления t , оказываемого навиваемой проволокой;

$$\sigma_1 = \pm 0,35 \frac{r_m}{s} t.$$

Эти напряжения в указанном сечении вызывают растяжение на внутренней поверхности сердечника и должны быть учтены при расчете сечения.

Во второй стадии расчета учитывают потери напряжения в проволоке спирали от релаксации ($0,075 \sigma_f$), от усадки и ползучести бетона сердечника (последние напряжения вычисляют при $\varepsilon_c = 0,0002$; показатель пластичности $\varphi = 1$ и $\varepsilon_r = 0,0003$, $\varphi' = 0,5$ и определяют соответствующие этому новые значения напряжений σ_f , σ_i , σ_e и σ_r).

В третьей стадии расчета при действии на трубу гидравлического давления p используются следующие формулы:

для определения напряжения в спиральной арматуре

$$\sigma_f = B_f(t_1 - t_2);$$

¹ S. Timoshenko. Theorie des plaques et Coques (New York, 1940).

для определения напряжения в бетоне сердечника:

$$\sigma_i = Bp - Ct_1;$$

$$\sigma_e = Ap - Bt_1;$$

для определения напряжения в защитном слое

$$\sigma_r = B_r t_2,$$

где t_1 — радиальное давление между сердечником и спиралью;
 t_2 — радиальное давление между спиралью и защитным слоем.

Так как $\frac{\sigma_e}{E_e} = \frac{\sigma_f}{E_f} = \frac{\sigma_r}{E_r}$, то

$$t_1 = \frac{n_2 A}{D} (B_f + n_1 B_r) p;$$

$$t_2 = \frac{n_2 A}{D} B_f p,$$

где

$$D = h_2 B (B_f + n_1 B_r) + B_r B_f.$$

Если защитный слой во внимание не принимается, то

$$t_2 = 0 \text{ и } t_1 = \frac{nA}{nB + B_f} p.$$

По условию расчета, бетон в сечении трубы в результате учета всех потерь напряжений в арматуре и влияния всех возможных внешних нагрузок должен быть всегда сжат.

Ниже в табл. 26 показаны результаты расчета по изложенной методике напорной трубы диаметром 250 см, изготавливаемой по трехступенчатой технологии¹.

Исходными данными для расчета были следующие:

Внутренний радиус трубы $r=125$ см, наружный радиус сердечника $R=137$ см, наружный радиус трубы $R_1=140$ см.

Толщина стенки сердечника $s=12$ см, защитного слоя — 3 см.

Расчетное гидравлическое давление $p=13,5$ ат.

Модуль упругости бетона сердечника $E_c=400\,000$ кг/см², защитного слоя $E_r=300\,000$ кг/см².

Коэффициент усадки бетона сердечника $\varepsilon_c=0,0002$, показатель пластичности $\varphi=1$.

Коэффициент усадки защитного слоя $\varepsilon_r=0,0003$, показатель пластичности $\varphi'=0,5$.

Спиральная арматура с предельным допустимым напряжением при навивке $\sigma_f=13\,000$ кг/см².

Модуль упругости арматуры $E_f=2\,100\,000$ кг/см².

$$n = \frac{E_f}{E_c} = \frac{2\,100\,000}{400\,000} = 5,25; \quad n_1 = \frac{E_f}{E_r} = \frac{2\,100\,000}{300\,000} = 7;$$

$$n_2 = \frac{E_r}{E_c} = \frac{300\,000}{400\,000} = 0,75;$$

$$\omega = 0,17 \text{ см}^2/\text{пог. см.}$$

$$A = 9,94; B = 10,94; C = 11,94; B_r = 46,17; B_f = 806; k = 0,237.$$

1) При проверке напряжений в бетоне в процессе изготовления трубы учитываются:

а) начальное (контролируемое) напряжение проволоки при навивке $\sigma_f=13\,000$ кг/см²;

б) радиальное давление при навивке между спиралью и сердечником:

$$t_1 = \frac{0,17 \cdot 13\,000}{137} = 16,13 \text{ кг/см}^2;$$

в) потери напряжения в спиральной арматуре в результате воздействия на проволоку радиального давления

$$\Delta \sigma_f' = \frac{8 \cdot 16,13}{4} \cdot \frac{262}{12} = 700 \text{ кг/см}^2$$

¹ G. Turazza. Tuyaux de grand diametre en beton armé; Dunod, Paris, 1962.

(здесь принято $n=8>5,25$ с учетом того, что наливка производится на бетон, не достигший проектной прочности).

Требуется применять бетон очень высокой марки либо производить наливку в два приема, что снизит растягивающие напряжения в бетоне на внутренней поверхности стенки в конце трубы при наливке.

2) Проверка напряжений в сечении до наполнения трубы водой.

После изготовления трубы происходят потери напряжения в спиральной арматуре и ослабление обжатия бетона трубы.

Потери от релаксации принимаются 7,5% от контролируемого напряжения в арматуре

$$\Delta \sigma_f'' = 13\,000 \cdot 0,075 = 975 \text{ кг/см}^2 \text{ и } \sigma_f'' = \sigma_f' - \Delta \sigma_f'' = 12\,300 - 975 = 11\,325 \text{ кг/см}^2.$$

Потери напряжения в арматуре от усадки и ползучести бетона вычисляются с учетом принимаемых $\varepsilon_c = -0,0002$;

$$\varepsilon_r = -0,0003; \varphi_c = 1; \varphi_r' = 0,5 \text{ по формуле}$$

$$\Delta \sigma_f''' = 2 \frac{n \varphi \omega B \sigma_f'' (1 - \varphi') - E_f \varepsilon_c (1 + \varphi') R - E_f \varepsilon_r n_2 k R}{2k (1 + \varphi' + n_2 k) + n \omega B (1 + \varphi') (2 + \varphi)} =$$

$$= \frac{165\,865 + 86\,310 + 15341}{459,7 + 43,94} = 1060 \text{ кг/см}^2.$$

Результаты расчета становятся особенно показательными, если их представить в виде таблицы (табл. 26).

Таблица 26

Результаты расчета железобетонной трубы диаметром 250 см

Расчетные напряжения в кг/см ²	Обозначения	Стадии проверки сечения			
		в процессе наливки сердечника	в готовой трубе до заполнения водой	в процессе эксплуатации	
				с участием в работе сечения защитного слоя	без участия в работе сечения защитного слоя
В спиральной предварительно напряженной арматуре	σ_f	+12 300	+10 265	+10 830	+10 920
В бетоне сердечника:					
на внутренней грани сечения	σ_i	-182,2	-141,5	-23	-3,6
на наружной грани сечения	σ_e	-167	-129,6	-22,2	-4,3
В бетоне защитного слоя — на внешней грани сечения	σ_r	—	-41	+39,6	—

Рассматривая результаты поверочного расчета, можно отметить, что защитный слой имеет большое значение в работе сечения, если он выполнен из прочного плотного бетона и может воспринять растягивающие напряжения, которые в данном примере оказались весьма значительными. Чтобы защитный слой смог принимать растягивающие напряжения и не растрескиваться, он должен быть предварительно обжат. В этом отношении лучшим решением является труба, изготовленная вибропрессованием, все сечение которой, включая защитный слой, монолитно и обжимается равномерно.

Пользуясь изложенным методом расчета, можно также решить и дальнейшую задачу — определить предельное гидравлическое давление в трубе, зная предельное сопротивление бетона трубы растяжению и пренебрегая, конечно, в данном случае участием в работе сечения защитного слоя. Так, например, если предельное значение бетона растяжению будет 50 кг/см², то критическое давление (p_c), которое скажет-

ся при проверке напряжений на внутренней поверхности трубы, определяется из выражения

$$-141,5 + (141,5 - 3,6) \frac{p_c}{13,5} = 50,$$

откуда $p_c = 18,8$ ат, что превышает заданное расчетное гидравлическое давление на $\frac{18,8 - 13,5}{13,5} 100 = 40\%$.

Напряжение в спиральной арматуре при этом давлении составит

$$\sigma_f = 10\,265 + (10\,920 - 10\,265) \frac{18,8}{13,5} = 11\,155 \text{ кг/см}^2,$$

что не превышает наибольшее напряжение в высокопрочной проволоке $\sigma_f = 13\,000 \text{ кг/см}^2$, которое контролировалось при навивке.

Таким образом, если в напорном водоводе давление повысится значительно более расчетного (например, до $p_c = 20$ ат) и произойдет разрыв бетона, так как σ_c будет больше 50 кг/см^2 , то это вызовет всего лишь незначительное повышение напряжения в спиральной арматуре, которое не достигнет предела прочности (в данном случае $\sigma_f = 13\,000 \text{ кг/см}^2$). Следовательно, после того как давление в водоводе упадет до нормального, трещины в бетоне закроются (произойдет так называемое «самозалечивание» бетонных стенок) и водовод будет работать по-прежнему.

В этом еще одно большое преимущество железобетонных предварительно напряженных водоводов по сравнению с металлическими.

Способы упрощенного расчета железобетонных напорных труб, используемые в зарубежной практике (по данным шведской фирмы «Сентаб-Пайп»). В целях ускорения подбора сечений железобетонных предварительно напряженных напорных труб в зависимости от условий их укладки конструкторы шведской фирмы «Sentab pressure pipe corporation» акционерного общества «Tryckrör» используют упрощенные методы расчета с помощью разработанных номограмм и специально сконструированной для этой цели счетной — типа логарифмической — линейки.

Основной задачей расчета является определение внешних нагрузок на проектируемый трубопровод. Учитывая условность в установлении действительной величины нагрузок, зависящей от состояния грунта, практической ширины траншеи, меняющейся по длине трубопровода высоты засыпки, авторы расчета ставят целью получение приближенных значений величин с помощью графического решения уравнений, но при всех обстоятельствах гарантирующих заданную прочность трубопровода. Принятые методы расчета построены на использовании формул для определения нагрузок от грунта, предложенных профессором Марстоном на основании исследований, проведенных Технической экспериментальной станцией в Айове (США). Нагрузки от транспорта с поверхности земли определяются в соответствии с формулой проф. Буссинески, применяемой для определения распределения давления в упругом материале от сосредоточенной нагрузки.

При составлении графического материала принято, что рассчитываемый трубопровод укладывается в обычную траншею в глинистом грунте с объемным весом до $1,8 \text{ т/м}^3$; осевая нагрузка от транспорта принята 14 т (на два колеса с расстоянием между ними $1,8 \text{ м}$). Авторами разработаны номограммы, в которых графически отображена функциональная зависимость между величинами, входящими в известные формулы для определения расчетных нагрузок на трубопроводы, уложенные в земле.

На рис. 52 представлена номограмма для определения вертикальной нагрузки от грунта на трубы, уложенные в траншее; нагрузка подсчитывается по формуле * (в $T/\text{пог. м}$):

$$Q_e^T = \frac{1 - e^{-2k\mu' \frac{h}{b}}}{2k\mu'} \gamma b^2,$$

где h — высота засыпки до верха трубы; b — выбранная ширина траншей; $k\mu'$ — характеристики грунта; γ — объемный вес грунта.

На номограмме показан пример подсчета нагрузки при укладке труб диаметром 800 мм при $h=2,5$ м, $b=1,35$ м, $k\mu'$ глинистого грунта = 0,13 и $\gamma=1,8$ т/м³; нагрузка определилась $Q_e^T=4,7$ Т/пог. м.

На рис. 53 и 54 показаны номограммы для подсчета вертикальной нагрузки от грунта на трубы, уложенные под насыпью.

Первая номограмма (рис. 53) составлена для условия, когда высота насыпи над трубой (h) равна или менее высоты засыпки h_s , при которой усадка грунта над трубой и по ее сторонам достигает почти одинакового значения. Для данного случая (при $h \leq h_s$) использована формула определения вертикальной нагрузки от грунта (в $T/\text{пог. м}$).

При заданной высоте насыпи выше верха трубы (h), наружном диаметре трубы (D) и характеристиках грунта ($k\mu'$, γ) по номограмме легко устанавливается искомая нагрузка.

Способ пользования номограммой показан на примере: при $h=1,5$ м, $D=800$ мм, песчаном или гравелистом грунте с $k\mu'=0,165$ и $\gamma=1,8$ т/м³ нагрузка $Q_{ev}^B=3,3$ Т/пог. м.

Вторая номограмма (рис. 54) составлена для значений $h > h_s$ и по расчетной формуле

$$Q_{ev}^B = \left(\frac{e^{+2k\mu' \frac{h_s}{D}} - 1}{2k\mu'} + \frac{h - h_s}{D} e^{+2k\mu' \frac{h_s}{D}} \right) \gamma D^2;$$

условно принято, что $h_s \approx 1,85 D$ (при укладке трубы на $1/4$ диаметра в твердый грунт).

В примере подсчета нагрузки, показанном на этой номограмме, для тех же условий, что и в предыдущем примере, но при высоте насыпи над верхом трубы $h=4$ м вертикальная нагрузка от грунта $Q_{ev}^B=10$ Т/пог. м.

Полная «мгновенно прилагаемая» вертикальная нагрузка от грунта в этом случае получается путем уменьшения найденного вертикального давления на величину бокового давления, определяемого по номограмме (рис. 55), составленной по расчетной формуле

$$Q_{eh}^B = 0,3 \left(\frac{h}{D} + \frac{1}{2} \right) \gamma D^2.$$

Для определения вертикальных нагрузок от грузов, находящихся на поверхности земли, составлены номограммы, изображенные на рис. 56—59.

На рис. 56 показана номограмма для определения влияния равномерно распределенной нагрузки на трубы, уложенные в траншее; номограмма составлена по формуле

$$Q_s^{qT} = qBe^{-2k\mu' \frac{h}{b}}.$$

Для высоты засыпки над трубой $h=2,5$ м, при ширине траншей для укладки трубы диаметром 800 мм, $b=1,35$ м, глинистом грунте с

* Обозначения здесь и ниже, принятые в оригинале.

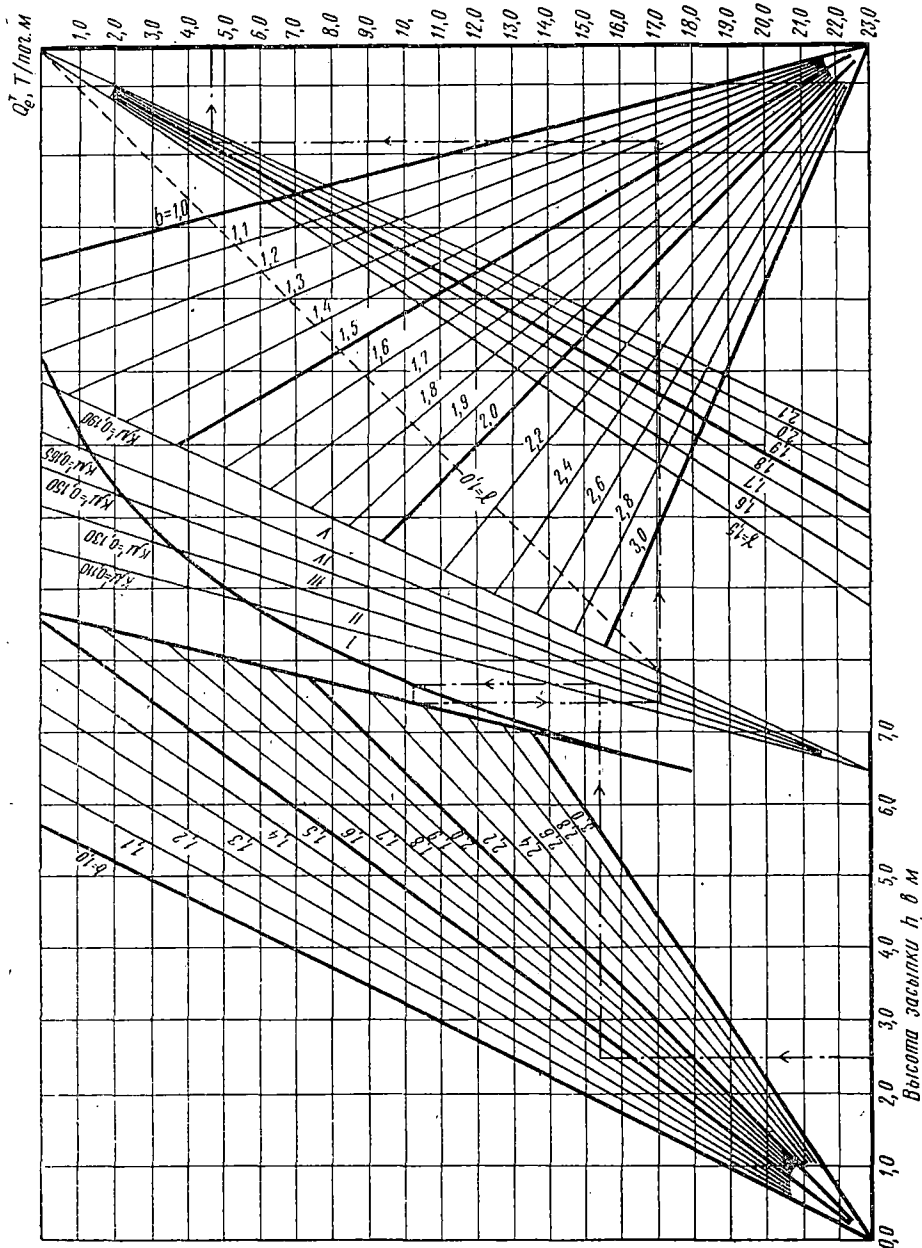


Рис. 52. Номограмма для определения вертикальной нагрузки от грунта на трубы, уложенные в траншею

I — влажная глина; II — глина; III — рыхлая земля; IV — песок и гравий; V — зернистый грунт; b — ширина траншеи в м; k_p — характеристика грунта; γ — объемный вес грунта в т/м^3

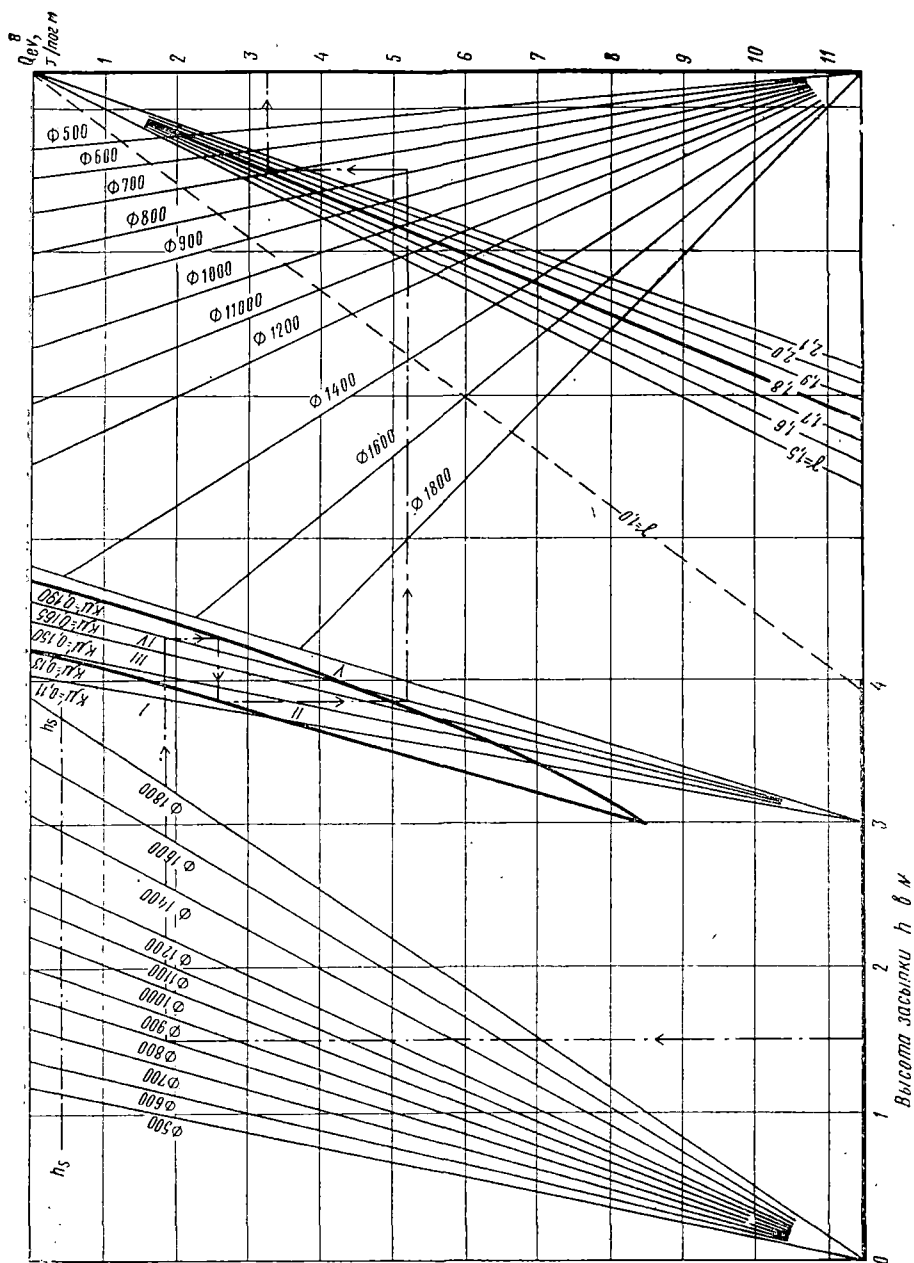
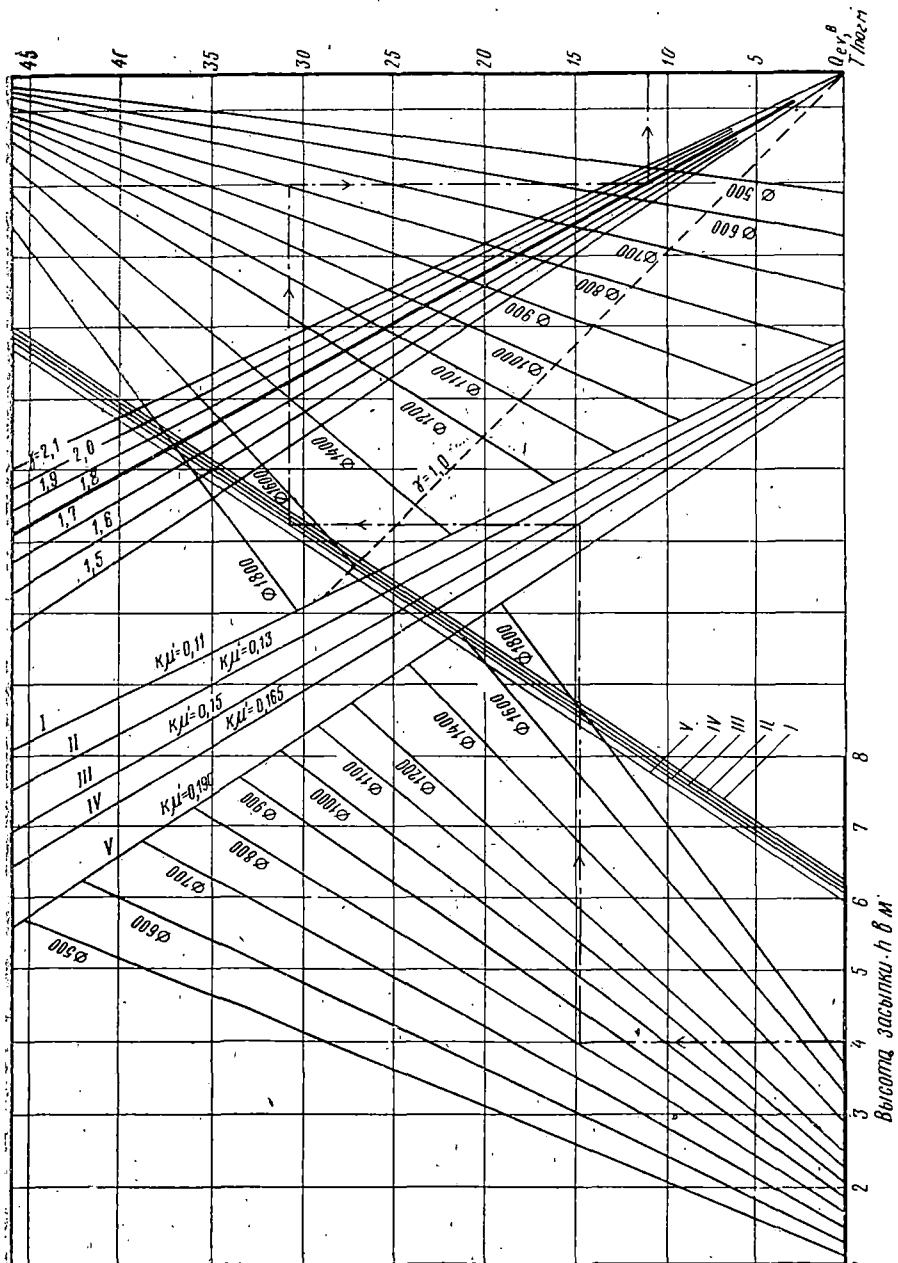


Рис. 53. Номограмма для подсчёта вертикальной нагрузки от грунта на трубы, уложенные под насыпью (обозначения те же, что и на рис. 52), для условия $h \leq h_s$.

Рис. 54. Номограмма для подсчета вертикальной нагрузки от грунта на трубы, уложенные под насыпью (обозначения те же, что и на рис. 52), для условия $h > h_s$.



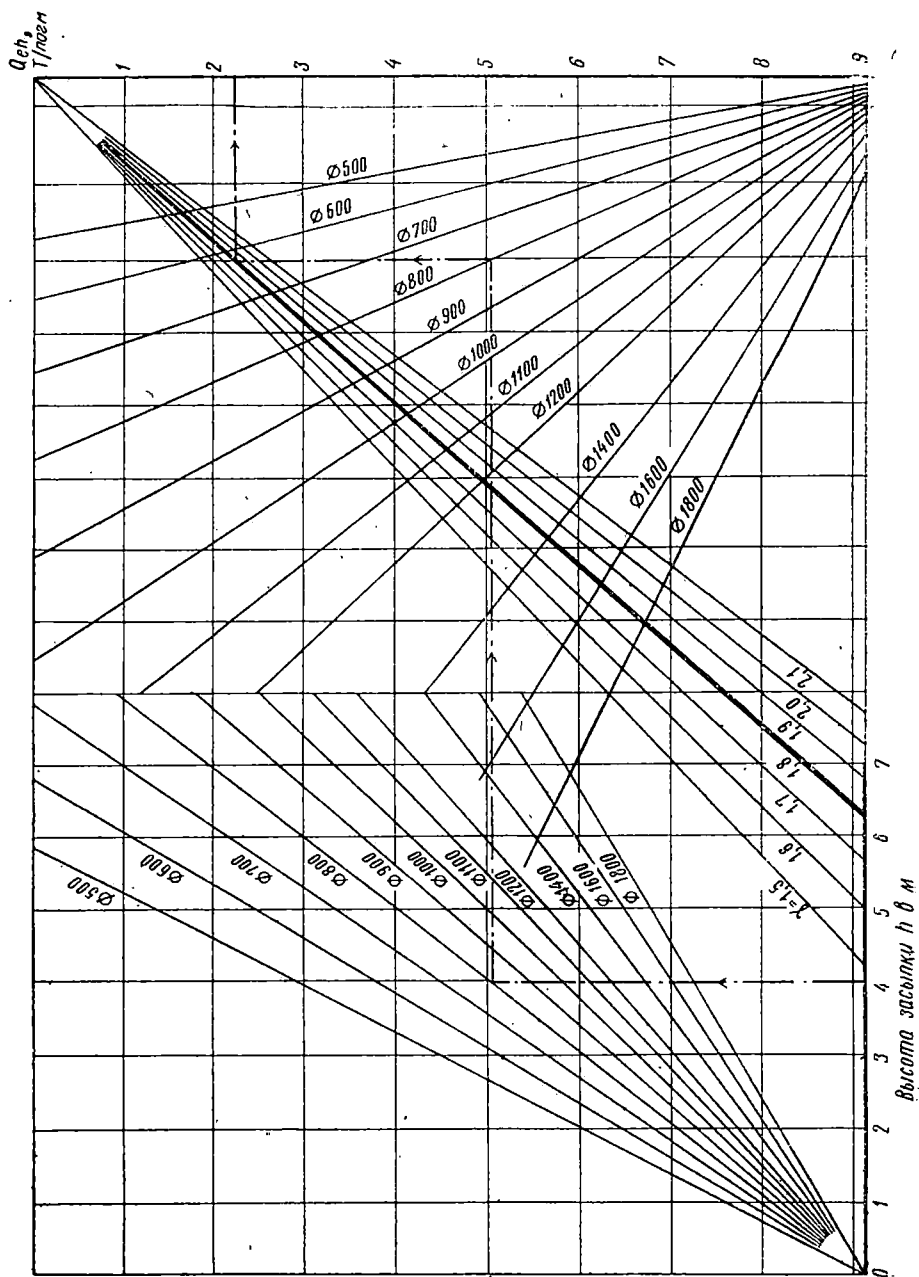


Рис. 55. Номограмма для определения полной (мгновенно прилагаемой) вертикальной нагрузки от грунта

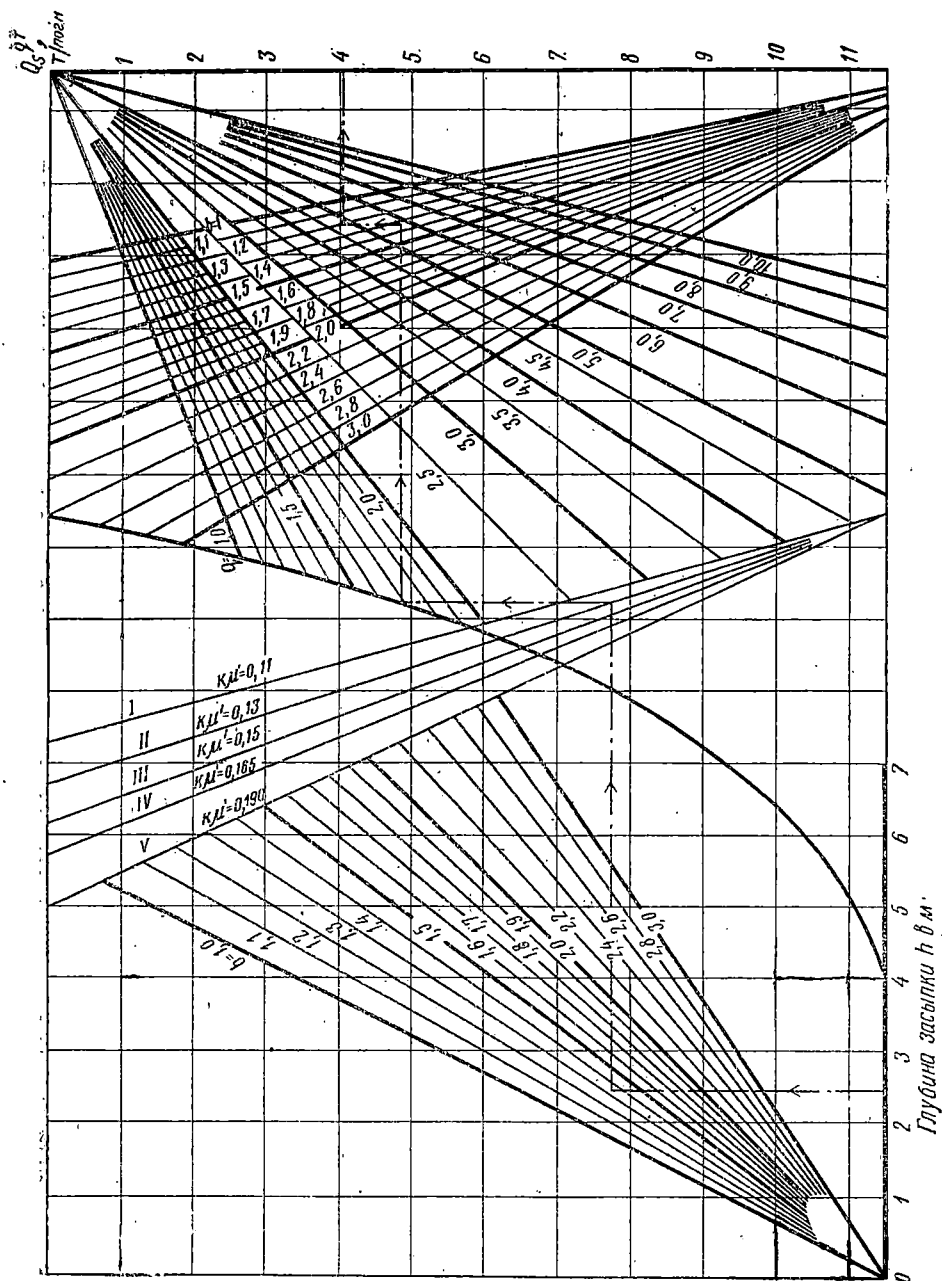


Рис. 56. Номограмма для определения влияния равномерно распределенной нагрузки на трубы, уложенные в траншее (обозначения те же, что и на рис. 52)

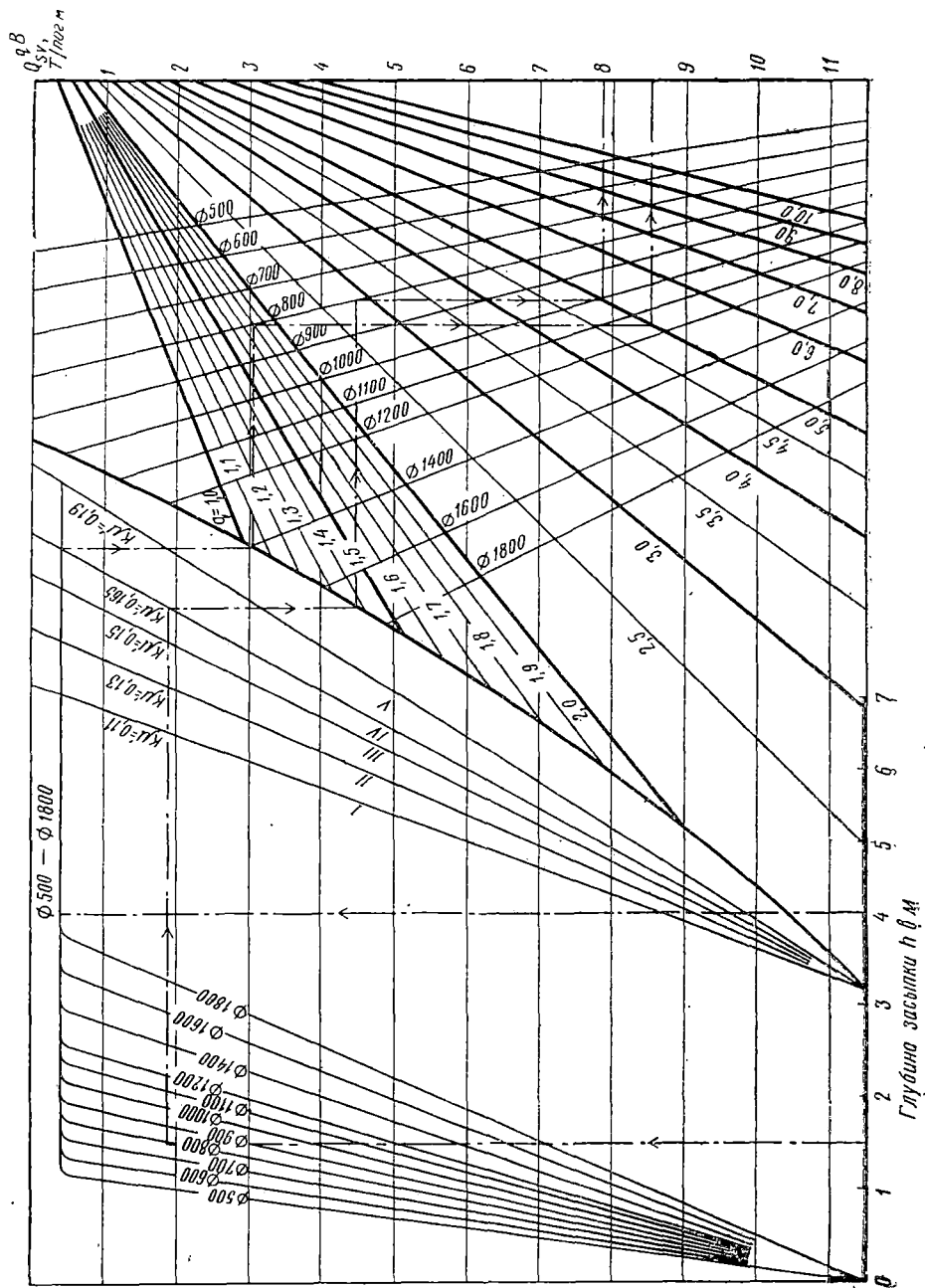


Рис. 57. Номограмма для определения влияния равномерно распределенной нагрузки на трубы, уложенные под насыпью (обозначения те же, что и на рис. 52)

характеристикой $k_{\mu}'=0,13$ и равномерно распределенной нагрузке на поверхности земли $q=5$ Т/пог. м $Q_s^q=4,1$ Т/пог. м.

На рис. 57 — номограмма для определения влияния от той же нагрузки, но на трубы, уложенные под насыпью; составлена по формуле при условии $h \leq h_s$

$$Q_{sv}^{qb} = qDe^{+2k_{\mu}' \frac{h}{D}}.$$

и при условии $h > h_s$ — по формуле

$$Q_{sv}^{qb} = qDe^{+2k_{\mu}' \frac{h_s}{D}}.$$

Номограмма построена при условии постоянного значения для насыпного грунта $h_s \approx 1,85 D$.

На рис. 57 показаны два примера подсчета нагрузки: для $h \leq h_s$ ($h=1,5$ м) и для $h > h_s$ ($h=4$ м). Для ранее принятых условий, но при гравелистом грунте в первом случае $Q_{sv}^{qb}=7,9$ Т/пог. м и во втором примере $Q_{sv}^{qb}=8,55$ Т/пог. м.

Для определения полной «мгновенно прилагаемой» нагрузки значение Q_{sv}^{qb} в последнем примере следует уменьшить на величину бокового давления (Q_{sv}^{qb}), установленную по номограмме на рис. 55, при условии, что высота засыпки h будет принята с учетом приведенной высоты, полученной от деления величины равномерно распределенной нагрузки на объемный вес грунта засыпки $\left(\frac{q}{\gamma}\right)$.

Влияние подвижных нагрузок, находящихся на поверхности земли (от транспортных средств), определяется по номограммам на рис. 58 и 59.

При составлении их использована формула Буссинески для распределения давления в грунте как в упругой среде:

$$\sigma_s = \frac{3S_e}{2\pi h^2} \cos^5 \varphi,$$

где S_e — сосредоточенная нагрузка на поверхности земли;

h — расстояние от точки ее приложения до данного горизонта грунта;

φ — угол отклонения от оси, проходящей через точку приложения нагрузки, прямой, соединяющей эту точку приложения с расчетным сечением.

На номограммах для решения задач при величине h от 1 до 2 м (рис. 58) и от 1,5 до 6 м (рис. 59) нанесены линии влияния напряжений в грунте от сосредоточенного груза $S_e=1$ т. Влияние нескольких сосредоточенных грузов учитывается путем наложения (суммирования) соответствующих линий влияния напряжений.

Нагрузка на 1 пог. м трубы на заданной глубине определяется путем интегрирования «объемов давления» по соответствующим линиям влияния:

$$Q_s^r = \Sigma S_e \int \sigma_s dD.$$

На номограмме это соответствует сумме площадей, ограниченных линиями внешнего диаметра рассчитываемой трубы (по горизонтали) и линиями влияния напряжения в грунте (шкала по вертикали) от соответствующих сосредоточенных грузов для заданной глубины укладки трубы. Для получения искомой величины нагрузки на трубу этот результат следует умножить на действительную величину сосредоточенного груза S_e в тоннах и на соответствующий динамический коэффициент (ε). Последний по шведским нормам определяется (в %): для автодорожного транспорта $\varepsilon=(48 \div 16 h)$ и для железнодорожного транспорта $\varepsilon=(88 \div 14,7 h)$.

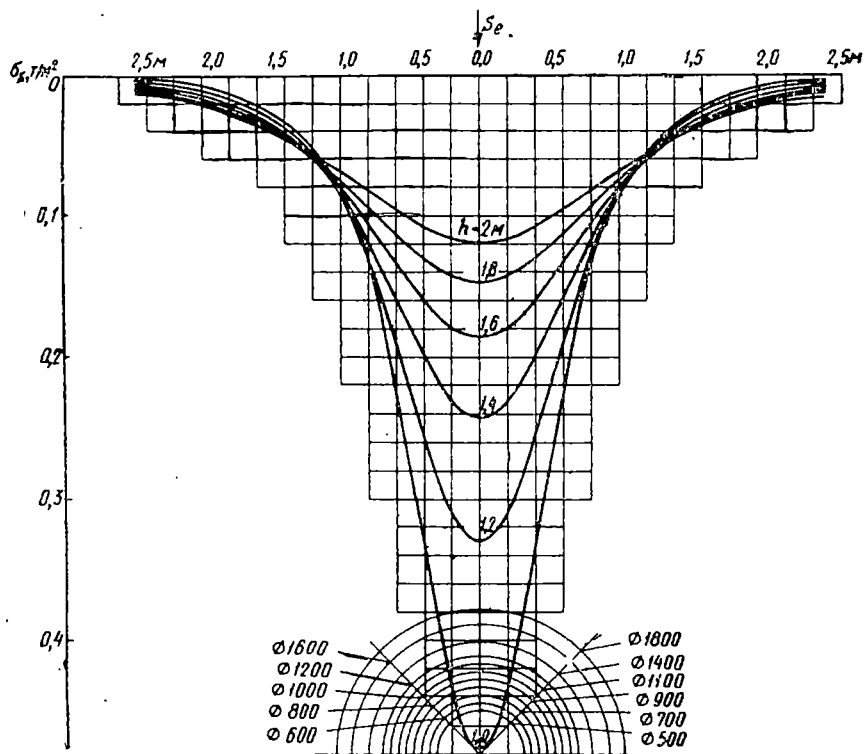


Рис. 58. Номограмма для определения влияния подвижных нагрузок, находящихся на поверхности земли (от транспортных средств)

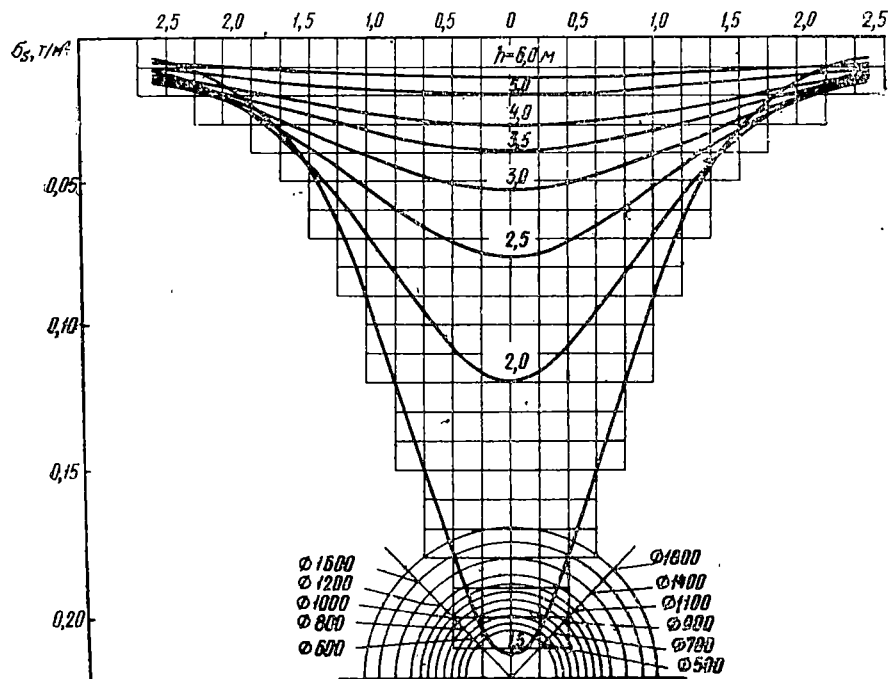


Рис. 59. Номограмма для определения влияния подвижных нагрузок, находящихся на поверхности земли (от транспортных средств)

Учитывая, что влияние транспортных нагрузок сильно уменьшается с глубиной укладки труб, для обычных транспортных нагрузок автодорожного типа ими пренебрегают при глубине укладки труб более 3 м.

Влияние собственного веса трубы и заполняющей ее воды незначительно сказывается на значении расчетного изгибающего момента в стенке трубы. Поэтому для упрощения расчета влияние этих нагрузок заменяется введением соответствующей эквивалентной внешней нагрузки (Q_p^c), определяемой из формулы

$$M = 0,0844Q_p^c D.$$

Моменты в стенке трубы от влияния этих нагрузок определяются по формулам Марквардта:

от собственного веса трубы

$$M = 1,5g \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 - 0,1932p_r \left(\frac{D_i}{2} \right)^2,$$

где g — вес трубы и $p_r = \frac{g \pi}{\sin \alpha}$;

от заполняющей трубу воды

$$M = 0,75\gamma \left(\frac{D_i}{2} \right)^2 - 0,1932p_r \left(\frac{D_i}{2} \right)^2,$$

где γ — объемный вес воды и $p_r = \frac{\gamma \frac{D_i}{2} \pi}{2 \sin \alpha}$.

Значения этих моментов для железобетонных труб «сентаб» диаметрами 500—1800 мм и соответствующие им эквивалентные внешние нагрузки приведены в табл. 27.

Таблица 27

Значения моментов в стенках труб «сентаб»
от влияния собственного веса трубы и веса воды в ней

Диаметр трубы в мм	Момент сил в Тм		Эквивалентная внешняя нагрузка в Т/пог.м			
	от собствен- ного веса трубы	от веса воды в трубе	от собствен- ного веса трубы	от веса воды в трубе	сумма нагрузок	Q_p^c
500	0,0054	0,0050	0,12	0,11	0,23	0,2
600	0,0078	0,0087	0,14	0,16	0,30	0,3
700	0,0116	0,1138	0,18	0,21	0,39	0,4
800	0,0164	0,0206	0,22	0,28	0,50	0,5
900	0,0224	0,0293	0,27	0,36	0,63	0,6
1000	0,0296	0,0401	0,33	0,44	0,77	0,8
1100	0,0392	0,0534	0,38	0,54	0,92	0,9
1200	0,0483	0,0694	0,45	0,64	1,09	1,1
1400	0,0735	0,1101	0,58	0,87	1,45	1,5
1600	0,1062	0,1644	0,74	1,14	1,88	1,9
1800	0,1472	0,2341	0,91	1,45	2,36	2,4

В табл. 28 и 29 приведены данные результатов подсчета нагрузок для труб «сентаб» диаметрами 500—1800 мм. Принято, что трубы укладываются в траншею, вырытую в глинистом грунте с характеристиками $k_{\mu}' = 0,13$ и $\gamma = 1,8 \text{ т/м}^3$; транспортная нагрузка $2s = 14 \text{ т}$ (осевая нагрузка на два колеса с расстоянием между ними 1,8 м) при $h \leq 4 \text{ м}$.

В табл. 28 приведены нагрузки от грунта, в табл. 29 — от транспорта.

Суммарная внешняя нагрузка на 1 пог. м трубопровода приведена в табл. 30.

Таблица 28

Значение вертикальной нагрузки на трубы «сентаб»,
уложенные в траншее (при $k\mu' = 0,13$ и $\gamma = 1,8$ т/м³)

Диаметр трубы в мм	Значения Q_s^T в т/пог.м при h в м								
	1	1,5	2,0	2,5	3	3,5	4	4,5	5
500	1,8	2,5	3,2	3,8	4,3	4,8	5,2	5,6	5,9
600	2	2,8	3,5	4,2	4,8	5,4	5,8	6,3	6,7
700	2	2,8	3,6	4,3	4,9	5,4	5,9	6,4	6,8
800	2,2	3,1	4	4,7	5,4	6	6,6	7,2	7,6
900	2,4	3,4	4,3	5,2	6	6,9	7,4	8	8,5
1000	2,6	3,7	4,7	5,7	6,6	7,4	8,1	8,8	9,4
1100	2,8	4	5,1	6,2	7,2	8,1	8,9	9,7	10,4
1200	3	4,3	5,4	6,7	7,7	8,7	9,7	10,5	11,3
1400	3,3	5	6,3	7,7	8,9	10,1	11,2	12,2	13,2
1600	3,8	5,6	7,4	8,7	10,1	11,5	12,7	14	15,1
1800	4,3	6,1	7,9	9,6	11,2	13,8	14,2	15,7	17

Таблица 29

Значения транспортных нагрузок на трубы «сентаб», уложенные в траншее

Диаметр трубы в мм	Значения Q_s^T в т/пог. м при h в м						
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
500	2,5	1,2	0,7	0,5	0,3	0,3	0,2
600	2,9	1,4	0,8	0,5	0,4	0,3	0,2
700	3,3	1,6	1	0,6	0,5	0,4	0,3
800	3,7	1,8	1,1	0,7	0,5	0,4	0,3
900	4,1	2	1,2	0,8	0,6	0,5	0,4
1000	4,4	2,2	1,3	0,9	0,6	0,5	0,4
1100	4,6	2,4	1,4	0,9	0,7	0,6	0,5
1200	4,8	2,6	1,6	1	0,7	0,6	0,5
1400	5,1	2,8	1,8	1,2	0,8	0,7	0,5
1600	5,5	3	1,9	1,3	0,9	0,7	0,6
1800	5,8	3,2	2,1	1,4	0,9	0,8	0,6

Таблица 30

Суммарная внешняя нагрузка на трубы «сентаб», уложенные в траншее

Диаметр трубы в мм	Суммарная внешняя нагрузка Q в т/пог. м при h в м								
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
500	4,5	3,9	4,1	4,5	4,8	5,3	5,6	5,8	6,1
600	5,2	4,5	4,6	5	5,5	6	6,3	6,6	7
700	5,7	4,8	5	5,3	5,8	6,2	6,6	6,8	7,2
800	6,4	5,4	5,6	5,9	6,4	6,9	7,4	7,7	8,1
900	7,1	6	6,1	6,6	7,2	8	8,4	8,6	9,1
1000	7,8	6,7	6,8	7,4	8	8,7	9,3	9,6	10,2
1100	8,3	7,3	7,4	8	8,8	9,6	10,3	10,6	11,3
1200	8,9	8	8,1	8,8	9,5	10,4	11,3	11,6	12,4
1400	9,9	9,3	9,6	10,4	11,2	12,3	13,2	13,7	14,7
1600	11,2	10,5	11,2	11,9	12,9	14,1	15,2	15,9	17
1800	12,5	11,7	12,4	13,4	14,5	16	17,2	18,1	19,4

Руководствуясь результатами подсчета внешних нагрузок, полученными по номограммам, конструкторы фирмы «Sentab pressure pipe consortium» производят дальнейший ускоренный расчет предварительно

напряженных напорных труб, используя специально разработанную для этой цели счетную линейку. Точность расчета на линейке достаточна для практических целей, так как соответствует известным допущениям, принятым при определении исходных данных — расчетных внешних нагрузок на трубы, укладываемые в грунт. Общий вид счетной линейки показан на рис. 60. Нанесенные на обеих сторонах линейки и ее движка соответствующие деления для параметров величин, связанных между

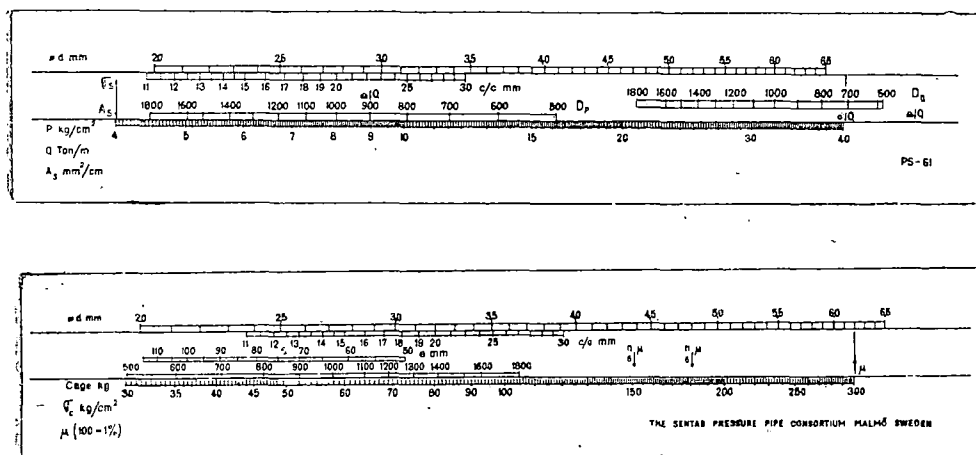


Рис. 60. Счетная линейка

собой в расчете, дают возможность при заданных размерах сечения труб, способе их укладки и внешней нагрузке определять диаметр и шаг навивки предварительно напряженной спиральной арматуры; процент армирования сечения (μ); вес арматуры; напряжения сжатия в бетоне и растяжения в арматуре; по заданному проценту армирования сечения — значение величины $1 + \mu$, а также определять другие расчетные данные.

Изложенный графический приближенный метод определения внешних нагрузок и основных расчетных параметров предварительно напряженных напорных труб нашел широкое применение в практике шведской фирмы.

Часть вторая

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОПРОВОДОВ

Глава V

ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ

В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФОРМАХ С ВИБРИРОВАНИЕМ

1. ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 900—1500 мм В ТРЕСТЕ ЗАКАВКАЗМЕТАЛЛУРГСТРОЙ

Производство труб на полевой установке

Необходимость быстрого сооружения водовода общей протяженностью трассы более 90 км с расчетным расходом воды 5800 м³/ч в Закавказье потребовала организации на месте производства железобетонных напорных труб без больших капитальных затрат и в возможно короткие сроки. Водовод был запроектирован из металлических и железобетонных труб и обетонированных туннелей в горах. Трубы требовались в первую очередь диаметром 900 и 1250 мм для укладки на участках трассы с гидравлическим напором от 2 до 10 ат.

Для изготовления железобетонных труб в 1947 г. была организована полевая установка на территории центрального бетонного комбината треста Закавказьметаллургстрой в одном из конечных пунктов сооружаемого водовода. Выбор площадки определился, во-первых, наличием существующего хозяйства комбината, которое обеспечивало полевую установку водой, паром, электроэнергией, подъездными путями и камнедробильными агрегатами, во-вторых, приближением установки к основной строительной площадке треста, в результате чего обеспечивалось кооперирование установки с ремонтно-механическим заводом, строительной лабораторией и машинопрокатной базой и, в-третьих, тем, что значительная часть продукции полевой установки предназначалась в дальнейшем для сооружения водоводов оросительных систем и канализационных коллекторов диаметром от 700 до 1500 мм завода и строящегося города Рустави.

В условиях опытного производства напорных труб организация его в центре производственных предприятий треста полностью оправдалась, тем более что транспортирование труб автомашинами в пределах 40 км до места укладки напорного водовода затруднений не вызывало. В других условиях было бы значительно рентабельнее строительство установки в центре тяжести участков трассы водовода, на которых предполагалась укладка железобетонных труб.

Трубы намечено было изготавливать в вертикальных формах с высокочастотным вибрированием. Организация производства была начата с сооружения одной опытной камеры для паропрогрева железобетонных сердечников. В процессе работы были проверены в натуре механизмы и приспособления, а также уточнены необходимые габариты камер для изготовления железобетонных сердечников для труб с внутренним диаметром от 700 до 1500 мм.

После изготовления опытной партии труб был разработан проект и осуществлено строительство полевой установки типа открытого полигона с 15 камерами. Сооружение полигона потребовало в общей сложности двух месяцев. В дальнейшем полигон был расширен до 20 камер. Общая стоимость такой установки не превышала 100 тыс. руб. (в новых ценах).

Весь цикл производства делился на три самостоятельных технологических процесса:

- 1) изготовление железобетонных сердечников;
- 2) навивка высокопрочной проволоки на железобетонный сердечник;
- 3) нанесение защитного слоя.

Железобетонный сердечник представляет собой обычную железобетонную безнапорную трубу длиной 4 м, но с меньшим расходом арматуры и с более тонкими стенками. Такие трубы (сердечники) широко применялись трестом на строительстве безнапорных трубопроводов, главным образом ливневой канализации, диаметром 700 мм; существенное преимущество их по сравнению с короткими (1—1,5 м) железобетонными канализационными трубами — большая индустриальность при укладке и уменьшение в 3—4 раза количества стыков в трубопроводе. При особом заказе арматурный каркас железобетонных сердечников усиливали с учетом условий заложения труб и действующих внешних нагрузок. Таким образом, первая стадия производства труб — изготовление железобетонных сердечников — рассматривалась как самостоятельный технологический процесс производства безнапорных труб.

Изготовление предварительно напряженных напорных труб явилось следующей стадией производства. На специальном станке на железобетонный сердечник навивали высокопрочную проволоку для обжатия стенок. Наносимый торкретом слой цементного раствора толщиной до 20 мм защищал навитую проволоку от коррозии и механических повреждений; полная толщина стенки напорной железобетонной трубы составила ориентировочно $0,1D_0 + 20$ мм, где D_0 — внутренний диаметр трубы.

На рис. 61 показан генеральный план опытного полигона. Общая площадь, занятая полевой установкой, — 6000 м², в том числе площадь складов 5000 м². На территории полигона располагались: бетонный узел; 20 пропарочных камер; помещения для навивочных станков; установка для торкретирования; камеры для пропаривания торкретированных труб; испытательная установка; склад для цемента; кладовые и контора цеха; склады железобетонных сердечников и напорных предварительно напряженных труб.

Бетоносмесительный узел был рассчитан на две бетономешалки емкостью по 425 л, установленные с таким расчетом, чтобы выгружаемый бетон попадал в бункер-вагонетку для развозки бетона по эстакаде. Основные размеры шахты бетоносмесительного узла в плане 5×6 м; высота 14 м. Эстакада, так же как и шахта бетоносмесительного узла, — деревянная высотой 6 м, шириной 2,6 м и длиной 56 м — конструктивно объединялась с пропарочными камерами. На эстакаде были уложены рельсовые пути, по которым в бункерах-вагонетках подавали бетон от

смесительного узла к заправляемой форме, установленной в очередной пропарочной камере.

Внутренние размеры камеры $1,8 \times 1,9 \times 4,8$ м (из расчета длины изготавливаемых железобетонных сердечников 4 м); деревянный каркас камер обшит с двух сторон досками вчетверть с засыпкой шлаком, толщина стенок 20 см. Передняя стенка камер имела наклонные вертикальные ребра для удобства укладки щитов, которыми закрывали проемы камер. Так как стальные формы труб устанавливались в камеры при помощи крана, движущегося вдоль их фронта, то в целях удобства обслуживания камеры открывались с двух смежных сторон — сбоку и сверху. Вверху укладывался один дощатый щит размером $1,5 \times 1,5$ м со стальными кольцами для захвата краном, а с передней стороны два

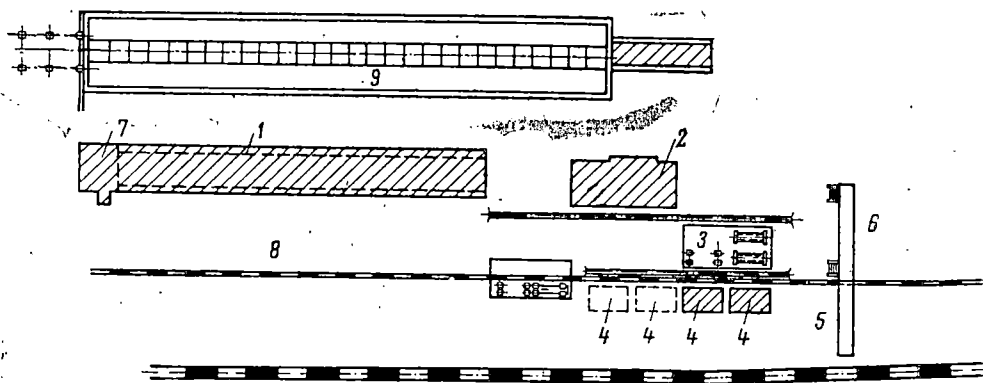


Рис. 61. Генеральный план опытного полигона

1 — пропарочные камеры и стенды для изготовления сердечников; 2 — навивочные станки; 3 — стенд для торкретирования труб; 4 — камеры пропаривания торкретированных труб; 5 — стенд для испытаний; 6 — склад готовых труб; 7 — бетономесительная установка; 8 — склад железобетонных сердечников; 9 — склад гравия (общий для всего комбината)

щита, каждый размером $1,5 \times 2,3$ м, также с двумя стальными кольцами. Щиты были утеплены войлоком и пароизоляцией из толя или рубероида.

Камеры пропаривания были оборудованы электросиловой разводкой и специальной подводкой пара с парораспределительными устройствами, состоящими из горизонтального коллектора диаметром 50 мм с ответвлениями в каждую камеру. Коллектор был смонтирован на внешней стене камер под настилом эстакады. Паропроводящие трубки (по 5 $\varnothing$ 19 мм на одну камеру) вводили в камеры по две с обеих сторон и одну — через днище основания в середине внутренней формы. Пар подавался от центральной котельной под давлением до 4 ат и впускался в камеру через водяную ванну для его увлажнения. Общий расход пара на одну камеру в сутки (за 8—10 ч паропрогрева) составлял 400 кг или для одновременно действующих 20 камер — 8 т.

Под эстакадой располагалась служебная галерея. Вдоль галереи по рельсам передвигалась площадочная вагонетка с четырьмя трансформаторами 380/220 в. На столбах служебной галереи были смонтированы огражденные троллеи; питавшие через указанные трансформаторы распределительный щит управления вибраторами.

Все основные сооружения установки занимали площадь 360 м², а вместе с обслуживающей рабочей площадкой — 1000 м².

Производство железобетонных сердечников

Для изготовления железобетонных сердечников был принят бетон марки 350—400 с расходом пуццоланового портландцемента марки 500 в количестве 500—550 кг/м³.

В качестве заполнителей бетона применяли щебень с максимальной крупностью зерен до 20 мм, получаемый дроблением местного камня с пределом прочности при сжатии 800 кг/см^2 . В районе строительства не было залежей чистых кварцевых песков, поэтому использовалась смесь природного песка с отсевом от дробления камня с крупностью зерен от 0,1 до 5 мм. Дробление и рассеивание заполнителей производились в дробильно-сортировочном цехе бетонного завода, на территории которого была расположена установка.

Водоцементное отношение принималось в пределах 0,4—0,5, нижний предел B/C ограничивался требованием удобоукладываемости бетона. Подбор состава бетона, а также контроль его качества осуществлялись лабораторией. В процессе укладки бетона лаборант заполнял формы кубиков размером $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$ на каждый изготавливаемый сердечник в количестве трех штук. Контрольные кубики готовились и хранились в тех же условиях, что и контролируемый сердечник: они устанавливались на вибрируемую форму сердечника и пропаривались одновременно с ним в камере. Из трех контрольных кубиков первый подвергался испытанию на сжатие непосредственно после пропаривания, второй — через 15 суток (срок выдерживания железобетонного сердечника перед навивкой на него высокопрочной проволоки) и третий — по достижении бетоном 28-суточного возраста.

Кроме испытания кубиков лаборатория треста провела значительное количество испытаний образцов бетона для труб на разрыв и водонепроницаемость при помощи специально сконструированных приспособлений.

При производительности установки 18—20 тыс. пог. м труб в год ежедневная потребность в бетонной смеси с учетом неравномерности потребления при различных диаметрах труб составляла 25 м^3 . Такое количество бетона в смену дает одна бетономешалка емкостью 425 л. Поэтому вторая бетономешалка была резервной.

Бетоносмесительный узел обслуживали 8 рабочих. Бетонную смесь к месту укладки в форму транспортировали вагонеткой (рис. 62), оборудованной стальным бункером емкостью 0,25—0,3 м^3 , соответствующей объема одного замеса бетономешалки.

Для обеспечения непрерывного потока бетона к месту укладки целесообразно было иметь две вагонетки-бункера. На эстакаде были размещены два узкоколейных пути с колеей 600 мм, из которых второй объездной путь служил для возвращения к бетоносмесительному узлу разгруженной вагонетки.

Изготовление железобетонных сердечников производилось в сборно-разборных стальных формах, устанавливаемых в пропарочных камерах в вертикальном положении.

Формы для труб всех диаметров имели одинаковую конструкцию и различались между собой только сечением отдельных элементов. Они состоят из двух основных частей — внутренней и наружной, не связанных между собой и монтируемых в пропарочной камере раздельно.

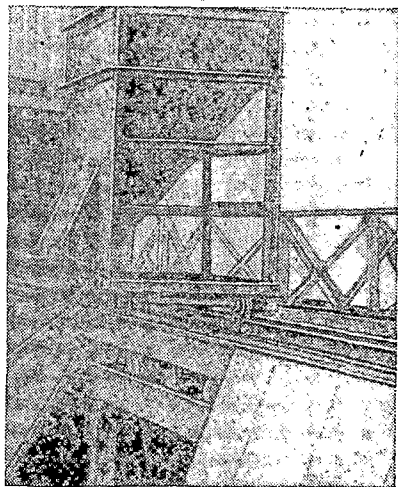
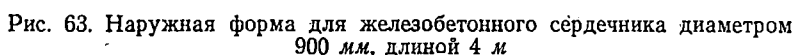
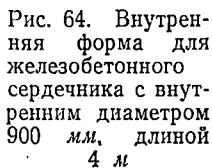


Рис. 62. Вагонетка-бункер для развозки бетонной смеси к формам, установленным в камерах для пропаривания



1 — цапга диаметром 1060 мм и длиной 1100 мм; 2 — цапга диаметром 1000 мм и длиной 1000 мм; 3 — фланец диаметром 1084/1284 мм; 4 — фланец диаметром 1084/1300 мм; 5 — обечайка диаметром 1300 мм; 6 — направляющая цапка длиной 1000 мм; 7 — то же, 1200 мм; 8 — то же, 1600 мм; 9 — то же, 1100 мм.



1 — царга диаметром 900 мм, длиной 1100 мм; 2 — царга диаметром 900 мм, длиной 1000 мм; 3 — клин длиной 4200 мм; 4 — обечайка; 5 — тендер; 6 — винт-тендер; 7 — лапа; 8 — упорная планка; 9 — ушко

Наружная часть формы (рис. 63) составлена из двух цилиндрических полуформ, изготовленных из листовой стали толщиной 12 мм. На поверхности формы располагались семь кольцевых ребер жесткости из листовой стали толщиной 10 мм, два из которых коробчатого сечения. Ребра жесткости располагают по высоте через 700 мм.

Полуформы имели продольные замковые утолщения (к основному листу приваривались полосы сечением 50×20 мм), которые стягивались между собой при монтаже форм шестью стальными струбцинами с каждой стороны формы. Продольный замок при помощи специальной обработки обеспечивал герметичность стыка. К верхней части полуформы для строповки приваривались петли из круглой стали диаметром 22 мм, а для креп-

ления вибраторов с наружной стороны полуформы имелись специальные опоры в трех зонах.

Внутренняя часть формы (рис. 64) изготовлялась из одного листа толщиной 12 мм и имела наружный диаметр, соответствующий внутреннему диаметру железобетонного сердечника. Форма собиралась и разбиралась при помощи специального устройства, представляющего собой продольную съемную полосу (вкладыш) шириной 250 мм, вырезанную из цилиндрической поверхности внутренней формы по двум параллельным образующим. Эта полоса с бортов скошена под углом 60°. Как только полоса накладывалась на форму, она закреплялась болтами, поэтому после сборки с внешней стороны формы образовывалась

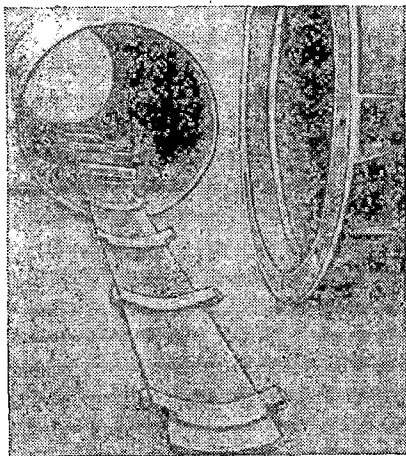


Рис. 65. Подготовка форм к монтажу



Рис. 66. Бетоноукладчик ёмкостью 0,5 м³

правильная цилиндрическая поверхность. Внутри формы устанавливалось пять стяжных муфт-тендеров, с помощью которых внутренняя форма освобождалась от железобетонного сердечника. Перед распалубкой съемная полоса вынималась и стяжные муфты стягивались, в результате чего диаметр внутренней формы уменьшался и она свободно отделялась от бетона. В гайке стяжной муфты имелось два сквозных отверстия, расположенных под прямым углом; это давало возможность небольшим рычагом длиной 400 мм легко поворачивать гайку внутри формы, осуществляя каждый ее поворот на одну четверть окружности. Для подъема формы с внутренней стороны ее были приварены петли из круглой стали диаметром 17 мм.

Длина формы 4200 мм, на 200 мм больше длины трубы, из них 100 мм занимало нижнее кольцо, необходимое для центрирования и опоры формы, и 100 мм оставлено сверху для установки распорок, контролирующих толщину стенки сердечника, и для опирания бетоноукладчика при бетонировании. Общий вес формы диаметром 900 мм составлял 2,5 т, из них внутренней части — 1,1 и наружной — 1,4 т. При монтаже формы наибольшим грузом была внутренняя часть, так как наружная состоит из двух частей. При разборке форм после пропаривания, наоборот, наибольшим весом обладала наружная форма с железобетонным сердечником ($1,4 + 2,5 = 3,9$ т). Все операции по установке и разборке форм производились с помощью крана грузоподъемностью 7 т при вылете стрелы до 4 м.

Бетонную смесь укладывали в формы с распределением ее по периметру вручную, а затем при помощи специального бетоноукладчика. В практике опытного полигона было проверено несколько конструкций

бетоноукладчиков. В результате был установлен бетоноукладчик ёмкостью $0,5 \text{ м}^3$, изображенный на рис. 66, который обеспечивает равномерное распределение укладываемой смеси по контуру формы при помощи вибрирующего конуса. Процесс бетонирования железобетонных сердечников начинался с подготовки форм на бетонной площадке перед камерами. Поверхности внутренней и наружной форм, обращенные к бетону, тщательно очищали и смазывали масляной эмульсией. Съемную полосу (вкладыш) внутренней формы очищали и смазывали отдельно, после чего устанавливали на место и закрепляли. Все стяжные муфты при этом подтягивались в исходное положение, обеспечивавшее требуемое сечение внутренней формы. После этого внутреннюю форму поднимали краном и устанавливали в камеру пропаривания (рис. 67).

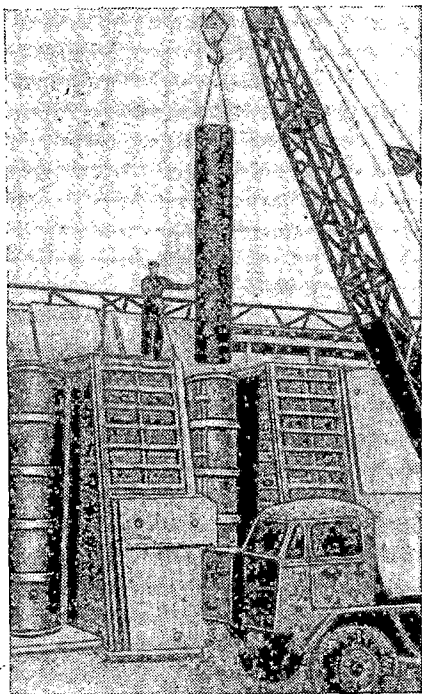


Рис. 67. Установка внутренней формы в камеру

Каркас арматуры из катанки диаметром 6 мм изготовляли на арматурном дворе и подвозили на площадку опытного полигона в готовом виде. Шаг спирали каркаса был принят 150 мм , а расстояние между распределительными стержнями 200 мм . У концов каркаса на расстоянии 150 мм шаг спирали уменьшали до 50 мм . При установке арматурного каркаса с помощью крана следили за правильностью расположения его по отношению к ранее установленной внутренней части формы. В нижней части в нескольких точках осуществлялось закрепление каркаса с тем, чтобы предотвратить смещение. Затем приступали к монтажу наружной формы каждой половины отдельно, скрепляя их на месте металлическими струбцинами.

Между внутренней и наружной

формами для сохранения заданной толщины стенок (для железобетонных сердечников диаметром 900 мм толщина их была принята 80 мм) устанавливали инвентарные распорки. На наружной поверхности формы монтировали вибраторы, закрепляя их в заготовленных гнездах. Для вибрирования бетонной смеси применялись высокочастотные вибраторы с гибким валом Н-21, 8000 кол/мин , мощностью 1 кВт (напряжение 220 в).

Было произведено много экспериментов с различными вариантами размещения и закрепления вибраторов на стенке формы с целью установления их оптимального количества (12; 9 и 6 вибраторов) и наиболее эффективной конструкции крепления вибраторов, обеспечивающей передачу вибрации на стенки формы и через них — бетонной смеси. В результате было принято горизонтальное расположение восьми вибраторов, жестко прикрепленных к форме в четырех ярусах по высоте (рис. 68). Как видно из рис. 69, вибратор крепится к отрезку стальной трубы одним болтом, упирающимся при ввинчивании в специальную выемку в корпусе вибратора. Благодаря большой длине отрезка трубы вибратор крепко охвачен ею и после подтяжки болтом жестко крепится к корпусу формы, передавая ей колебания вибратора.

После установки форм, конструктивной арматуры и вибраторов приступали к формованию сердечника. Для того чтобы бетонная смесь равномерно распределялась и достигала нижней части формы, не создавая пробок и раковин, с самого начала бетонирования включались

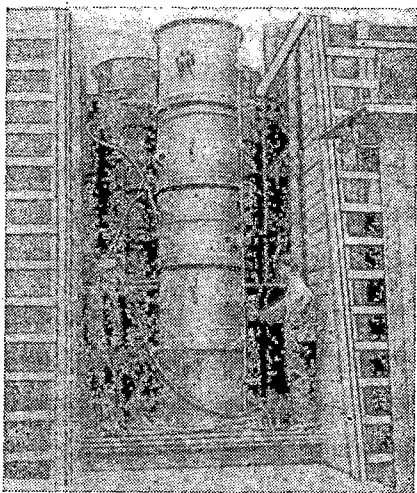


Рис. 68. Общий вид крепления вибраторов к наружной форме

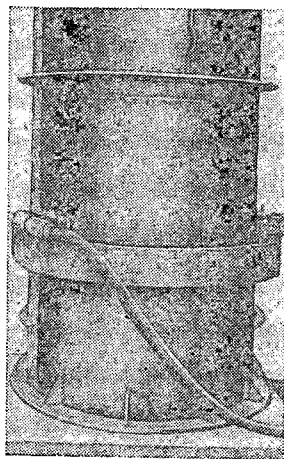


Рис. 69. Деталь крепления вибратора к наружной форме

все вибраторы. После заполнения $\frac{1}{4}$ высоты формы нижний ярус вибраторов выключался. Затем отключался второй снизу ряд вибраторов, а следом за ним и третий. В этот момент были включены только вибраторы четвертого верхнего яруса и вибрированию подвергалась верхняя часть бетона в форме. Бетонную смесь в открытом торце формы тщательно выравнивали для образования торца трубы. Вибрирование формы происходило с интервалами. Вибраторы могли включаться только на короткий срок до 1,5 мин. Весь цикл заполнения бетонной смесью формы сердечника диаметром 900 мм, т.е. укладка с вибрацией 1 м³ бетона, занимал 8—10 мин. Вибраторы после окончания формования переносили на следующую форму.

Камеру с заполненной формой закрывали крышками-щитами и впускали в нее пар. Процесс пропаривания железобетонного сердечника продолжался 12 ч, в результате чего прочность бетона достигала 200—250 кг/см². В течение первых 2 ч температура в камерах равномерно поднималась до 75—

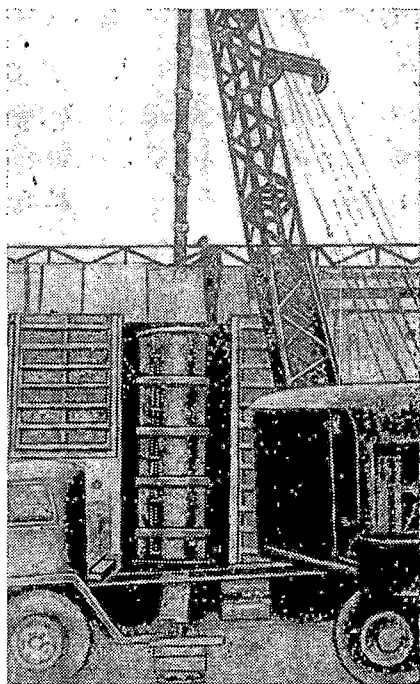


Рис. 70. Освобождение вкладыша внутренней формы

80° С и на этом уровне поддерживалась в течение 8 ч. Затем начиналось равномерное снижение температуры также в течение 2 ч. Паропрогрев сердечников контролировался дежурным лаборантом.

Железобетонный сердечник освобождался из формы в следующем порядке. Краном снимали щиты и камера охлаждалась. Затем в форму опускался рабочий, используя вместо лестницы болты стяжных муфт, и освобождал вкладыш внутренней формы. Освобожденный вкладыш вытягивали краном (рис. 70) и опускали на площадку перед камерами. Во избежание перекоса формы и для облегчения снятия ее бы-

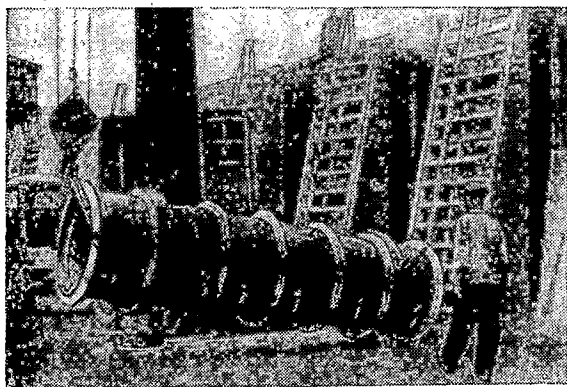
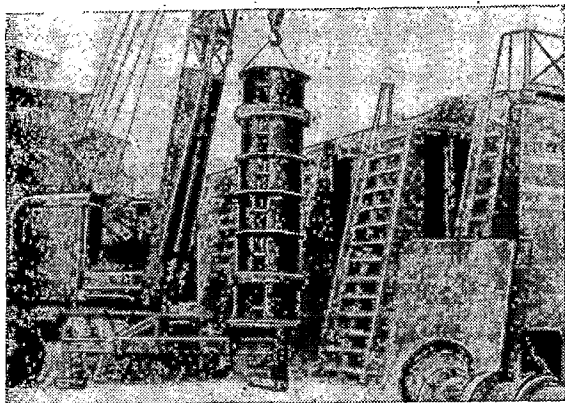


Рис. 71. Операции по выемке из камеры железобетонного сердечника с наружной частью формы

ло установлено, что обороты тендеров целесообразно осуществлять в два приема: поворачивать на два оборота при опускании рабочего и на два оборота при подъеме его. В результате внутренняя форма равномерно отделялась от бетона по всей высоте железобетонного сердечника; затем ее стропили за приваренные в верхней части петли, вытягивали краном и спускали на нижнюю рабочую площадку. Третьей операцией крана являлась выгрузка из камеры наружной формы вместе с железобетонным сердечником.

Опустив форму на ровную бетонную площадку перед камерами, крановщик наклонял ее и осторожно переводил в горизонтальное положение (рис. 71). При подъеме форму крепили за отверстия в обрамляющем сверху кольцо из углового железа таким образом, чтобы при

опускании ее на площадку не допустить повреждения сдвинутых бортов полуформы, стянутых струбцинами. После этого струбцины снимались, а стропы крана переносили на стальные петли, приваренные к наружной поверхности верхней полуформы и расположенные примерно в средней трети ее длины. Таким образом освобождали одну половину формы, а затем, перекачивая железобетонный сердечник, повторяли операцию и освобождали другую.

Железобетонный сердечник после распалубки направляли на склад, а форму очищали, смазывали и собирали для последующего монтажа в той же камере. В условиях опытного производства хранение железобетонных сердечников было организовано на открытой площадке, где их неоднократно в течение дня поливали водой. Для получения проектной марки бетона сердечники выдерживали на складе минимум 15 суток.

Железобетонные сердечники, предназначенные для производства предварительно напряженных железобетонных труб, направляли на последующую стадию обработки — навивку напряженной спирали из высокопрочной проволоки.

Навивка стальной высокопрочной проволоки

В тресте Закавказметаллургстрой для навивки проволоки на трубы диаметром до 900 мм применяли станки, разработанные советскими инженерами. При напряжении навиваемой на этих станках проволоки трубы не подвергаются напряжению изгиба. Это имеет особенно существенное значение при изготовлении длинных (4 м и более) труб, обвиваемых высокопрочной проволокой с большим натяжением.

Станок (рис. 72) состоит из следующих основных деталей и механизмов: передней бабки со шпинделем и ведомой планшайбой; задней бабки со шпинделем и ведомой планшайбой; суппорта и рамы с колесами; привода суппорта; гидравлического натяжного устройства; пульта управления и барабана для бухты проволоки.

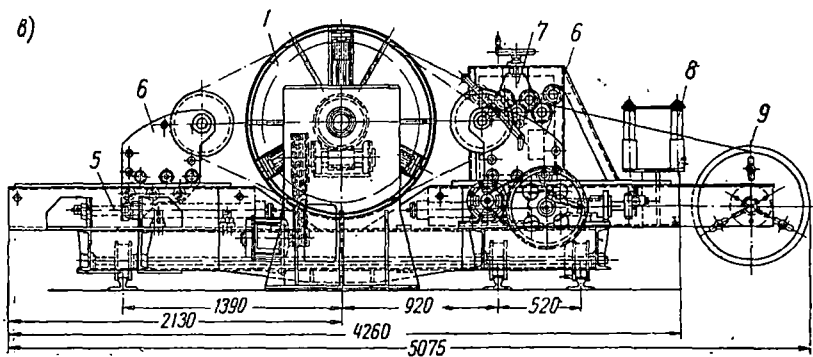
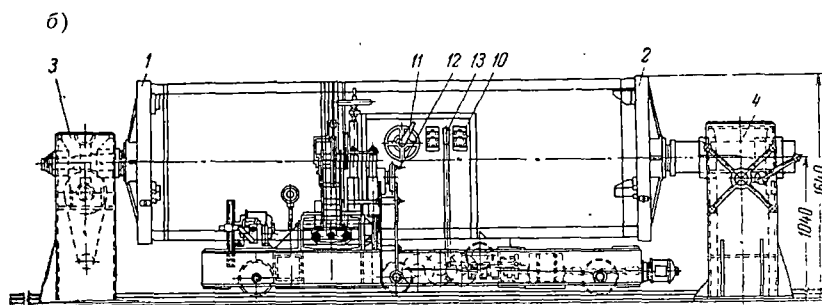
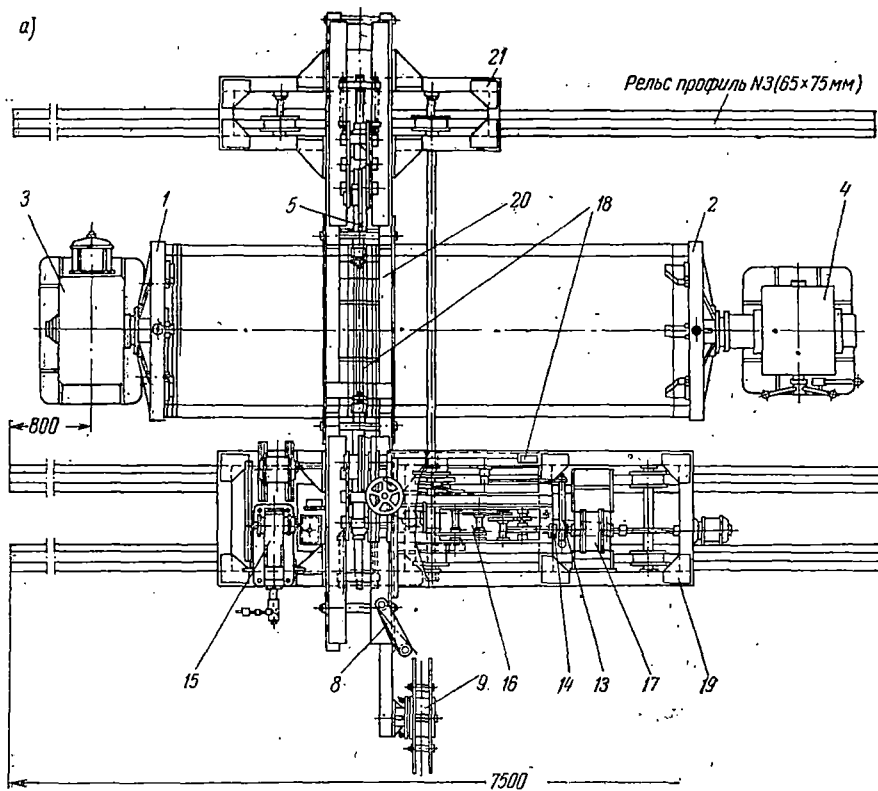
Передняя и задняя бабки устанавливаются на фундаменте, причем задняя монтируется на специальной раме, по которой она может перемещаться вдоль оси шпинделя в пределах длины навиваемой трубы. Закрепляемая в планшайбах железобетонная труба вращается при помощи привода шпинделя станка, расположенного в передней бабке. Вращение шпинделя осуществляется от электродвигателя через клиноременную и червячную передачи.

Для исключения возможности разматывания проволоки при остановке шпинделя принят однозаходный самотормозящий червяк. Червячная передача заключена в кожух и охлаждается в масляной ванне.

Планшайбы имеют два размера: меньший для труб диаметром 300—600 мм и больший для труб диаметром 700—1000 мм. Размеры планшайб меняют в зависимости от диаметра навиваемых труб. Планшайбы насажены на переднем конце шпинделей бабок и снабжены тремя кулачками, каждый из которых имеет самостоятельное управление, поэтому железобетонная труба, насаженная на них, центрируется так же, как и закрепляемая деталь в токарном станке. При закреплении железобетонной трубы в планшайбах она навешивается между ними при помощи крана и заводится на кулачки планшайбы передней бабки. Для того чтобы осуществить эту операцию, планшайба и шпиндель задней бабки станка смонтированы на державке, которая может перемещаться в осевом направлении на расстояние до 280 мм (рис. 73). Державка перемещается при помощи зубцов, нарезанных на ее нижней поверхности, и приводится в движение шестерней, вращаемой вручную за рукоятку. Закрепление державки в заданном положении производится стопным кольцом.

После того как труба заведена между планшайбами и посажена на кулачки передней планшайбы, задняя планшайба при помощи державки сдвигается к передней и в свою очередь подхватывает на кулачки трубу, которая освобождается от стоп-крана и центрируется. Железобетонная труба, закрепленная в планшайбах, вращается со скоростью 15—17 об/мин.

Механизмом, осуществляющим навивку проволоочной спирали на трубу с определенным по расчету напряжением проволоки и шагом спирали, является суппорт, который движется с заданной скоростью параллельно оси станка. Скорость поступательного движения суппорта и скорость вращательного движения трубы в планшайбах обеспечива



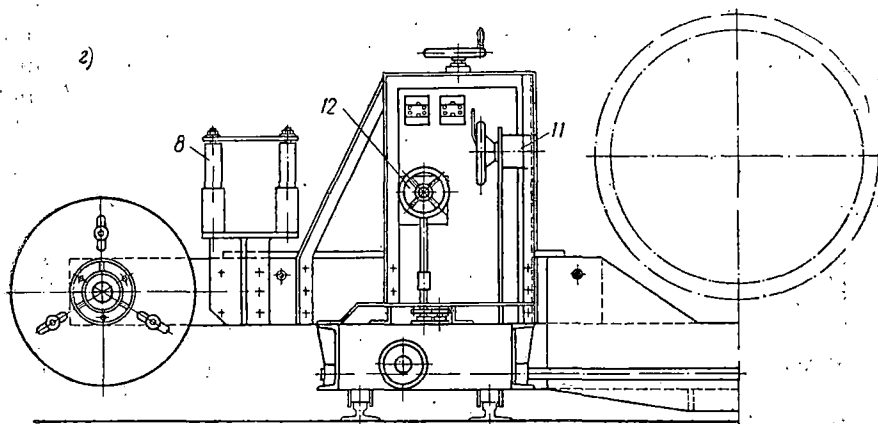


Рис. 72. Навивочный станок

а — план; б — боковой вид; в — вид с левого торца; г — вид с правого торца; 1 — планшайба привода (для труб диаметром 600 мм); 2 — планшайба задней бабки; 3 — передняя стойка с приводом; 4 — задняя бабка; 5 — гидравлический цилиндр; 6 — натяжной блок; 7 — предварительное натяжное устройство; 8 — направляющие ролики; 9 — гапсель; 10 — пульт управления; 11 — двухходовой кран; 12 — механизм управления редуктора; 13 — управление муфт; 14 — муфта; 15 — насос; 16 — передача тележки; 17 — бесступенчатый редуктор; 18 — суппорт; 19 — каркас передней тележки; 20 — рельс; 21 — задняя тележка

ют расчетный шаг навиваемой спирали. Рама суппорта разборной конструкции выполнена из швеллеров № 26 и состоит из двух тележек, связанных между собой ригелем. Передняя тележка рамы является ведущей и движется по рельсам. Ее ходовая часть состоит из шести колес с ребордами. Задняя тележка движется на двух колесах. Два средних колеса передней тележки и одно задней посажены на общий вал, что дополнительно обеспечивает равномерность движения всего моста. Второе колесо задней тележки предохраняет раму от возможных перекосов во время движения. Суппорт перемещается при помощи зубчатой рейки, привинченной к одному из рельсов передней тележки (рис. 74).

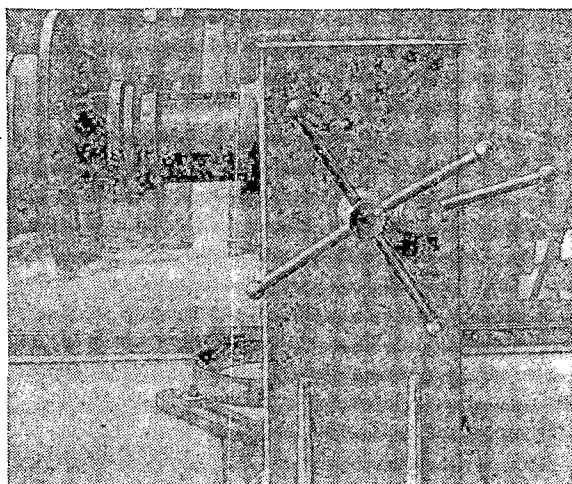


Рис. 73. Задняя бабка станка. Выдвижная державка шпинделя планшайбы

Привод суппорта размещен в правой части передней тележки и состоит из электродвигателя фланцевого типа мощностью 2 квт, 1500 об/мин, работающего на трехфазном токе напряжением 220/380 в, и вариатора, с которым двигатель соединен с помощью муфты и коробки передач.

Вариатор (в станине — бесступенчатый фрикционный редуктор) имеет передаточные числа от $i_{\max} = 1:1,875$ до $i_{\min} = 1:3,75$ и дает возможность непрерывно регулировать скорость; он состоит из трех стальных конических барабанов, расположенных по окружности под углом

120° друг к другу. Ось ведущего вала вариатора совпадает с геометрической осью окружности конических барабанов. На этом валу на скользящей шпонке насажен стальной (закаленный) цилиндрический ролик, который находится в зацеплении с коническим барабаном. Регулирование скорости вращения ролика и, следовательно, ведущего вариатора осуществляется маховиком.

При вращении конический барабан увлекает цилиндрический ролик и через него вращает ведущий вал вариатора, на который он насажен.

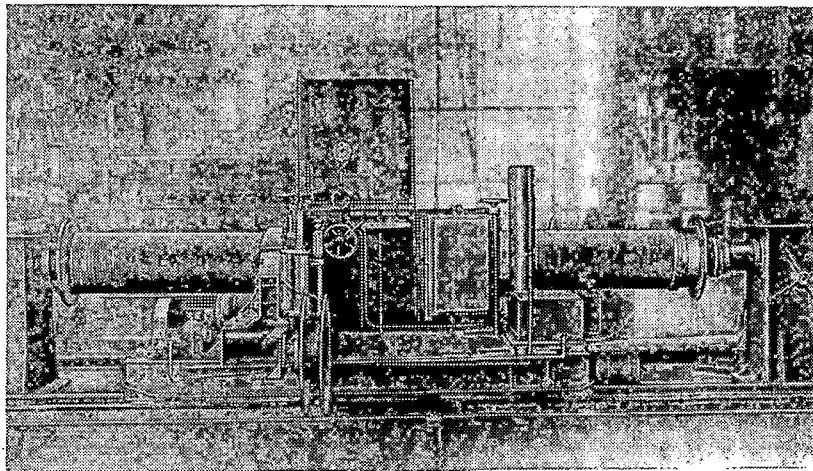


Рис. 74. Общий вид суппорта станка. На переднем плане пульт управления

Ведущий вал вариатора при помощи муфты соединен с коробкой передач. Последняя заключена в полуоткрытый корпус, расположенный внутри передней тележки. Коробка передач состоит из системы зубчатых колес и червячного зацепления с передаточным числом $i=1:1166,5$.

Описанная конструкция привода суппорта позволяет навивать проволоку на железобетонную трубу с шагом от 12 до 30 мм с непрерывным при необходимости регулированием его в указанных пределах. Суппорт играет в работе станка двойную роль: он не только навивает проволоку на железобетонный сердечник с заданным шагом, но и обеспечивает в ней необходимое предварительное напряжение растяжения.

Устройство для натяжения проволоки при навивке состоит из следующих основных конструктивных деталей: плунжерного насоса высокого давления с электродвигателем мощностью 2 л. с., 950 об/мин, двух гидравлических цилиндров с натяжными блоками, коммуникаций трубопроводов с масляным баком и компенсатором, контрольно-регулирующей аппаратуры (манометра), двухходового вентиля и механизма управления редуктора, предварительного натяжного устройства и барабана с проволокой. Все эти элементы компактно размещены на двух тележках.

Плунжерный насос состоит из чугунного корпуса, в котором размещены коленчатый вал и шатун с крейцкопфом. На переднем конце последнего закреплен на резьбе плунжер диаметром 10 мм. Контроль давления осуществляется при помощи предохранительного клапана, соединенного с рычагом, который отрегулирован грузом (из разновесок). Путем подбора соответствующего груза устанавливается постоянное давление в напорном трубопроводе гидравлической системы, а вместе с этим и соответствующее усилие растяжения проволоки. Для выравнивания давления воздуха в корпусе насоса при работе криво-

шипно-шатунного механизма служит сапун, расположенный сверху корпуса и соединяющий полость корпуса с атмосферой. Плунжерный насос приводится в действие от электродвигателя при помощи клиноременной передачи. Электродвигатель делает 120 об/мин, что соответствует 120 ходам плунжера. Производительность насоса 0,7 л/мин, расчетное давление 250 ат.

Гидравлические цилиндры размещены в полости ригеля. Перепуск жидкости в цилиндрах может осуществляться двухходовым вентилем с одной или другой стороны поршня. К штокам цилиндров прикреплены корпуса двух противоположных блоков, которые передвигаются на роликах по направляющим планкам, привинченным к верхним полкам швеллеров ригеля. Максимальный ход поршня цилиндров, а также связанного с ним натяжного ролика составляет 800 мм. Так как ролики натягивают проволоку при навивке (рис. 75) с расчетным усилием спирали, то постепенно нарастающее удлинение ее компенсируется отходом роликов в разные стороны от оси станка. После того как ролики отошли на предельное расстояние 800 мм, станок останавливают и оба ролика сдвигают в прежнее положение. Учитывая, что длина спирали и усилие при натяжении ее известны, общая длина отхода роликов за все время навивки трубы является показателем натяжения проволоки.

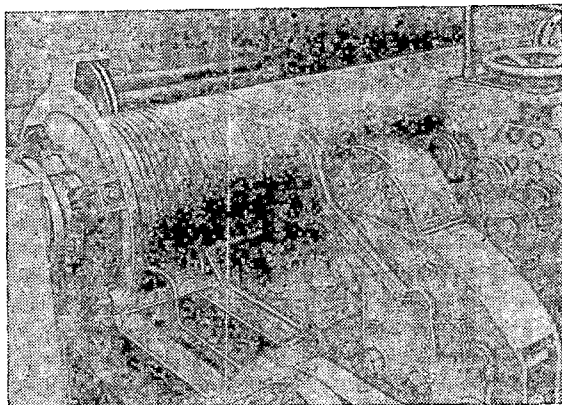


Рис. 75. Положение роликов в начале навивки

При подсчете величины удлинения проволоки необходимо помнить, что показания хода поршня или отхода каждого натяжного ролика необходимо удваивать, так как к каждому ролику подходит двойная нить проволоки.

Чтобы исключить влияние пульсации масла в трубопроводах плунжерного насоса, в нагнетательную сеть включен компрессор, объем которого в несколько раз больше объема гидравлических цилиндров. Пульсация жидкости устраняется в компенсаторе благодаря упругости сжатого воздуха, сосредоточенного в его верхней части. Заливка маслом всей всасывающей системы производится самотеком из бака, установленного в правой части передней тележки. В напорную сеть включен манометр, находящийся на пульте управления, который контролирует давление в цилиндрах, или, что то же, усилие в навиваемой проволоке, создаваемое натяжной установкой станка. Насос тарирован для работы при давлении до 70 ат.

Наибольшее усилие в проволоке, обеспечиваемое натяжной установкой, составляет 3000—4000 кг, т. е. в проволоке диаметром 5 мм может быть создано предварительное натяжение 15 000—20 000 кг/см², а в проволоке диаметром 2 мм (теоретически) 100 000—130 000 кг/см². Учитывая, что диаметр проволоки, применяемой для спирали, находится в пределах 2—5 мм, указанные усилия напряжения достаточны для производства предварительно напряженных труб, для которых применяется проволока с пределом прочности, не превышающим 20 000 кг/см².

Вместе с суппортом станка перемещается и барабан или съемная

катушка для бухты проволоки. Катушка крепится болтами к одному из швеллеров ригеля рамы, вращается на горизонтальной оси и снабжена рукояткой. Между катушкой и натяжным устройством смонтированы два вертикальных направляющих ролика для разматываемой проволоки. Пройдя направляющие ролики, проволока поступает в систему из пяти роликов, представляющих собой предварительное натяжное устройство; три ролика установлены на неподвижной плите и два — на подвижной, перемещаемой в вертикальном направлении при помощи винта, вращаемого вручную за маховичок. В результате вращения маховичка и перемещения сверху вниз подвижной плиты проволоку зажимают между роликами, вследствие чего создается натяжение ее при протягивании.

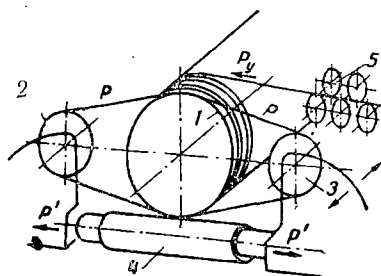


Рис. 76. Схема натяжения проволоки в станке

1 — железобетонная труба; 2 — натяжной блок № 1; 3 — натяжной блок № 2; 4 — гидравлический цилиндр; 5 — приспособление для предварительного натяжения

Вся контрольно-регулирующая и пусковая аппаратура собрана на пульте управления, также расположенном на передней тележке рамы суппорта. Панель пульта управления состоит из легкого стального каркаса, обшитого стальным листом и огражденного стальной сеткой для предохранения работающего у пульта оператора. На панели пульта смонтированы: ящик с пусковой электрической аппаратурой, двухходовой вентиль и манометр гидравлической системы.

Суппорт снабжен автоматическими электропредохранительными устройствами: ограничителем переднего и заднего хода и выключателем тока при обрыве проволоки в процессе ее навивки. Первое устройство представляет собой клиновидные выступы, установленные на рельсе справа и слева от суппорта. На эти выступы наезжают ролики ограничивающих устройств, поднимаются вверх и выключают ток, и суппорт останавливается. Второе устройство состоит из ролика, насаженного на конце качающегося коромысла, которое во время навивки непрерывно скользит по проволоке, сбегающей с натяжного ролика передней тележки. При обрыве проволоки ролик с коромыслом падает вниз, коромысло другим концом выключает ток, и станок останавливается. Смазка суппорта-тележки производится через масленки, собранные в одном месте, от которых отходят маслопроводы ко всем трущимся деталям.

Описываемый станок обеспечен предохранительными устройствами в соответствии с требованиями техники безопасности: пульт управления огражден сеткой, натяжные ролики, шкивы, насосы и электродвигатели закрыты съемными кожухами, коробка передач, вариатор и приводные валы помещены под стальным настилом площадки, предназначенной для оператора, настил рабочей площадки выполнен из рифленой стали. Принцип работы станка заключается в следующем. На укрепленный в планшайбах сердечник трубы навиваются без натяжения четыре-пять витков спирали. Конец проволоки пропускается через ролики натяжных блоков и закрепляется на конце трубы. Натяжные ролики в исходном положении должны находиться максимально сдвинутыми к середине (рис. 76). После этого включается гидравлическая система, и при помощи штоков цилиндров ролики раздвигаются, натягая проволоку до требуемой величины натяжения.

Холостые витки создают надежное защемление проволоки на поверхности трубы, что дает возможность уменьшить величину зажимного

усилия проволоки, идущей от катушки (бухты) к железобетонному сердечнику, т.е. практически предупредить изгиб сердечника, так как основное расчетное усилие натяжения, передаваемое проволокой, уравновешивается противостоящими роликами, с одинаковой силой натягивающими проволоку двух соседних витков.

Величина предварительного зажимного усилия P_y и рабочее усилие натяжения проволоки между натяжными блоками и железобетонным сердечником P связаны математической зависимостью

$$P_y = \frac{P}{e^{\mu\alpha}},$$

где e — основание натуральных логарифмов;
 μ — коэффициент трения стали по бетону;
 α — угол охвата цилиндрической поверхности трубы проволокой в радианах.

Исследуя эту зависимость, видим, что при $\alpha=0$ $P_y=P$ и при $\alpha \rightarrow \infty$ $P_y \rightarrow 0$.

При $\alpha=6 \div 8$ (три-четыре холостых витка) P приближается к нулю, т.е. практически в этом случае никакого изгиба трубы от зажимного усилия P_y не произойдет. Труба будет испытывать усилия только от изгиба под влиянием собственного веса, как балка на двух опорах, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой.

Рабочее усилие P в проволоке при перемещении натяжных блоков определяется следующим образом. Если R — радиус бетонной трубы; r — радиус натяжного блока; $R-r=c$ — разность радиусов; P — усилие в проволоке; P' — усилие в цилиндре; $S=x_{\max}-x_{\min}$ — ход натяжного блока; x — переменное расстояние от оси навиваемой трубы до оси натяжного блока, то

$$P = \frac{P'}{2 \cos \alpha};$$

$$\sin \alpha = \frac{c}{x}; \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{c}{x}\right)^2};$$

$$P = \frac{P'}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{c}{x}\right)^2}}.$$

Для труб с наружным диаметром 1150 и 680 мм $c=400$ и 165 мм; при усилии, развиваемом цилиндром, $P'=3000$ кг усилия в проволоке в зависимости от x приведены в табл. 31.

Натяжные ролики могут отойти от первоначального положения на 800 мм, после чего, остановив станок, следует вернуть их в исходное положение и только после этого продолжать навивку. «Уход» роликов связан с удлинением проволоки, являющимся функцией ее длины и сообщаемого ей натяжения. Зная шаг навивки и заданное контролируемое усилие натяжения проволоки, легко определить заранее ее общее удлинение и, следовательно, количество необходимых перестановок натяжных роликов за время навивки одной трубы.

Так, например, для железобетонного сердечника длиной $l=4$ м с наружным диаметром $D=1150$ мм при навивке проволоки диаметром 4 мм по ГОСТ 7348—63, имеющей предел прочности $R_a=18000$ кг/см², с шагом навивки $e=20$ мм и усилием $P=1500$ кг общая длина спирали равняется:

$$L = \frac{\pi D l}{e} 1,02 = \frac{3,14 \cdot 1,15 \cdot 4 \cdot 1,02}{0,02} = 738 \text{ м},$$

где 1,02 — коэффициент увеличения длины спирали за счет уплотненной навивки ее у концов трубы.

Таблица 31

Определение усилий в натягаемой проволоке

x	$\left(\frac{c}{x}\right)^2$	$\sqrt{1 - \left(\frac{c}{x}\right)^2}$	$P = \frac{P'}{2\sqrt{1 - \left(\frac{c}{x}\right)^2}}$ в кг

$$D_1 = 1150 \text{ мм}; P' = 3000 \text{ кг}; c = 400 \text{ мм}$$

700	0,327	0,82	1828
800	0,25	0,866	1732
900	0,197	0,896	1675
1000	0,16	0,916	1637
1100	0,132	0,93	1613
1200	0,122	0,91	1594
1300	0,094	0,95	1579
1400	0,081	0,96	1563
1500	0,071	0,965	1553

$$D_2 = 680 \text{ мм}; P' = 3000 \text{ кг}; c = 165 \text{ мм}$$

700	0,055	0,972	1543
800	0,042	0,98	1531
900	0,033	0,982	1528
1000	0,027	0,986	1522
1100	0,025	0,987	1520
1200	0,019	0,99	1516
1300	0,016	0,992	1513
1400	0,015	0,993	1510
1500	0,012	0,994	1509

Напряжение в проволоке при навивке

$$\sigma_a = \frac{1500}{0,785 \cdot 0,4^2} = 11904 \text{ кг/см}^2 < 0,75R_a.$$

Удлинение спирали

$$i_a = \frac{\sigma_a L}{E_a} = \frac{11904 \cdot 738}{1800000} = 4,9 \text{ м},$$

т. е. каждый ролик должен отойти на расстояние, приблизительно равное:

$$S = \frac{i_a \cos \alpha}{4} = \frac{490 \cdot 0,89}{4} = 110 \text{ см},$$

где значение $\cos \alpha$ принято как среднее между 0,82 и 0,965 (см. табл. 31).

Учитывая, что ход натяжного блока $x = x_{\max} - x_{\min} = 80 < 110 \text{ см}$, при навивке данной трубы потребуется одна промежуточная передвижка натяжных роликов.

Из табл. 31 видно, что при перемещении роликов от центра при одном и том же гидравлическом давлении в цилиндрах усилие в проволоке будет падать в связи с изменением угла наклона к горизонту натягаемой проволоки. Указанное явление особо проявляется при навивке проволоки на трубы больших диаметров. Поэтому необходимо при навивке внимательно следить за показаниями манометра и вовремя поддерживать требуемое натяжение путем изменения давления в гидравлической системе.

Как указывалось, перед пуском станка включается привод насоса гидравлической системы и давление в ней поднимается до расчетного, необходимого для получения требуемого усилия растяжения проволоки P . Затем включается привод станка, и железобетонный сердечник начинает вращаться. Первые три — пять витков спирали укладываются поч-

ти плотную, после чего включается суппорт и спираль растянутой проволоки начинает ложиться на сердечник с расчетным шагом витков. Скорость суппорта может меняться от 239 до 478 мм/мин, что соответствует изменению шага спирали от 12 до 30 мм.

Таким образом, в процессе навивки проволоки на железобетонный сердечник перед рабочими витками наматываются три-четыре витка слабонапряженной проволоки (холостые витки); они затем сматываются, и проволока натягивается при помощи раздвижных роликов, вторично навиваясь на трубу, уже будучи в напряженном состоянии. Холостые витки в конце навивки спирали также должны сойти с поверхности трубы; для этого на заднюю планшайбу надевают так называемое выходное кольцо, которое имеет одинаковый наружный диаметр с навиваемым сердечником и является как бы его продолжением. Обычно выходное кольцо делают из древесины. Как только рабочие витки спирали дойдут до конца трубы, суппорт останавливают и кладут последние три витка почти плотную один к другому, а затем выключают и привод вращения трубы. Витки в начале и в конце спирали не только усиливают концы трубы, но и сохраняют заданное натяжение спирали во время отключения ее от натяжных устройств станка после навивки.

Проволока на трубе закреплялась различными способами. Вначале для этого в стенку железобетонного сердечника при бетонировании вкладывали стальные планки с двумя отверстиями с нарезкой для болтов, последние витки проволоки заводили между отверстиями и прижимали второй планкой на болтах. В дальнейшем последние витки зажимали между двумя накладными планками без заделки в бетон, так как трение между витками и бетоном весьма значительно и практически такая заделка концов оказалась вполне достаточной.

Во время навивки проволоки иногда возникает необходимость наращивать ее (например, если в бухте недостаточно проволоки для навивки одной трубы). В большинстве случаев наращивание осуществляют скруткой проволоки. Для того чтобы некоторое ослабление натяжения в проволоке не влияло отрицательно на спираль, перед стыком делают несколько сближенных витков. Напряженную проволоку стыковать нельзя, поэтому, чтобы освободить конец проволоки от напряжения и сохранить его в предыдущих витках спирали, рекомендуется применять специальный хомут, затягивающий проволоку на поверхности сердечника. В практике треста Закавказметаллургстрой применялось более простое устройство в виде зажима, крепящегося за каркас суппорта.

Перед навивкой поверхность железобетонного сердечника тщательно очищали стальными щетками от цементной пленки и промывали; удалялось также масло и с поверхности проволоки.

Практика навивки тяжелых железобетонных труб больших диаметров показала, что кулачки планшайб имеют недостаточную поверхность опирания, не соответствующую весу железобетонных труб, вследствие чего они разрушаются. Поэтому были применены специальные обечайки из листовой стали толщиной 10 мм и длиной 300 мм, которые устанавливали враспор в обоих концах трубы; через эти обечайки труба опиралась на кулачки планшайб.

После окончания навивки железобетонный сердечник снимали с крапом со станка и перемещали на площадку для торкретирования наружной поверхности.

Схема протяжки проволоки через ролики предварительного натяжения показана на рис. 77. При $R=130$ мм; $s=6$ мм; $D=120$ мм; $r=17,5$ мм; коэффициенте трения $\mu=0,08$; коэффициенте полезного действия винта $\eta=0,5$; $P_y=50$ кг; $\frac{Q}{2}=233$ кг; $n_p=144$ об/мин (число обо-

ролов роликов при диаметре трубы 1150 мм и числе оборотов трубы $n_r = 15 \text{ об/мин}$; окружной скорости шейки в подшипнике $v = 0,26 \text{ м/сек}$; удельном давлении в подшипнике $q = 15,6 \text{ кг/см}^2$

$$\cos \alpha = \frac{89,4}{120} = 0,745; \quad Q = 4P \cos \alpha = \frac{P_y \cos \alpha}{\mu} = 466 \text{ кг};$$

$$P_y = 4P\mu; \quad P = \frac{P_y}{4\mu};$$

$$P_1 = \frac{Qs}{2R\pi\eta} = \frac{466 \cdot 6}{2 \cdot 130 \cdot 3,14 \cdot 0,5} = 6,85 \text{ кг}.$$

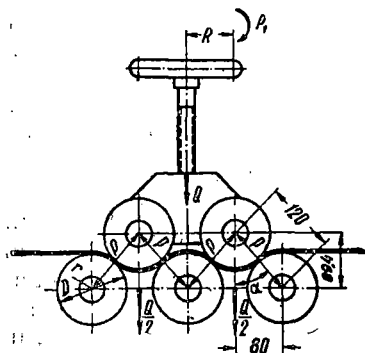


Рис. 77. Схема протяжки проволоки через ролики предварительного натяжения

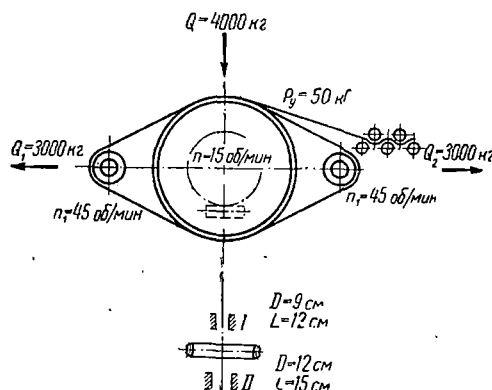


Рис. 78. Расчетная схема для определения удельного давления на подшипник

На рис. 78 изображена расчетная схема для определения удельного давления на подшипник, а на рис. 79 показана схема привода станка.

Кинематическая схема привода суппорта показана на рис. 80.

Необходимо отметить ряд следующих производственных дефектов, выявленных при эксплуатации.

Мощность станков оказалась недостаточной. Станки были снабжены двигателями мощностью 3,3 кВт и приводом, состоящим из двух пар передач: червячной и текстурной. Замер потребной мощности при рабочем режиме показал, что станки должны иметь привод мощностью не менее 10,2 кВт. Навивка труб диаметром 900 мм стала возможной только после того, как установили двигатель мощностью 11 кВт вместо 3,3 кВт по проекту, однако все детали привода, работая с перегрузкой, начали быстро изнашиваться: текстурные ремни сечением $10 \times 15 \times 11 \text{ мм}$ быстро выходили из строя, бронзовая шестерня червячной пары истиралась.

Для продления работы станков приходилось широко использовать запасные текстурные ремни, а для смазки бронзовой шестерни употреблять специальные вязкие масла с добавлением в масляную ванну графита.

Имеющиеся планшайбы для навивки труб диаметром 900 мм и муфт к ним диаметром 1160 мм были малы, в связи с этим они были реконструированы и увеличены в размерах.

Поверхность кулачков для опирания железобетонных сердечников недостаточна; потребовалось конструировать и применить специальные обечайки.

Для навивки труб больших диаметров пришлось отрегулировать предохранительный клапан (регулятор давления). Для навивки железо-

1 — червячное колесо;
2 — червяк; 3 — шкив для
клинообразного ремня; 4 —
вал червяка; 5 — электродви-
гатель 5 л. с.; 6 — шкив для
ремня

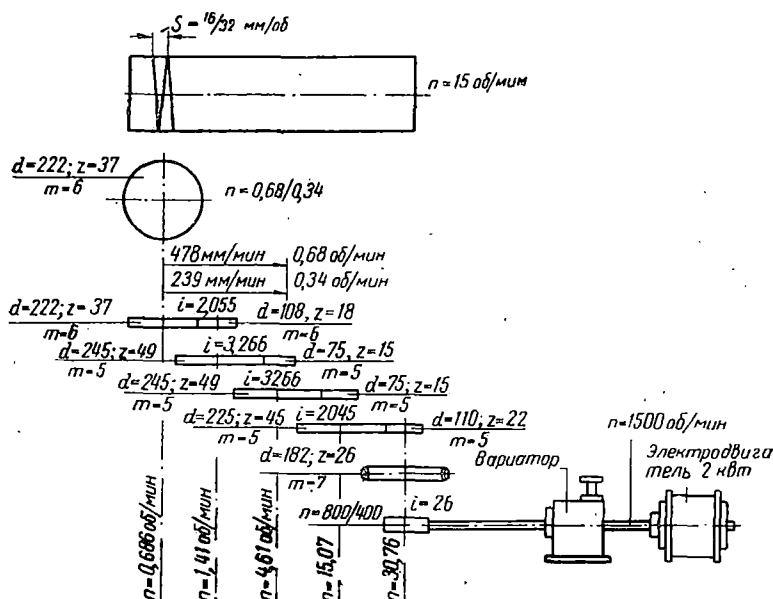
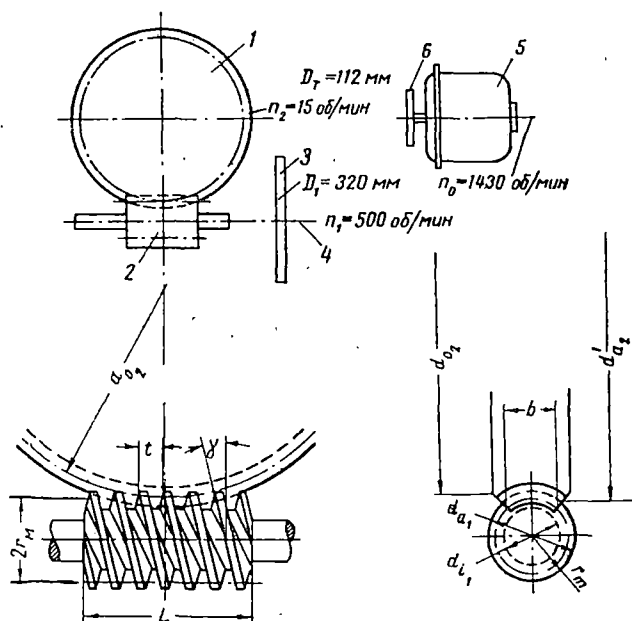


Рис. 80. Кинематическая схема привода суппорта

бетонных муфт было запроектировано специальное приспособление, позволяющее навивать муфту на передней планшайбе в консольном положении.

Была реконструирована катушка для проволоки.

После реконструкции на указанных станках успешно производилась наливка высокопрочной проволоки на железобетонные сердечники труб диаметром 900 мм и соединительные муфты к ним внутренним диаметром 1160 мм. На полигоне эксплуатировались два станка.

Для производства напорных труб диаметром 1250 мм и более в дальнейшем был изготовлен новый навивочный станок, устройство которого описано в разделе производства этих труб.

Торкретирование железобетонных сердечников

После навивки высокопрочной проволоки на поверхность железобетонного сердечника последний поступал на промежуточный склад или непосредственно на площадку для торкретирования — покрытия напряженной спирали защитным слоем цементного раствора. В условиях полевой установки треста Закавказметаллургстрой торкретирование было организовано на открытой бетонной площадке. Оборудование торкрет-установки состояло из цемент-пушки СССМ-067, компрессора, воздухоочистителя, водяного бака, шлангов и сопла.

Техническая характеристика цемент-пушки СССМ-067

Производительность в $\text{м}^3/\text{ч}$	1—1,5
Потребное количество сжатого воздуха в $\text{м}^3/\text{ч}$	5
Давление сжатого воздуха в ат	2,5—3,5
Мощность в л. с.:	
двигателя компрессора	45
воздушного двигателя	1,4
Максимальная величина зерен материала в мм	8

Компрессор применялся передвижной производительностью $5 \text{ м}^3/\text{ч}$, с ресивером 7 м^3 , создаваемое давление 5 ат (может быть использован компрессор и стационарного типа).

Перед началом работы торкретной установки на концах трубы устанавливались так называемые пробки, представляющие собой стальные диски с широким ободом и неподвижными кулачками на поверхности, обращенной к трубе. Наружный диаметр дисков больше наружного диаметра трубы, и последняя при торкретировании перекатывалась

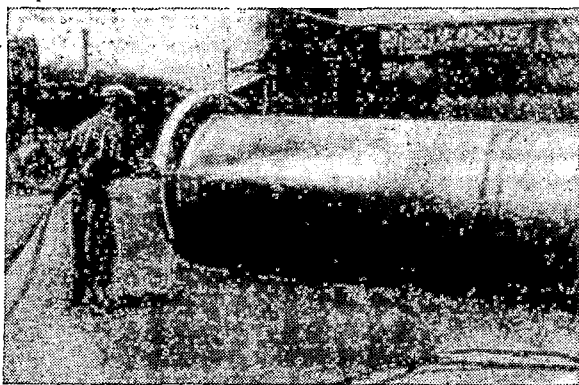


Рис. 81. Торкретирование железобетонного сердечника

по бетонной площадке на дисках (рис. 81). Диски были снабжены ребрами жесткости. Обе концевые пробки стягивались болтом диаметром 25 мм, проходящим внутри трубы.

Работы по торкретированию производились при температуре наружного воздуха не ниже 5°C . В условиях южного района строительства это не лимитировало темпы работ во времени, и никаких мер для укрытия труб не принималось.

Для работы использовались пуццолановый и водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ) марки 400 и песок с крупностью зерен 0,35—5 мм. Влажность песка должна быть в пределах 3—5% по весу, так как более влажный песок вызывает образование пробок в шлангах для сыпучих материалов, более сухой — трудно смачивается в сопле, пылит при торкретировании и образует на обрабатываемой поверхности пятна.

Для подготовки сухой смеси цемент просеивали через сито с отверстиями 1 мм, а песок сушили. Состав смеси (цемент:песок) от 1:2 до 1:3.

Производительность цемент-пушки обеспечивала торкретирование около 100 м² поверхности труб в смену.

Торкретный слой толщиной 20 мм наносится в два приема, причем необходимо перед нанесением первого и второго слоев торкрета затвердевшую поверхность промывать и очищать (путем продувки). Второй слой раствора следует наносить возможно быстрее после твердения первого слоя.

Торкретирование поверхности сердечника трубы с часто навитой спиральной арматурой из проволоки диаметром 2,5—5 мм имеет свои особенности. Так, нужно следить, чтобы между витками проволоки не скапливался «отскок» (песок), создающий слабые места и раковины в торкретном слое. Скопление отскока удаляют продувкой поверхности сжатым воздухом.

При нанесении первого слоя торкрета раствор не должен оплывать. В противном случае возможно образование между витками арматуры пустот, которые трудно обнаружить, но в дальнейшем они могут оказать вредное влияние на качество стенки трубы и явиться причиной усиления коррозии спиральной арматуры.

Толщина наносимого слоя раствора проверялась тонким щупом, и в процессе работы ее выправляли. После окончания торкретирования железобетонную трубу на концевых пробках откатывали в пропарочную камеру или на склад для твердения в естественных условиях.

В условиях строительства оказалось целесообразным применить на опытном полигоне естественное твердение торкретного слоя; торкретированные трубы откатывали на склад, где в течение двух недель выдерживали во влажных условиях. Качество готового торкретного слоя проверяли простукиванием молотком.

Испытание труб гидравлическим давлением показало, что слой цементного раствора толщиной 15—20 мм увеличивает водонепроницаемость стенки трубы.

Следует указать, что при торкретировании теряется много цементного раствора из-за отскока, составляющего до 50%. Кроме того, при торкретировании сложно контролировать толщину наносимого защитного слоя.

При твердении торкретного слоя в пропарочных камерах трубы закатывали туда на концевых пробках и выдерживали в течение 10—12 ч при температуре 75—80°С, потом выкатывали на склад, снимали концевые пробки и обечайки. После этого трубы не менее 7 суток находились в естественных условиях, в том числе 3 суток их обильно смачивали водой. Затем трубы подавали на испытательный стенд.

Железобетонные муфты для соединения труб торкретировали в горизонтальном положении. В остальном процесс торкретирования муфт был аналогичен процессу торкретирования железобетонных сердечников.

Испытание железобетонных напорных труб

В процессе производства труб осуществлялись контрольный наружный осмотр и испытание отдельных образцов на раздавливание.

В результате наружного осмотра устанавливалось соответствие трубы принятым размерам, выявлялось наличие трещин. При ударе стальным молотком доброкачественная и не пропитавшаяся водой труба должна издавать высокий и чистый звук.

Испытание внутренним давлением было организовано:

а) для контроля водонепроницаемости при нормальном испытательном давлении, равном рабочему давлению плюс дополнительное, устанавливаемое нормами с учетом гидравлического удара;

б) для определения несущей способности трубы.

Такое испытание по условиям работы не может быть эквивалентным механическому испытанию под внешним давлением, однако в известной степени характеризует несущую способность трубы.

На полигоне для испытания на гидравлическое давление отдельных труб, а также для звена из двух труб со стыком был устроен специальный стенд длиной 20 м, шириной 2 м и высотой 1,5 м. Рабочая площадка стенда была приподнята над поверхностью земли для осмотра труб со всех сторон. Для испытания звена из двух труб длиной до 4 м использовалось испытательное устройство, состоящее из стальной трубы — цилиндра диаметром 700 и длиной 7400 мм, со съёмными головками на концах и с кольцевыми уплотнениями. Съёмные головки испытательного устройства предназначались для герметизации заполнявшегося при испытании водой пространства между цилиндром и железобетонной трубой. Воду подавали из водопроводной сети под давлением около 2 ат.

Благодаря применению внутреннего стального цилиндра не требовалось устройства сложного закрепления прижимных щитов, так как их роль выполняли съёмные головки, передававшие все усилия от давления воды цилиндру, на котором они были закреплены. Для поддержания нужного давления внутри трубы применяли допрессовочный насос.

Железобетонные трубы устанавливали на стенд и демонтировали после испытания автокраном АҚ-3.

Испытания труб с различными вариантами навивки высокопрочной проволоки показали, что несущая способность труб, определяемая гидравлическим давлением, соответствует предварительному обжатию напряженной спиралью бетона стенок трубы. Предварительно напряженные напорные трубы выдерживали гидравлическое давление 16 ат и более. Испытание прекращалось после появления свищей или волосных продольных трещин в стенках трубы.

Каждой изготовленной трубе присваивали порядковый номер и на нее заводили паспорт. В паспорт заносили все лабораторные данные по испытанию материалов, по изготовлению железобетонного сердечника, навивке на сердечник напряженной спирали, торкретированию, испытанию и хранению трубы, а также даты изготовления трубы и отгрузки ее на строительство трубопровода.

Железобетонные трубы большого диаметра обладают очень жестким сечением, поэтому не было оснований опасаться появления в них трещин при транспортировании или хранении, когда трубы, находясь на двух опорах, работают на изгиб. При погрузке, перемещении и разгрузке труб особое внимание обращалось на сохранность торцов и наружных ребер, которые в первую очередь могут быть повреждены при ударах.

Укладка труб на строительстве Булачаурского напорного водовода

Напорный водовод общей протяженностью 7,3 км в Сагурамской долине укладывали из железобетонных предварительно напряженных труб диаметром 900 и 1250 мм. Трубы, изготовлявшиеся на полевой установке в г. Рустави, транспортировали к месту укладки на специально приспособленных автомашинах. Трубы диаметром 900 мм, весом 3 т перевозили на 7-т грузовых автомашинах по две одновременно, а диа-

метром 1250 мм, весом 5 т — по одной трубе. Трубы погружали на машины автокраном грузоподъемностью 5 т (рис. 82). Доставленные трубы разгружали вдоль трассы и затем укладывали в траншеи при помощи специальных кранов-трубоукладчиков.

Трубы предназначались для укладки с жесткими стыками, и поэтому их укладывали на подушки из бетона марки 90. Длина подушки под каждую трубу 2,5 м. Для надвигки железобетонных муфт между подушками оставляли разрывы по 1,5 м. После заделки стыков разрывы заполняли жесткой бетонной смесью, которую тщательно трамбовали.

Бетонную смесь для подушек готовили на местной установке и развозили по трассе в автосамосвалах, опуская в траншею по лоткам. Железобетонные предварительно напряженные муфты также опускали краном-трубоукладчиком в траншею и в процессе укладки труб этим же краном надвигали на них муфты. После укладки и выверки труб муфты устанавливали строго центрированно по оси

стыка, затем закладывали жгут и зачеканивали стык полусухой асбестоцементной смесью состава 30% асбеста и 70% расширяющегося цемента (по весу). Во избежание появления трещин от температурных напряжений трубы стыковали секциями по 6 шт. Перед опрессовкой линии отдельные секции стыковали и засыпали грунтом.

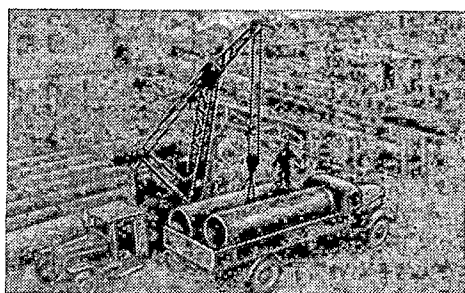


Рис. 82. Погрузка железобетонных труб для отправки на трассу водовода

Производство труб на постоянном полигоне

В последующие годы Руставскую опытную установку реконструировали в постоянный полигон для изготовления железобетонных труб. (рис. 83). Были построены капитальные пропарочные камеры, полигон

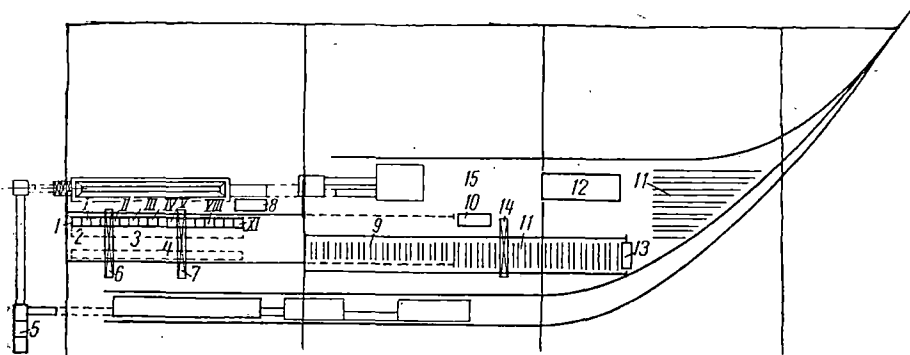


Рис. 83. Генеральный план полигона

1 — блок камер пропаривания с I по XI; 2 — площадка для сборки форм; 3 — проезд для автомашин; 4 — склад форм; 5 — бетоносмесительное отделение; 6 и 7 — порталы краны $L=20$ м и $L=10$ м; 8 — контора цеха; 9 — склад для твердения труб перед навивкой проволоки; 10 — навивочный станок; 11 — склад готовых труб; 12 — отделение торкретирования; 13 — испытательный стэнд; 14 — козловой кран; 15 — площадка для труб

оборудовали порталными кранами и новой установкой для испытания труб гидравлическим давлением.

На полигоне кроме предварительно напряженных цилиндрических труб диаметром 900; 1250 и 1500 мм с 1955 г. было организовано опыт-

ное производство железобетонных раструбных предварительно напряженных труб со стальным цилиндром.

Напорные цилиндрические трубы диаметром 900, 1250 и 1500 мм, применяемые для трубопроводов с гидравлическим давлением до 4 ат, изготовляют с жесткими муфтовыми соединениями. Для изготовления железобетонных сердечников этих труб можно применять бетон марки 300—400 с $B/C=0,4$ на пуццолановом портландцементе марки 400.

Изготовление труб организовано по трехступенчатой технологии.

Бетонную смесь подают к месту установки формы бетоноукладчиком с вибропитателем, перемещаемым порталным краном, и укладывают с вибрированием и дополнительным штыкованием металлическими шуровками. Для вибрирования смеси к наружной форме трубы диаметром 900 мм равномерно по высоте в шахматном порядке жестко крепят девять высокочастотных вибраторов, а к формам труб диаметром 1250—1500 мм — 12 вибраторов. По окончании укладки вибраторы снимают и камеру закрывают. Пропаривание продолжается 16 ч с выдерживанием 12 ч при температуре 70—80°С.

Все транспортные операции по перемещению форм из камеры осуществляются порталным краном. Распалубленный сердечник подхватывается автопогрузчиком и переносится на склад навивочного отделения.

Для навивки спиральной арматуры на трубы диаметром 1250 и 1500 мм в местных мастерских была изготовлена новая установка с использованием механизма старого навивочного станка, но с принципиально новой схемой натяжного устройства. Отличием этой установки является то, что при навивке спиральной арматуры тяжелая, громоздкая труба не навешивается на планшайбы, как в описанной выше конструкции станка, а накатывается по наклонной плоскости на ролики, смонтированные ниже уровня пола, и закрепляется в ведущей планшайбе. При этом габариты труб практически не ограничиваются, так как металлические конструкции расположенной над трубой верхней площадки могут быть легко приподняты путем наращивания стоек эстакады, а ролики, на которые накатывается труба, могут перемещаться в обоих направлениях. Собственно механизм станка относительно небольшого веса размещен на верхней площадке — над установленной трубой и движется по эстакаде по тем же рельсам, которые служили для перемещения суппорта описанного ранее станка.

На рис. 84 показаны план и разрезы установки для двух станков, расположенных на общей продольной оси и обслуживаемых одним суппортом для навивки на железобетонный сердечник спиральной арматуры из высокопрочной проволоки¹. Суппорт передвигается вдоль станков по рельсовым путям, уложенным на металлической эстакаде, отметка которой может быть принята выше или ниже в зависимости от диаметра труб, изготавливаемых на установке. Данная установка рассчитана для навивки труб диаметром до 2000 мм.

Сердечники труб, подготовленные для навивки проволокой, укладывают перед станком на деревянный настил, по которому их перекачивают на рабочее место и после навивки выкатывают с другой стороны эстакады. Настил должен иметь достаточную площадь для размещения некоторого запаса сердечников в целях равномерной загрузки установки.

Каждый станок состоит из двух бабок — передней и задней, с помощью которых навиваемый сердечник приводится во вращение, и расположенной под настилом станка тележки с поддерживающими антифрикционными роликами. Тележка перемещается вдоль оси станка,

¹ Авторское свидетельство В. И. Овсянкина и В. И. Шевченко № 92428.

удерживает сердечник в определенном положении в момент навивания спирали и обеспечивает свободное вращение его с помощью ведущей передней бабки.

Часть площадки-настила, устанавливаемая над тележкой с антифрикционными роликами, — качающийся мостик может поворачиваться в вертикальной плоскости на цапфах и, таким образом, опускать

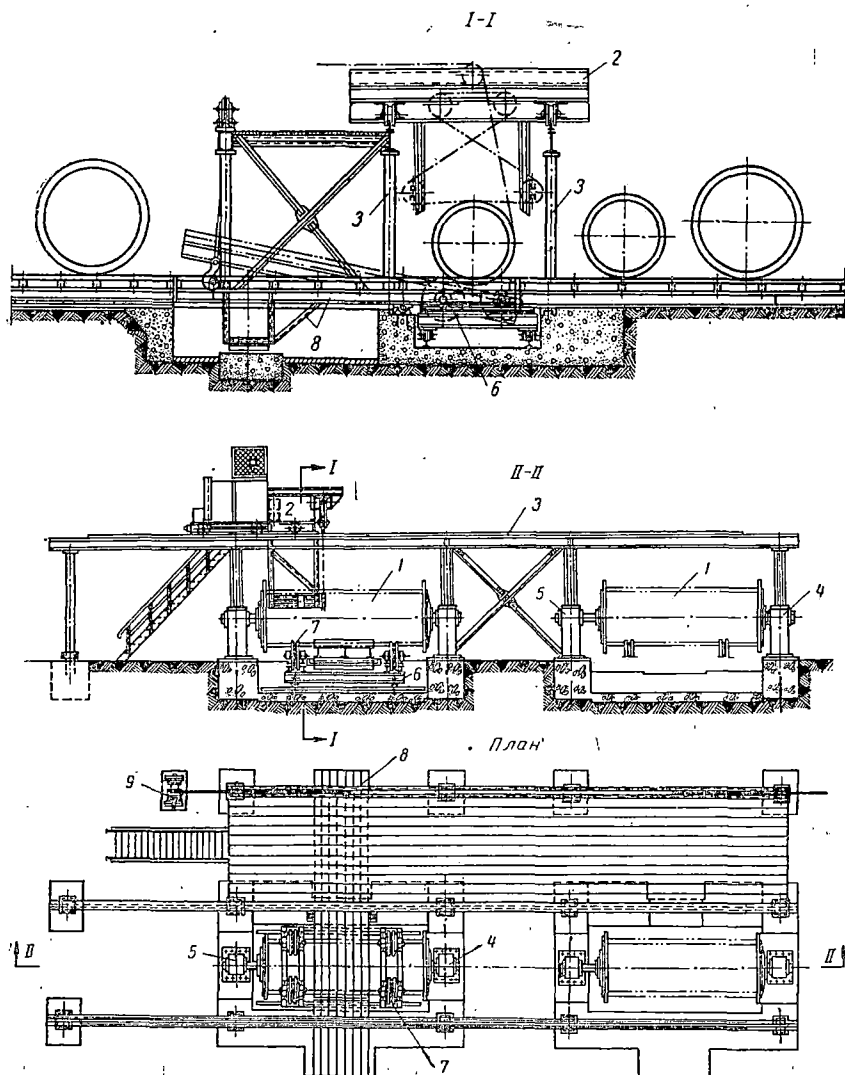


Рис. 84. Установка для навивки напряженной спирали на трубы диаметром до 2000 мм и более

1 — навиваемый проволокой железобетонный сердечник; 2 — передвижной суппорт с рабочей площадкой, обслуживающей два станка; 3 — металлическая эстакада; 4 и 5 — задняя и передняя бабки станка; 6 — тележка; 7 — фрикционные ролики; 8 — качающийся мостик; 9 — лебедка для проворачивания качающегося мостика

сердечник с отметки настила на ролики. При этом сердечник принимает положение, в котором его ось совмещается с осью шпинделей передней и задней бабок станка, что дает ему возможность беспрепятственно вращаться вместе с планшайбой бабки. Вращение сердечнику передается от бабки через кулак, укрепленный на планшайбе, и упорное ребро, расположенное на внутренней поверхности обечайки, вставляемой в сердечник враспор перед подачей его на станок. Планшайба задней бабки

служит для предотвращения перемещения сердечника вдоль оси и выхода из зацепления кулака и упорного ребра. Если раньше нагрузка от веса трубы передавалась непосредственно на планшайбу и этот вес был ограничен, то в новой установке планшайба разгружена и может вращать лежащую на нижних роликах трубу любого диаметра, так как вес трубы на нее не передается.

После навивки спиральной арматуры качающийся мостик поднимает сердечник с антифрикционных роликов на отметку настила, по которому он далее выкатывается из-под эстакады. Поворачивание мостика и удерживание его в наклонном положении во время навивки осуществляется с помощью лебедки. Для того чтобы обеспечить поворачивание мостика, на внешней стороне его (по отношению к цапфам) укреплен ящик для груза, уравнивающего сердечник; вес груза должен быть всегда несколько больше веса сердечника.

Суппорт станка представляет собой тележку, перемещаемую при помощи электродвигателя и системы шестерен с зубчатой рейкой со скоростями, обеспечивающими шаг навивки спирали от 6 до 50 мм. В холостом направлении суппорт может передвигаться со скоростью 12 м/мин. Может быть использован такой же суппорт, как у описанного выше станка, для навивки напряженной спирали на трубы диаметром до 900 мм. Вместе с суппортом перемещается подвесная металлическая конструкция, на которой смонтированы блоки для запаски навиваемой с напряжением высокопрочной проволоки.

Непосредственно сам процесс навивки высокопрочной проволоки аналогичен описанному ранее. Для навивки используют холоднокатаную высокоуглеродистую проволоку диаметром от 2,5 до 5 мм с пределом прочности при растяжении соответственно 200—170 кг/мм² по ГОСТ 7348—63.

Предварительно напряженную спираль в два приема покрывают защитным слоем раствора из цемент-пушки (первый слой толщиной 12—15 мм и второй — 5—8 мм). Цементный раствор для торкретирования готовят на портландцементе и расширяющемся цементе (ВРЦ).

Твердение защитного слоя происходит в естественных условиях на открытой площадке при непрерывном увлажнении. После окончания процесса твердения защитного слоя готовую трубу освобождают от торцовых дисков, на которых она была приподнята для перекачивания во время торкретирования, и перевозят автопогрузчиком сначала на испытательный стенд, а затем на склад готовой продукции.

Производство предварительно напряженных труб со стальным цилиндром

Железобетонные предварительно напряженные трубы со стальным цилиндром диаметром 900; 1250 и 1500 мм, выдерживающие напор 10 ат, изготовлялись на полигоне в Рустави. Трубы было намечено изготовлять длиной 4 м, однако предусматривалась возможность и опытного изготовления труб длиной 7 м, диаметром 900 мм.

Конструкция труб. Железобетонный сердечник трубы заключен в стальной сварной цилиндр с толщиной стенок от 0,8 до 3 мм, на который навита спиральная арматура из высокопрочной проволоки диаметром от 2,5 до 5 мм с шагом по расчету. Поверхность стального цилиндра и спирали защищена слоем цементного раствора толщиной 20 мм, наносимого торкретированием.

Трубы изготовлялись с раструбными стыковыми соединениями с металлическими обечайками толщиной 4—5 мм и шириной 370 мм; обечайки приварены к стальному цилиндру. Для удобства монтажа

труб обечайка разбортована на длине 60 мм. На конец ее приварено кольцо жесткости из арматуры диаметром 30 мм. Обечайка выступает за торцы железобетонного сердечника, образуя раструб глубиной 270 мм.

Раструбная часть армирована спиральной арматурой с шагом до 30 мм, конструктивной сеткой с кольцевой арматурой из стержней диаметром 12 мм через 75 мм. Раструб имеет защитный слой цементного раствора толщиной до 40 мм.

Втулочный конец трубы образован с помощью обечайки, представляющей собой гладкое вальцованное кольцо шириной 220 мм. Эта обечайка также приварена к тонкостенному цилиндру изнутри, т. е. так, что наружный диаметр обечайки соответствует внутреннему диаметру стального цилиндра. На длину 150 мм от торца гладкого конца трубы обечайка открыта, часть же ее, находящаяся под защитным слоем раствора, перекрыта несколькими витками спиральной арматуры с шагом до 10 мм. Защитный слой этих витков доходит до металлического кольца прямоугольного сечения, приваренного к обечайке и являющегося одновременно замком-упором для резиновой прокладки. Замок предохраняет резиновую прокладку от выдавливания гидравлическим напором из раструбной щели. Для упрощения ремонта стыков во время эксплуатации замок-упор сделан из четырех частей, приваренных к обечайке короткими швами электросварки.

Применяющееся гибкое стыковое соединение, разработанное ВОДГЕО, позволило укладывать трубы непосредственно на грунтовое основание.

В качестве уплотняющего материала в стыке применены круглые резиновые кольца, диаметр сечения которых в 1,7—1,8 раза больше ширины раструбной щели. Диаметр резинового кольца на 15—20% меньше диаметра втулочного кольца, на которое резиновое кольцо надевается перед укладкой трубы в траншею.

Соединение между собой отдельных участков трубопровода, а также присоединение к ним фасонных частей и запорной арматуры производятся с помощью специальных металлических сварных раструбных и фланцевых патрубков, конструкции соединения которых аналогичны описанной конструкции стыка труб.

В табл. 32 приведены сравнительные технико-экономические показатели труб со стальным цилиндром диаметром 900—1500 мм и железобетонных напорных труб без стальных цилиндров.

Таблица 32

Технико-экономические показатели напорных железобетонных труб, изготовленных в тресте Закавказметаллургстрой

Показатели	Железобетонные трубы цилиндрические без стального цилиндра диаметром в мм			Железобетонные трубы раструбные со стальным цилиндром диаметром в мм		
	900	1250	1500	900	1250	1500
Длина трубы в м	4	4	4	7	4	4
Толщина стенки трубы в мм	100	120	140	75	85	95
В том числе:						
сердечника	80	100	120	60	70	80
защитного слоя	20	20	20	15	15	15
Расход бетона в м ³ :						
на трубу	1,26	1,99	2,88	1,66	1,39	1,86
» 1 пог. м	0,315	0,496	0,72	0,237	0,347	0,465
Расход стали в кг:						
на трубу	112	180	228	352	512	566
» 1 пог. м	28	45	57	50	128	171
Вес трубы в т	3,2	4,98	7,2	5,25	3,74	5

Трубы со стальным цилиндром изготавливают также по трехступенчатой технологической схеме, включающей следующие операции:

- 1) изготовление железобетонного сердечника, заключенного в стальной сварной тонкостенный цилиндр;
- 2) навивка на сердечник напряженной высокопрочной проволоки;
- 3) нанесение защитного слоя.

Изготовление стальных цилиндров. Первой операцией является заготовка листов с отбортовкой с целью создания необходимого для сварки бортика высотой 3 мм. Затем полосы оправляют на специальном шаблоне с радиусом кривизны, соответствующим радиусу цилиндра, и передают в отделение сварочных работ.

Вторая операция — изготовление концевых соединительных полос (обечаек) из листа толщиной 4—5 мм. Заготовленные полосы вальцуют, а затем при помощи трубки обтягивают по шаблону и прихватывают электросваркой. После этого обечайку сваривают и оправляют на шаблоне, обеспечивая соблюдение установленных допусков. Для того чтобы поверхность листа, обращенного к резиновому кольцу, была гладкой, сварные швы — внутренний шов раструбной и наружный шов втулочной обечаек — тщательно зачищают наждачным точилом заподлицо с поверхностью листа. Один из краев раструбной обечайки надрезают автогеном и разбортовывают вручную, после чего к нему приваривают кольцо жесткости диаметром 30 мм.

Для строповки цилиндра при транспортировании к обечайкам приваривают монтажные петли из круглой стали диаметром 16 мм.

Третья операция — сварка отдельных листов в цилиндр.

По рекомендации Института электросварки имени Е. О. Патона АН УССР, на строительстве был принят способ сварки тонкого листа угловым электродом в среде углекислого газа, как наиболее простой в полевых условиях и не требующий специального оборудования. Сварку металлического цилиндра из тонкостенных стальных листов осуществляли следующим образом. Отбортованные стальные полосы плотно сжимали при помощи специальных трубок и сваривали между собой по отбортованным кромкам. Полученную карту нужной ширины приваривали к готовым концевым обечайкам электродуговой сваркой металлическим электродом. При производстве опытной партии труб часть цилиндров была изготовлена швами внутрь, кроме последнего шва, выступающего наружу, а часть — для труб диаметром 900 и 1500 мм — швами наружу. Расположением выступающей части шва наружу преследовалась цель облегчить ремонт сварного шва в случае его повреждения. На одном из экспериментальных цилиндров диаметром 1500 мм последний шов был сварен газосваркой.

После изготовления стального цилиндра к нему приваривали концевые соединительные обечайки, все швы промазывали меловой пастой и испытывали керосином на плотность. Плотность швов при испытании на керосин оказалась вполне удовлетворительной. Общий вид изготовленного стального цилиндра для трубы диаметром 1250 мм показан на рис. 85.

Кроме описанного способа для сварки тонких стальных листов могут быть применены разработанные Институтом электросварки имени Е. О. Патона и другие способы, например сварка спаренным (расщепленным) электродом или автоматическая сварка тонкой проволокой в среде углекислого газа. Для сварки стальных цилиндров из стали Ст. 3 толщиной от 1,5 до 2 мм институт рекомендует последний способ как менее сложный. Соединение листов при этом может быть встык или внахлестку. При сварке встык требуется сравнительно точная сборка листов — зазор не более 0,5 мм. Требования к сборке

соединений внахлестку менее жесткие, выполнение такой сварки значительно проще.

Для автоматической сварки могут быть применены стандартные автоматы типа ТС-17-М.

Изготовление железобетонных сердечников. Железобетонные сердечники труб со стальным цилиндром длиной 4 м (полная длина трубы 4,27 м), диаметром от 900 до 1500 мм изготавливаются так же, как и цилиндрические трубы непосредственно в камерах полигона.

Для изготовления труб диаметром 900 мм, длиной 7 м пропарочные камеры были заглублены в землю на 4 м. Благодаря этому была обеспечена необходимая высота от верха формы до низа стреловой подвески portalного крана 7,2 м (для установки внутренней части формы и извлечения ее после формирования сердечника).

Для изготовления сердечников были использованы металлические формы, описанные выше.

Производство труб диаметром 900 мм,

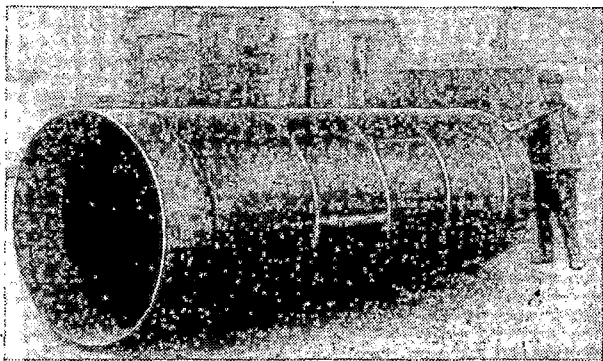


Рис. 85. Стальной цилиндр для трубы диаметром 1250 мм

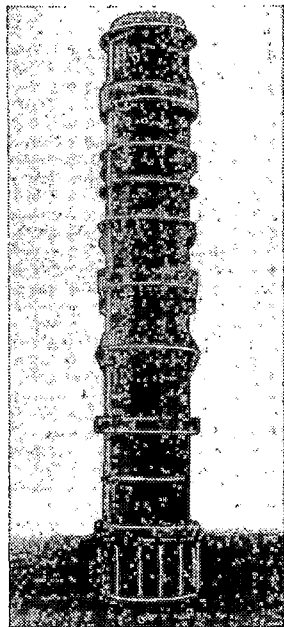


Рис. 86. Собранная форма для изготовления трубы диаметром 900 мм, длиной 7 м

длиной 7 м осуществлялось следующим образом: в наружную полуформу, уложенную на площадке в горизонтальном положении, закладывали тонкостенный стальной цилиндр с приваренными к нему обечайками; после установки другой полуформы их соединяли между собой струбцинами. Затем форму с раструбным концом, обращенным вниз, устанавливали вертикально на нижний кондуктор и опускали на дно камеры. Общий вид собранной формы показан на рис. 86.

После установки в камере наружной формы в нее опускали внутреннюю форму с закрепленными девятью вибраторами типа И-87. Для фиксирования положения внутренней формы нижний конец ее заводили в специальный паз в нижнем кондукторе, а верхний конец скрепляли с наружной формой при помощи центрирующих болтов. Перед бетонированием наружную и внутреннюю формы смазывали отработанным машинным маслом.

Бетонную смесь применяли состава: 560 кг быстротвердеющего цемента марки 500 Руставского цементного завода, 285 кг морского песка Кабулетского месторождения, 285 кг речного песка Пойлинского карьера, 1175 кг щебня с крупностью зерен до 20 мм, 224 л воды; $B/C=0,4$.

Прочность такого бетона, определяемая по пропаренным вместе с трубами образцам, составила на вторые сутки в среднем 350 кг/см^2 . Бетонную смесь укладывали с помощью виброукладчика, причем вначале одновременно работали все вибраторы; после заполнения формы бетоном на $\frac{1}{3}$ высоты вибраторы нижней зоны выключали.

После 3—5 ч выдерживания в форме отформованный сердечник пропаривали. Перед пуском пара все вибраторы снимали. Пар выпускали снизу во внутреннюю форму. Сверху ее плотно прикрывали крышкой и тщательно изолировали камышитовыми матами. Пропаривание проводилось в течение 12 ч при температуре $70\text{—}80^\circ\text{C}$. После охлаждения камеры сначала извлекали внутреннюю форму, для чего предварительно стягивали внутри ее стяжные муфты. Наружную форму после извлечения ее с забетонированной трубой из камеры освобождали в горизонтальном положении.

В отдельных распалубленных сердечниках были обнаружены разрывы стального цилиндра вдоль сварочного шва в нижней трети трубы, явившиеся следствием давления бетонной смеси в процессе ее укладки. Герметичность цилиндров в местах повреждений была восстановлена путем накладки полос из листовой стали толщиной 0,8 мм и приварки их ацетилено-кислородной сваркой непрерывным швом по всему контуру накладки. Уплотнение бетона по всей длине сердечника во всех случаях было удовлетворительным.

Трубы диаметром 900, 1250 и 1500 мм, длиной 4 м изготавливаются аналогичным способом в стационарных пропарочных камерах.

Навивка напряженной спиральной арматуры. Для навивки напряженной спиральной арматуры на трубы длиной 7 м был несколько реконструирован описанный навивочный станок, предназначенный для навивки арматуры на трубы диаметром 900 мм, длиной 4 м. Для этого планшайбы станка раздвинули — одна из них была смещена на 3,5 м. Для навивки использовали высокопрочную углеродистую проволоку диаметром от 2,5 до 5 мм с временным сопротивлением разрыву соответственно от 200 до 170 кг/мм^2 . При допускавшемся натяжении не выше 65% от расчетного предела прочности проволоки при разрыве манометр показывал для проволоки диаметром 2,5 мм — 25 ат и для проволоки диаметром 3 мм — 35 ат, что соответствует в среднем напряжению в проволоке около 110 кг/мм^2 , а при максимальной величине напряжения — 130 кг/мм^2 .

Из-за ограниченности движения суппорта нельзя было навить за один прием спиральную арматуру по всей длине 7-м трубы, поэтому сначала навивали арматуру до половины длины, затем трубу переставляли на станке и продолжали навивать другую половину. Последний виток проволоки перед перестановкой трубы закрепляли с помощью зажима. При этом на конечном участке трубы длиной 50—60 мм напряжение в проволоке снижалось до нуля; при втором заходе это ослабленное место перекрывали напряженной арматурой.

Для предохранения сварных швов от повреждений при установке трубы на навивочный станок ее подвешивали на мягких стропах и закрепляли в горизонтальном положении на планшайбах при помощи трех кулачков, упирающихся с втулочной стороны в стенку трубы, а с противоположной стороны — в раструбную обечайку и в стенку трубы.

Навивка спиральной арматуры на железобетонные сердечники раструбных труб диаметром 1250 и 1500 мм, длиной 4 м производилась на установке для навивки арматуры на трубы большого диаметра, при непрерывном контроле заданного натяжения с помощью манометра. После навивки спирали устанавливали арматурную сетку в месте образования утолщения раструба (рис. 87).

Нанесение защитного слоя. На поверхность стального цилиндра, обвитого напряженной спиральной арматурой, наносили с помощью цемент-пушки защитный слой толщиной 20 мм из раствора состава 1:3 на расширяющемся цементе (ВРЦ). Торкретирование выполняли за два приема. После нанесения защитного слоя и его твердения трубы подвергали испытательному гидравлическому давлению. Изготовление трубы заканчивалось окраской открытых металлических стыковых соединений битумным лаком.

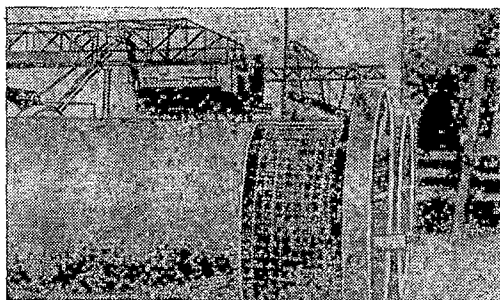


Рис. 87. Укладка арматурной конструктивной сетки на раструбную обечайку в месте образования утолщения бетона

В табл. 33 приведены технико-экономические показатели труб диаметром 900—1500 мм, рассчитанных на гидравлическое давление 6 и 10 ат.

Таблица 33

Технико-экономические показатели железобетонных предварительно напряженных труб с тонкостенным стальным цилиндром и гибкими стыковыми соединениями, изготовлявшихся в г. Рустави

Внутренний диаметр трубы в мм	Полная длина трубы в м	Бетонный сердечник			Торкретный слой			Тонкостенный цилиндр и стыковые обечайки	
		объем в м ³	стоимость 1 м ³ в руб.	полная стоимость в руб.— коп.	площадь в м ²	стоимость 1 м ² в руб.	полная стоимость в руб.— коп.	вес в кг	полная стоимость в руб.— коп.
Трубы на давление 10 ат									
900	7,27	1,31	34	44—60	22,4	0,99	22—10	189,9	37—98
1500	4,27	1,47	40	58—80	21,4	0,99	21—20	239,9	47—98

Трубы на давление 6 ат									
900	7,27	1,31	34	44—60	22,4	0,99	22—10	189,9	37—98
1500	4,27	1,47	40	58—80	21,4	0,99	21—20	239,9	47—98

Продолжение табл. 33

Внутренний диаметр трубы в мм	Полная длина трубы в м	Высокопрочная проволока		Арматура из Ст. 3		Показатели на 1 трубу			Показатели на 1 пог. м трубы		Стоимость 1 м ³ железобетонной трубы в руб.—коп.
		вес в кг	полная стоимость в руб.— коп.	вес в кг	полная стоимость в руб.— коп.	объем бетона в м ³	вес метал- ла в кг	полная стоимость в руб.— коп.	вес в кг	стоимость в руб.— коп.	
Трубы на давление 10 ат											
900	7,27	128	28—20	34,4	3—17	1,66	352,3	136—05	606	19—43	82—60
1500	4,27	230	50—60	54,6	5—03	1,86	524,5	183—61	1240	45—90	93—60
Трубы на давление 6 ат											
900	7,27	77	16—94	34,4	3—17	1,66	301,3	124—79	598	17—82	75—10
1500	4,27	138	30—40	54,6	5—03	1,86	442,5	163—41	1097	40—85	88—00

Работы по укладке опытных участков водоводов из труб диаметром 900 и 1250 мм, испытанию их под давлением производились под руководством научно-исследовательского института ВОДГЕО.

**Испытания труб диаметром 1250 мм
со стальным цилиндром на опытном участке полигона**

Первый участок экспериментального водовода из труб диаметром 1250 мм со стальным цилиндром, длиной 60 м был сооружен на территории полигона в июне 1956 г. и включен в постоянную промышленную сеть водопровода. На участке было уложено 15 предварительно напряженных труб длиной по 4 м с раструбными соединениями конструкции

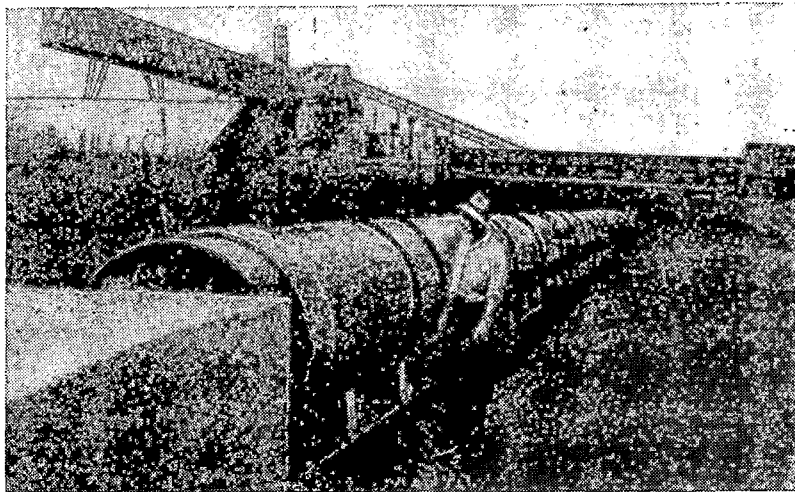


Рис. 88. Общий вид опытного напорного трубопровода диаметром 1250 мм

ВОДГЕО. Трубопровод смонтировали на поверхности земли на бетонных опорах. По концам его установили металлические заглушки и бетонные упоры. Перед укладкой 12 труб подверглись гидравлическому испытанию давлением 13—15 ат на испытательном стенде полигона.

Первое испытание опытного участка водовода было произведено под давлением до 10 ат, которое поддерживалось в течение 4 ч. В процессе испытания на девяти трубах были обнаружены следы отпотевания, а на двух — фильтрация в виде капель в местах сварных швов стального цилиндра и, главным образом, в местах сварки соединительных обечаек с цилиндром. На одной из труб в защитном слое были отмечены продольные трещины длиной до 1 м. После демонтажа труб в трех из них с внутренней стороны оказались продольные и кольцевые трещины. Однако эти дефекты не вызвали каких-либо следов фильтрации воды. При испытании была также установлена полная герметичность и всех стыковых соединений, несмотря на то, что два стыка во время испытания подвергались деформации растяжением в осевом направлении: один на 2 мм и другой на 18 мм.

Общий вид экспериментального водовода показан на рис. 88.

На следующий день после испытания опытный участок вторично был подвергнут гидравлическому испытанию давлением 10 ат, которое выдерживалось в течение 5 ч. Интересно отметить, что при повторном испытании в ряде мест отпотевание на поверхности труб исчезло. Через некоторое время опытный участок подвергли испытаниям в более

жестких условиях для гибких стыков. Значения углов поворота осей труб в местах стыков и прогибов приведены в табл. 34.

Таблица 34

**Углы поворота осей труб в местах стыков
и прогибы на экспериментальном участке водовода в г. Рустави**

Деформации	Номера исследованных стыков							
	5	6	7	8	9	10	11	12
Угол поворота	1°15'	1°35'	1°04'	1°04'	1°04'	1°04'	1°58'	1°00'
Прогиб в мм	—	89	211	285	283	209	70	—

Гидравлическое давление в водоводе при испытании было доведено до 10 ат и поддерживалось в течение 3 ч. За это время при внешнем осмотре на поверхности шести труб было обнаружено отпотевание в виде отдельных темных пятен в тех местах, где оно появилось при предыдущем испытании. Однако следует отметить, что по сравнению с предыдущим испытанием количество пятен вновь резко сократилось. В двух местах в сварных швах наблюдалась фильтрация воды. Сварные швы в этих местах были вскрыты и подчеканены (под давлением), после чего фильтрация воды прекратилась. В одном из стыков под давлением 9,5 ат также появилась фильтрация воды в виде отдельных капель. При повышении давления до 10 ат утечка воды увеличилась и составила уже 1 см³/мин. Однако после того как давление было снижено до 8 ат, утечка в стыке полностью прекратилась. Все другие стыковые соединения опытного участка при испытании оказались герметичными. Приблизительно через полгода этот участок был вновь подвергнут гидравлическому испытанию давлением до 10 ат, при этом количество появившихся темных пятен отпотевания сократилось еще больше.

На основании проведенных испытаний можно сделать вывод, что стыковое соединение конструкции ВОДГЕО и испытанная конструкция железобетонных раструбных труб со стальным сварным цилиндром могут быть рекомендованы для использования в строительстве напорных водоводов.

На Московском заводе в Филях изготавливаются трубы с металлическим цилиндром диаметром 1400 мм; они укладываются в магистральных линиях Московского водопровода.

**Испытание труб диаметром 900 мм
со стальным цилиндром на экспериментальном участке
Булачаурского водовода**

В дальнейшем был организован более широкий эксперимент для проверки качества железобетонных напорных труб и их гибких стыковых соединений в производственных условиях. В этих целях на строительстве Булачаурского водовода в Сагурамской долине был сооружен опытный участок длиной 188 м из железобетонных напорных труб диаметром 900 мм со стальным цилиндром, изготовленных на Руставском полигоне.

На месте изготовления трубы испытывали под гидравлическим давлением 15 ат в течение 20—30 мин. Из подвергнутых испытанию 14 труб на 11 не было обнаружено никаких признаков утечки воды; на трех трубах наблюдалось отпотевание наружной поверхности (в одном, двух и пяти местах) в виде темных пятен общей площадью от 20 до 75 см², что было признано допустимым. Всего было испытано около 60% всех труб, предназначенных для укладки на опытном участке. Трубы прошли внешний осмотр и отбраковку.

Уложенный в Сагурамской долине экспериментальный участок подвергли гидравлическому испытанию в траншее, при этом трубы, за исключением стыковых соединений, были на $\frac{3}{4}$ диаметра засыпаны грунтом. Водовод до испытания в течение 6 суток находился под давлением от 1 до 5 ат. Затем давление повышалось до 12 ат и поддерживалось на таком уровне в течение 6 ч, причем под давлением 12 ат водовод находился в течение 20 мин; за это время падение давления составило 0,4 ат.

В результате испытания была установлена абсолютная герметичность всех стыковых соединений. На поверхности четырех труб обнаружилось слабое отпотевание без утечки воды; на поверхности защитного слоя двух труб были замечены продольные трещины, не нарушившие, однако, герметичности водовода. Утечка воды при испытательном и максимальном напоре, связанная с поглощением воды железобетонными стенками труб, составила: до испытательного давления 0,93 л/мин; после испытательного давления в 12 ат 0,71 л/мин; при атмосферном давлении в течение первых двух суток после наполнения водовода — в среднем 0,1 л/мин. При подъеме давления от 1 до 12 ат потребовалась подкачка воды в количестве 1,2 м³.

Учитывая положительные результаты испытания и продолжавшейся в течение 7 месяцев эксплуатации железобетонных напорных труб на опытном участке полигона, после соответствующей дезинфекции, экспериментальный участок был подключен к действующему Булачаурскому водоводу для параллельной работы и для дальнейшего изучения его в условиях длительной эксплуатации. Для облегчения наблюдений верхнюю часть труб на высоте 5—10 см оставили открытой.

2. ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 2130 И 3800 мм СО СТАЛЬНЫМ ЦИЛИНДРОМ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ БОСТОНСКОГО НАПОРНОГО ВОДОВОДА В США

При строительстве Бостонского напорного водовода в США применяли железобетонные напорные трубы со стальным цилиндром больших диаметров, изготавливавшиеся в полевых условиях. Водовод длиной около 30 км предназначен для снабжения района Бостона водой из рек Свифт, Уэр и Уочусетского водохранилища.

Проектные решения. Пропускная способность водовода была запроектирована около 760 тыс. м³ в сутки с увеличением мощности в дальнейшем до 1100 тыс. м³.

По длине он имеет различное конструктивное решение. На трассе протяженностью 3,2 км уложены железобетонные напорные трубы диаметром 3800 мм, затем сооружен туннель диаметром 4,25 м, длиной 4,8 км, расположенный под водохранилищем Садбери, далее на протяжении более 20 км снова уложены железобетонные напорные трубы диаметром 3500 мм; на участке 0,8 км в траншеях уложены железобетонные напорные трубы диаметром 2130 мм.

В результате сравнения вариантов проектов сооружения водовода в монолитном железобетоне и из сборных железобетонных труб было установлено, что сооружение напорного водовода из сборных железобетонных труб на всех участках, за исключением туннеля, наиболее экономично. Для обеспечения абсолютной водонепроницаемости стенок труб их изготовили со стальным цилиндром. Экономичность и техническая целесообразность использования таких труб подтверждалась опытом строительства Колорадского водовода в Южной Калифорнии.

Поперечное сечение принятой конструкции трубы показано на рис. 89. В стенке трубы со стороны внутренней поверхности расположено

стальной лист толщиной от 2,7 до 7,2 мм. Стенки труб диаметром 2130, 3500 и 3800 мм имеют соответственно толщину 20 см (8"), 28 см (11") и 30,5 см (12"). При этом защитный слой бетона для арматуры и стального цилиндра составляет около 5 см.

Трубы диаметром 3800 и 2130 мм приняты длиной 3,65 м, а диаметром 3500 мм — длиной 4,87 м. Объем бетона на каждую трубу соответственно равен 14,4; 16,2 и 5,5 м³.

Расчетом обуславливалось, что стальной лист воспринимает 40—50% напряжений от гидравлического давления в трубе. Остальная часть

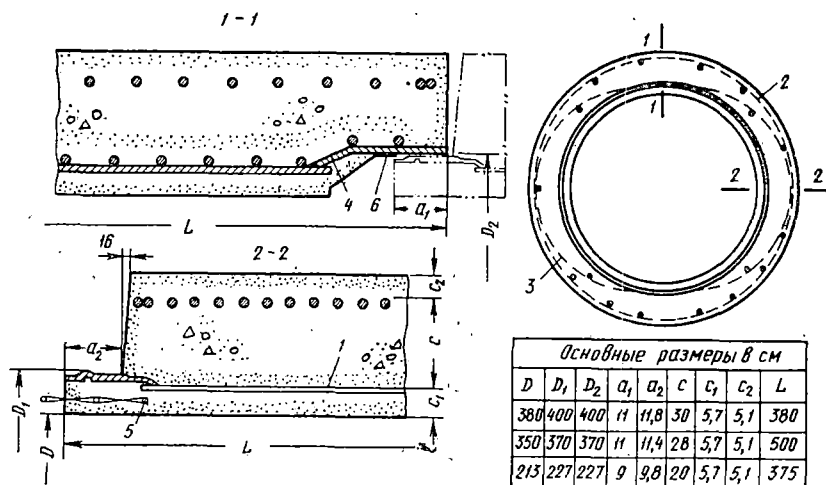


Рис. 89. Конструкция железобетонной напорной трубы

1 — стальной цилиндр; 2 — арматура круглая; 3 — арматура эллиптическая; 4 — соединительные втулочные и раструбные кольца; 5 — скрутки проволоки для армирования раствора встык; 6 — свинцовая прокладка

нагрузки передается стержневой арматуре диаметром от 11 до 25 мм. Арматура запроектирована в соответствии с распределением в стенке трубы изгибающих моментов от внешних вертикальных нагрузок в виде двух спиралей: круглой — по внешнему контуру сечения трубы и эллиптической, большая ось которой расположена горизонтально (малая ось совпадает с диаметром стального цилиндра, т. е. в этом месте арматура при навивке укладывается непосредственно на поверхность стального цилиндра). При расчете имелось в виду, что стальной цилиндр и арматура будут воспринимать напряжение равномерно.

При проектировании труб учитывались три главные расчетные нагрузки: гидравлическое давление, внешние нагрузки и собственный вес трубопровода. Работа бетона на растяжение при проверке сечения трубы на гидравлическое давление в расчет не принималась, но учитывалась при расчете трубы на вертикальные нагрузки. Однако толщина стенки труб выбиралась скорее эмпирически, чем по расчету, учитывая условия транспортирования труб, с последующей проверкой на указанные нагрузки.

Рабочее гидравлическое давление в трубопроводе колеблется от 3 до 6 ат. Для сетей с меньшим давлением применялись трубы, рассчитанные на давление 3 ат.

Трубы в зависимости от способа армирования могли выдерживать вертикальную нагрузку от засыпки землей высотой до 7,5 м. В тех местах, где глубина засыпки не превышала 1 м, оставшийся резерв несущей способности

щей способности труб, по данным строителей, гарантировал возможность устройства над ними любых проезжих дорог и автомагистралей.

Допускаемые напряжения на растяжение от гидравлического давления в стальном листе во избежание появления трещин в бетоне были установлены в пределах 650 кг/см^2 . Такой значительный запас прочности в стальном листе предусматривался на случай повреждения арматуры, воспринимающей 50—60% растягивающих напряжений от гидравлического давления. Таким образом, при выходе из строя арматуры напряжение в стальном листе могло возрасти лишь до $\sigma_{\text{макс}} = \frac{650}{0,4} = 1600 \text{ кг/см}^2$, т. е. не выше нормативного значения, что обеспечивало сохранность трубопровода.

В табл. 35 приведены показатели расхода стали для участков с различным гидравлическим напором. На рис. 90 приведен графический ана-

Т а б л и ц а 35

Технико-экономические показатели железобетонных напорных труб для Бостонского водовода диаметром от 2130 до 3800 мм

Внутренний диаметр труб в мм	Гидравлический напор в ат	Стальной цилиндр		Кольцевая арматура			Эллиптическая арматура			Общий вес стали на 1 пог. м трубы в кг
		толщина листа в мм	вес на 1 пог. м трубы в кг	диаметр в мм	шаг навивки в мм	вес на 1 пог. м трубы в кг	диаметр в мм	шаг навивки в мм	вес на 1 пог. м трубы в кг	
3800	3	3,5	337	17,5	96	265	17,5	96	253	855
	3	3,5	312	16	92	212	16	92	202	726
	3,4	4,3	383	16	91	212	16	91	202	797
	3,7	4,3	383	17,5	93	250	17,5	93	242	875
	4	5	445	17,5	93	250	17,5	93	242	937
	4,3	6,4	570	16	85	227	16	85	218	1015
	4,6	6,4	570	17,5	88	265	17,5	88	253	1088
	4,9	6,4	570	18,5	88	304	18,5	88	290	1164
	5,2	7,2	640	18,5	88,5	301	18,5	88,5	288	1229
	5,5	6,4	570	22	100	378	22	100	362	1310
3500	5,8	6,4	570	22	90	417	22	90	400	1387
	6,1	6,4	570	25,4	104	454	25,4	104	436	1460
	6,4	6,4	570	25,4	100	494	25,4	100	472	1536
	6,7	7,2	637	25,4	101	492	25,4	101	470	1599
	3	2,7	151	11	100	64	11	100	62	277
	3,7	3,5	195	11	83	70	11	83	68	333
	4,3	3,5	195	13,5	87	99	13,5	87	96	390
	4,6	5	280	11	87	67	11	87	64	411
	4,9	4,3	237	13,5	82	106	13,5	82	102	445
	5,2	4,3	237	16	99	120	16	99	116	473
2130	5,5	5	280	16	108	111	16	108	106	497
	5,8	5	280	16	95	126	16	95	120	526
	6,1	5	280	16	85	140	16	85	134	554
	6,4	5	280	17,5	93	155	17,5	93	148	583
	6,7	5	280	17,5	86	169	17,5	86	162	611

лиз расхода стали в трубах диаметрами 2130 и 3500 мм в зависимости от гидравлического напора в водоводе. Как видно из графика, расход металла принят в прямой зависимости от напора и подобран весьма тщательно, главным образом за счет варьирования диаметра и шага навивки арматуры, тогда как расход металла для стального цилиндра характеризуется ломаной линией, не соответствующей характеру кривой общего расхода металла.

Стыковые соединения труб были запроектированы из стальных колец с уплотнением свинцовыми прокладками.

При проектировании стыков предусматривались следующие требования:

- а) трубы при укладке должны самоцентрироваться;
- б) неровные соединения двух смежных труб не должны увеличивать нагрузку на прокладки;
- в) допуски для диаметров стальных соединительных колец не должны превышать 0,8 мм.

Вдоль намеченной трассы были произведены гидрогеологические изыскания с определением падения и простирания подстилающих пород грунта. Принятое заглубление трубопровода по возможности отвечало профилю местности во избежание дорогостоящих экскаваторных работ. Расположение в плане также учитывало местные условия: наиболее сложные в гидрогеологическом отношении участки были обойдены.

Интересно отметить, что на участке протяжением более 20 км водовод запроектирован без гибких стыков или компенсационных устройств, за исключением мест расположения воздушных клапанов главной линии; поэтому расчетом было предусмотрено, что в бетонных стенках труб появятся дополнительные напряжения от температурных колебаний.

Трубы с отводами или переходными патрубками изготавливали заранее. На всем протяжении водовода приблизительно через каждые 120 м были запроектированы люки. Во всех секциях предусматривалась установка кранов для выпуска воды из трубопровода в низких местах, а в местах повышения трассы — автоматических нагнетательных клапанов и клапанов разрежения для ввода и выпуска воздуха из системы.

В тех местах трубопровода, где предполагалось образование воздушных мешков, были установлены ручные воздушные краны, которые представляют собой специальной конструкции бронзовые клапаны диаметром 38 мм, ввинчивающиеся в соединительную трубку диаметром 200 мм (рис. 91).

Спускные краны или воздушные клапаны, где это возможно, размещены в местах расположения люков. Соединительные трубки для спускных кранов, воздушных клапанов и т. д. приваривались к стальному цилиндру трубы.

Производство труб. Для строительства напорного трубопровода требовалось изготовить 5250 железобетонных труб. Трубы изготавливались полевым способом на двух предприятиях, специально построенных

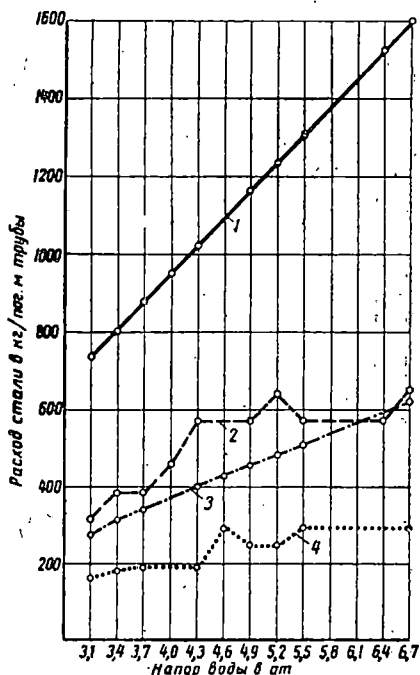


Рис. 90. График расхода стали в железобетонных трубах Бостонского водовода диаметром 3500 и 2130 мм (в кг/пог. м) в зависимости от рабочего напора воды

1 — общий расход стали для трубы диаметром 3500 мм; 2 — расход стали для цилиндра трубы диаметром 3500 мм; 3 — общий расход стали для трубы диаметром 2130 мм; 4 — расход стали для цилиндра трубы диаметром 2130 мм

фирмой «Локк Джойнт Пайп компани». На первом, основном предприятии в Натике, размещенном приблизительно посередине трассы водовода, изготавливались железобетонные трубы диаметром 3500 и 2130 мм. Стальные цилиндры для труб всех диаметров и арматура к ним изготавливались здесь же другой фирмой. Железобетонные трубы диаметром 3800 мм изготавливались на втором предприятии в Саутборо, построенном в районе расположения трубопровода диаметром 3800 мм, во избежа-

ние дальнейших перевозок труб к месту их укладки.

Строительство предприятия в Натике продолжалось 3 месяца, в течение которых была подготовлена строительная площадка, изготовлены стальные формы для труб, проложены коммуникации для подачи воды и пара, а также железнодорожный путь нормальной колеи. Вблизи этого предприятия был построен цех размером в плане 21 × 90 м для изготовления стальных цилиндров и навивки на них арматуры.

Организация указанных предприятий и поставка ими на трассу всех железобетонных труб были завершены в течение одного года. Такие высокие темпы строительства предприятий и выпуска ими готовых

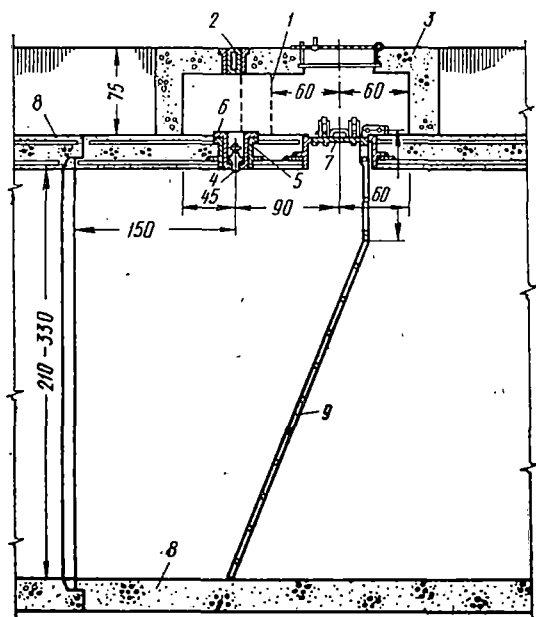


Рис. 91. Конструкция воздушного клапана в железобетонном трубопроводе

1 — люк с воздушным клапаном; 2 — место доступа к воздушному клапану; 3 — бетонный колодец; 4 — воздушный клапан; 5 и 6 — стальное литье; 7 — крышка люка; 8 — железобетонные трубы; 9 — лестница

труб подтверждают целесообразность строительства полевых установок для обеспечения сооружения крупных водоводов железобетонными напорными трубами больших диаметров.

Организация производства труб, как на всякой полевой установке, весьма элементарна, использованное оборудование включает две бетономешалки емкостью по 1,5 м³, размещенные во временном бетонном узле, паровоз с платформами, железнодорожный кран, металлические формы с вибраторами и вращающиеся бункера для укладки бетона.

Цилиндры для труб длиной 3,65 м изготавливались из стальных листов размером 120 × 365 см, а для труб длиной 4,87 м из листов 120 × 478 см (4 × 16 футов).

В цехе ежедневно изготавливали по 35 цилиндров. Листы автоматически сваривали встык по длине и полученное полотно подавали по рольгангам к валкам для придания ему цилиндрической формы требуемого диаметра, а затем на сварку. Полотно по образующей сваривали вручную встык. Готовый цилиндр перевортывали в вертикальное положение и опускали во втулочное соединительное кольцо, к которому цилиндр приваривали на специальном шаблоне вручную. Таким же образом приваривали и раструб. Затем цилиндр испытывали на прочность и водонепроницаемость под гидравлическим давлением. Для этого цилиндр

трубы надевали на другой цилиндр с водонепроницаемыми стенками диаметром на 10 см меньше диаметра первого. Пространство между их стенками заполняли под давлением водой, а на раструбный и втулочный концы на время испытания надевали водонепроницаемые крышки. При испытании растягивающие напряжения в стенках цилиндра трубы доводили до 1600 кг/см^2 . Готовый стальной цилиндр после испытания подавали на навивочный станок. Круглая сталь для арматуры постав-лялась заводом в бухтах; каждая бухта — для одной спирали.

Арматуру навивали на стальной цилиндр двумя спиралями — эллиптической и круглой, при этом витки второй спирали располагались между витками первой. Для придания спиралям соответствующей формы на поверхности цилиндра закрепляли специальные спейсерные стержни. После окончания навивки спирали концы арматуры приваривали к соединительным кольцам. Затем цилиндр подхватывали краном с помощью широких строп, чтобы не повредить спиралей, и подавали на вращающийся стенд, где спиральную арматуру приваривали к продольным стержням для образования жесткого каркаса. Спейсерные стержни после этого снимали для повторного использования. Стальные цилиндры с навитой на них арматурой подавали краном на полигон к месту формирования труб.

В Натике на полигоне было размещено 72 стенда с 24 комплектами металлических форм (с помощью одного комплекта форм изготовляли трубы на трех стендах). Основанием для каждого стенда служило закрепленное в бетоне тщательно обработанное чугунное кольцо с пазами для установки формы и стального цилиндра. На втулочный конец формы сверху надевали другое кольцо для образования опоры вращающегося бункера с распределительным лотком. На полигоне ежедневно выпускали по 24 трубы. Отформованную трубу освобождали из формы через 24 ч, покрывали брезентом и пропаривали в течение 48 ч. После пропаривания трубы поворачивали в горизонтальное положение и на катках перемещали к месту складирования. На складе в течение 12 суток трубы подвергали дождеванию.

При изготовлении труб добивались очень высокой точности в размерах.

Расход цемента был установлен $410\text{--}470 \text{ кг}$ на 1 м^3 бетона. Особое внимание уделялось качеству заполнителей. Для их обогащения — промывки и рассеивания — было построено отдельное предприятие. Крупные инертные получали дроблением и отсевом, гравия с крупностью зерен от 6 до 25 мм. Песок применяли с крупностью зерен до 6 мм. Водоцементное отношение бетонной смеси вначале было принято 0,45; однако в дальнейшем его увеличили до 0,52. Прочность бетона на сжатие была запроектирована 350 кг/см^2 , в действительности же она составляла около 420 кг/см^2 .

Изготовление труб на полигоне осуществлялось в следующей последовательности. Бетонную смесь приготавливали в бетонном узле с помощью двух бетономешалок емкостью по $1,5 \text{ м}^3$, оборудованных весовыми дозаторами для цемента, воды и заполнителей. Цемент доставляли навалом и сгружали в центральный бункер, вмещавший однодневный запас. Заполнители, доставленные автомашинами, разгружали в 75-т бункера, откуда подъемником подавали в раздаточные бункера над бетономешалками.

Время приготовления одного замеса бетона 2 мин. Бетонную смесь из бетономешалок выгружали в ковши с открывающимся дном емкостью по $1,5 \text{ м}^3$, установленные на железнодорожных платформах, которые подавали паровозом к месту укладки смеси в формы. На полигоне ковши снимали с платформ железнодорожным краном, и бетонную смесь из них выгружали во вращающийся бункер, установленный на форме

(рис. 92). Вращающийся бункер обеспечивает распределение смеси по контуру формы трубы. Формование производили с помощью трех электровибраторов, установленных на наружной стороне формы.

Установку внутренних и наружных форм в кольцевые пазы чугунных опорных плит, монтаж стальных цилиндров с навитой на них спиральной арматурой и перестановку по формам вращающегося бункера производили тем же железнодорожным краном.

На внутренней поверхности труб вначале обнаруживали много раковин в связи с тем, что внутренняя форма не вибрировалась. В дальнейшем этот дефект был устранен путем установления скорости враще-

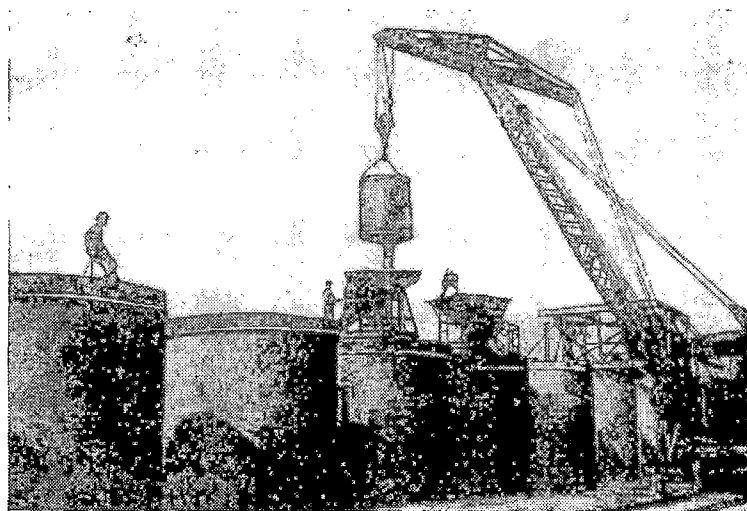


Рис. 92. Укладка бетона в форму при помощи вращающегося бункера с распределительным лотком

ния бункера, соответствующей скорости формования и применения специальных длинных лопаток-шуровок.

После укладки бетонной смеси форму закрывали крышкой и внутрь формы подавали пар. Термическая обработка производилась при температуре 65—75° С. Через 24 ч форму снимали, а оставшуюся на стенде железобетонную трубу при той же температуре в течение 48 ч пропаривали под брезентом. Во время тепловлажностной обработки выявился технологический дефект, состоявший в том, что бетон стенок трубы нагревался паром и высушивался, а не увлажнялся. Это происходит в связи с тем, что большая часть конденсата пара стекала по брезенту на землю, минуя трубы. Поэтому брезент стали привязывать к трубе, чем и было обеспечено требуемое увлажнение бетона.

После трехсуточной тепловой обработки на стенде трубы откатывали на склад, где их подвергали дождеванию в течение 12 суток, при этом разбрызгиватели устанавливали как снаружи, так и внутри трубы. В холодную погоду дождевание прекращали. Дождевание на складе производили только при высокой температуре воздуха.

Лабораторный контроль. В Натике была организована лаборатория для контроля качества бетона. На каждые 70 м³ уложенного бетона испытывали на прочность три образца в виде бетонных цилиндров: один 7-суточного и два 28-суточного возраста. Пробы бетона для образцов отбирали непосредственно из лотка вращающегося бункера.

Проверка качества бетона, твердевшего в различных условиях тепловлажностного режима, дала возможность установить следующее:

1) железобетонные трубы, твердевшие в летних условиях на солнце без увлажнения дождеванием, приобретали прочность бетона не более 50% прочности бетона труб, увлажняемых дождеванием в течение 12—14 суток;

2) бетон, обработанный паром, по сравнению с бетоном, обработанным горячей водой, получал более высокую раннюю прочность, однако окончательная прочность бетона в обоих случаях была одинаковой.

Лабораторией производились также испытания прочности сварки стального цилиндра и проверка возникающих напряжений в стенках

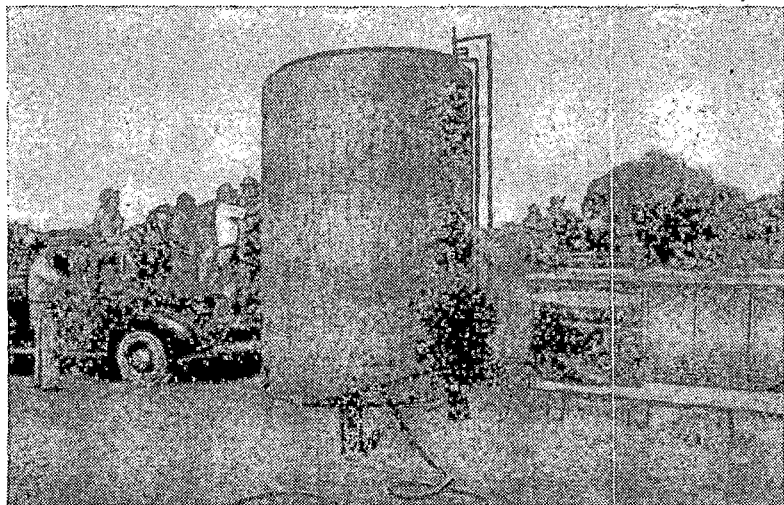


Рис. 93. Железобетонная труба после испытания гидравлическим давлением

труб. Так, при испытании гидравлическим давлением трубы диаметром 2130 мм, длиной 3,65 м было установлено, что разрыв одного из швов в стальном цилиндре произошел при нагрузке, превысившей проектную в 4,5 раза. При этом бетон потрескался равномерно во многих местах. Общий вид трубы после разрушения показан на рис. 93.

В результате произведенных испытаний были сделаны следующие выводы:

- 1) напряжения в бетоне под нагрузкой возрастают равномерно;
- 2) трещины в бетоне развиваются в продольном направлении независимо от величины напряжения в стальном цилиндре и арматуре;
- 3) между арматурой и стальным цилиндром напряжения распределяются относительно равномерно — в соответствии с расчетом;
- 4) деформация трубы под нагрузкой начинает развиваться со стороны внутреннего слоя бетона, который растрескивается в первую очередь, отделяется от стального цилиндра и не участвует в работе сечения трубы;
- 5) до момента разрыва шва стального цилиндра никакой утечки воды из трубы не наблюдается.

Складирование и транспортирование труб. В связи с большими размерами и весом труб для обеспечения их жесткости при хранении в горизонтальном положении на складе и транспортировании применяли радиальные деревянные распорки с клиньями или распорки для двух

труб с колодками и винтовыми домкратами, которые устанавливали на месте изготовления труб.

Для одной трубы требовалось три комплекта распорок — два по концам и один посередине трубы (рис. 94). Трубу в горизонтальном положении специальным порталным краном откатывали на склад. Распорки снимали только после того, как стык уложенной в траншею трубы (присоединение трубы к уложенному ранее трубопроводу) был предварительно зачеканен свинцом. Трубы складировали рядами, перпендикулярными к линии стендов. На складе хранилось обычно около 300 труб двухдневного возраста.

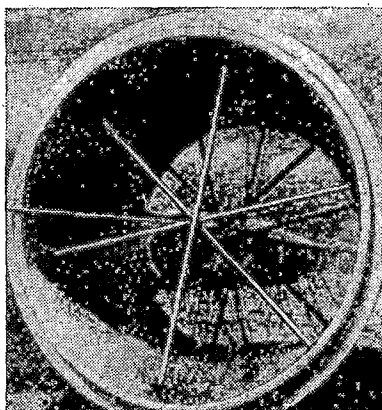


Рис. 94. Труба с установленными распорками

Трубы со склада грузили на трайлеры с помощью гусеничных тракторов, оборудованных лебедками. Для перевозки труб были изготовлены специальные низкие трайлеры грузоподъемностью 50 т, перемещавшиеся с помощью 150-сильного трактора. Трайлеры в целях равномерной передачи нагрузки

на дорогу были оборудованы 20 колесами на пневматических шинах. Чтобы облегчить погрузку труб со склада на трайлеры, подъездная дорога была сделана ниже отметки склада на 0,6 м. При перевозке труб на расстояние до 10—12 км использовались пять тракторов с трайлерами, из которых каждый успевал сделать за день 4—6 рейсов. Разгружали трубы при помощи катков и гусеничного трактора. Для транспортирования труб вдоль трассы будущего водовода строили временные дороги. В местах, не удобных для складирования, вдоль траншей готовили специальные площадки.

Чтобы предохранить бетон от растрескивания на солнце, трубы окрашивали в белый цвет.

Укладка труб. Трубы на трассе укладывали участками протяженностью от 3 до 5,5 км в зависимости от сложности работ. На всех участках работы вели параллельно. Оборудование для укладки труб на разных участках выбирали исходя из топографических и других условий местности. Так, на одном из участков с ровным профилем был использован железнодорожный полноповоротный кран, двигавшийся по рельсовому пути, уложенному по дну траншеи. Однако кран не мог брать трубы с бровки траншеи, поэтому их пришлось скатывать вниз по специально подготовленным пандусам при помощи гусеничного трактора. Пандусы делали через 300 м. Трубы от места разгрузки к спускам подкатывали бульдозером, оборудованным деревянным щитом, и скатывали на платформы, которые доставляли к месту укладки железнодорожным краном; затем трубы поднимали краном с платформы и укладывали на место в траншею.

На других участках — с изменяющимся по длине профилем трассы — для укладки труб использовали жесткий деррик, смонтированный на железнодорожной платформе, передвигающейся по рельсам, уложенным по обеим сторонам траншеи (рис. 95). Преимущество этого способа укладки состояло в том, что кран мог двигаться над уложенным водоводом и брать трубы для укладки непосредственно с бровки траншеи. Для этого он был уравновешен противовесом в 200 т. Однако на крутых склонах траншей и на низких болотистых участках приме-

ние крана усложнялось, так как требовалось затрачивать много труда для подготовки строго горизонтальных путей по верху траншей.

На одном участке трубы укладывали двумя гусеничными кранами грузоподъемностью 62 и 50 т, которые поднимали трубы; перемещали их к бровке траншеи и опускали на место. Работа на участке была выполнена без особых затруднений, однако рекомендовать такой способ можно только для укладки труб в траншеях, вырытых в твердых, устойчивых (каменистых, плотных песчаных и т.п.) грунтах; в слабых грунтах края траншеи под гусеницами кранов могут обрушиться.

Темпы укладки труб зависели от многих причин и на разных участках были различными. В среднем укладывали от 8 до 17 труб в день, а в отдельные дни — от 20 до 32 труб (за 13-ч рабочий день).

При укладке труб в траншеях, расположенных на крутых склонах, требовалась особая организация работ. Так, при сооружении водовода у пересечения реки Садбери трубы, разгруженные у вершины холма, укладывали краном на рельсы, расположенные на дне траншеи, и по ним скатывали к месту

укладки. Для облегчения транспортирования трубы укладывали на специальные стальные салазки, которые скользили по смазанным рельсам. Таким способом укладывали трубопровод по восходящей трассе.

В другом месте на склоне была организована укладка труб сверху вниз. В этом случае каждую укладываемую в траншею трубу закрепляли тросом на раструбный конец к свае, забитой за вершиной холма, и оставляли так до тех пор, пока все трубы не были уложены и соединены. После закрепления трубопровода тросы снимали и трубопровод засыпали землей. Последний способ связан с определенным риском и значительными трудностями и поэтому не может быть рекомендован.

При пересечении трубопроводом реки Садбери ее предварительно отводили по каналу в долину. Трубопровод был уложен на каменистое основание, прикреплен к бетонной подушке и защищен слоем земли и каменистой наброской.

Наибольшая глубина укладки труб в земле обычно не превышала 3 м. В тех местах, где трубы укладывали ниже уровня грунтовых вод более чем на 2 м, их прикрепляли с помощью анкеров к увеличенной по размерам бетонной подушке. Анкеры ввинчивали в нарезные втулки, приваренные к стальным цилиндрам во время изготовления труб и пропущенные через их стенки. Анкеры устанавливали и заделывали бетоном после укладки труб в траншею (рис. 96).

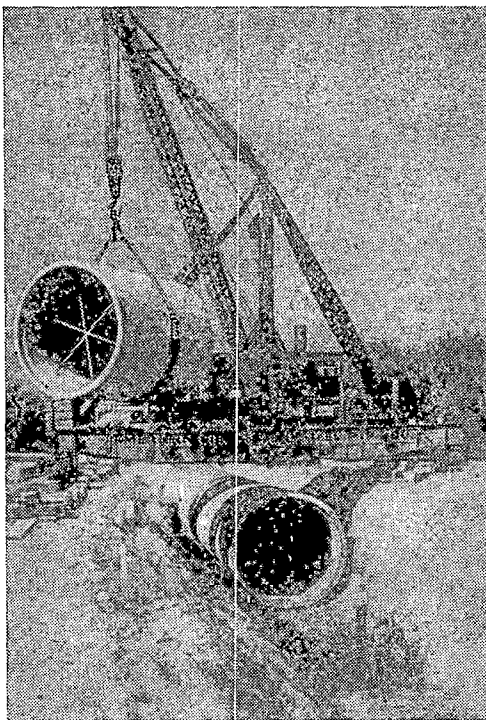


Рис. 95. Укладка труб краном-дерриком

При укладке трубопроводов в болотистых местах торфяные наносы снимали, пльвуны под торфом в основании трубопровода уплотняли гра-
вием и дробленным камнем. Насыпи над водоводом делали с уклонами
1 : 1,75 и покрывали суглинком толщиной до 30 см, а затем — дерном.

Трубы в траншее укладывали раструбным концом вперед, хотя мож-
жно укладывать их и наоборот. Раструбный конец трубы предварительно
но смазывали графитом, затем в него вбивали свинцовую кольцевую

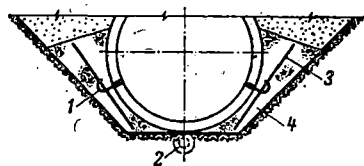


Рис. 96. Конструкция анкерки тру-
бы к бетонной подушке при укладке
ниже уровня грунтовых вод

1 — якоря; 2 — дренажные трубы в случае
большого притока грунтовых вод; 3 — ар-
матура; 4 — бетон

прокладку, изготовленную заранее в цехе. После этого зачеканивали
стыки свинцом, причем чеканка осуществлялась вручную или пневмомо-
лотами. Чеканка вручную обеспечивала некоторую экономию свинца,
однако чеканка пневмомолотами оказалась более качественной. Снару-
жи стык труб заполняли жирным цементным раствором состава 1 : 2,
который уплотняли деревянными клиньями. На этом наружные работы
по укладке труб заканчивались и траншеи засыпали землей. К чеканке
стыков изнутри приступали только после того, как был уложен весь
трубопровод и под влиянием собственного веса и веса засыпки прекра-
щались все осадочные деформации. Окончательную чеканку производи-
ли также вручную или пневмомолотами после закрепления трубопро-
вода в бетонной подушке. Стыки изнутри заполняли цементным раство-
ром вручную или торкретированием. Последний способ более
целесообразен, однако для осуществления его требовались особо квали-
фицированные рабочие.

Швы заделывали вручную путем забрасывания с силой в места уп-
лотнения жирного цементного раствора. В трубах большого диаметра
получался пологий свод, и раствор из швов выпадал, в связи с чем в
этих случаях либо применяли поддерживающую раствор опалубку, либо
заполняли швы в два приема. Для этого в шов сначала забивали и за-
крепляли раствор подготовительного слоя, а после его схватывания по-
верхность первого слоя делали шероховатой и по ней наносили второй
слой. Вес каждого слоя раствора относительно невелик, и поэтому он
прочно удерживался на поверхности бетона. Предварительная и окон-
чательная чеканка стыков тщательно проверялась опытными специали-
стами. Так же тщательно была проверена и укладка цементного раство-
ра в местах соединений, прочность и плотность которого проверяли перед
и после испытаний готовых секций.

Готовые секции акведука испытывали на водонепроницаемость под
давлением, несколько превышающем рабочее. Каждую секцию водовода
испытывали отдельно. По условиям испытаний при полном гидравличе-
ском давлении утечка воды разрешалась «не более 75 галлонов в день
на 1 дюйм диаметра трубы и на 1 милю длины трубопровода» (т. е. 70 л
в сутки на 10 мм диаметра трубы и на 1 км трубопровода). Таким обра-
зом, при испытании за сутки утечка на 1 км трубопровода диаметром
3500 мм допускалась в количестве 24 м³ и диаметром 3800 мм — 26 м³.

За 48 ч до испытания готовый трубопровод наполняли водой. В те-
чение этого времени бетон стенок труб успевал хорошо пропитаться во-
дой, т. е. находился в состоянии, близком к условиям эксплуатации.
Испытуемые секции перекрывали перемычками особой конструкции из
стальных крышек сферической формы, прикрепляемых к стальным ци-
линдрам электросваркой. Результаты испытаний приведены в табл. 36.

Показатели утечки воды в Бостонском железобетонном напорном водоводе

Номер участка	Длина участка в км	Внутренний диаметр труб в мм	Утечка воды в сутки на 1 км длины участка в м ³		Утечка воды в сутки на 1 км длины и на 10 мм диаметра трубы в л		Соотношение фактической утечки и допущавшейся в %	Примечание
			допускаемая	фактическая	допускаемая	фактическая		
1	2,91	3800	26,7	2,49	70	6,5	9,3	На участке малый напор — около 2,5 ат
3	5,01	3500	24,5	3,98	70	11,4	16,1	
4 и 5	10,87	3500	24,5	7,24	70	20,7	29,6	
6	1,49	3500	24,5	3,78	70	10,8	15,4	
6	2,64	3500	24,5	10,82	70	31	44,3	
6	0,47	3500	24,5	69,5	70	198	283	Увеличенная утечка воды в связи с устройством у одного соединения жесткой перемычки
6	0,69	2130	—	10	70	47	67	

Из этих данных видно, что действительная утечка, за исключением одного участка с жесткой перемычкой, оказалась значительно менее допустимой, что свидетельствует о высоком качестве работ при сооружении трубопровода. На внутренней поверхности труб после испытания участков водовода не было обнаружено трещин. Температурные деформации, как предполагалось по расчету, очевидно, компенсировались изменением продольных напряжений в стенках труб.

Когда трубопровод был полностью закончен, через него с целью дезинфекции пропустили сильно хлорированную воду. Для хлорирования применяли раствор хлорноватистокислого натрия, содержащий около 38 кг хлора на 1000 м³ воды. Этим раствором трубопровод промывали в течение 48 ч.

Предварительные наблюдения за эксплуатацией водовода показали, что внутренняя поверхность его очень гладкая и пропускная способность выше расчетной.

3. ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И УКЛАДКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ БОЛЬШИХ ДИАМЕТРОВ (5100—6120 мм) НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОВОДОВ В США

Одним из заслуживающих внимания вариантов организации предприятия по производству железобетонных труб является американская фирма «Америкен Пайп энд Констракцион» (район Миссисипи), имеющая в своем распоряжении в одиннадцати штатах двенадцать заводов по изготовлению широкой номенклатуры железобетонных труб. Однако основное направление этих заводов — производство труб больших диаметров от 1060 до 5100 мм.

Разработкой конструкций и технологии изготовления железобетонных труб с предварительным напряжением эта фирма занимается с 1940 г. Фирмой созданы: отдел производственного проектирования, который отвечает за проект, спецификацию, стандарт и информационную службу; отдел по вопросам научных исследований и разработок — несет ответственность за развитие в области производственного и техноло-

гического проектирования и работу научно-технической лаборатории; отдел организации производства и качественной инженерной оценки процессов, обеспечивающих высокое качество продукции, также подготовляет технологические схемы процессов и спецификации; сметно-калькуляционный отдел, оценивающий процессы изготовления труб и их укладки в соответствии с технологией, принятой фирмой; отдел зонального инженерного обслуживания — ведет проектирование магистральных трубопроводов, качественный контроль, расценивает и осмечивает работы.

В инженерном департаменте работают 35 высококвалифицированных инженеров с большим опытом работы.

Фирма «Америкен Пайп» создала и применяет ряд новых конструкций хорошо решенных машин для производства железобетонных труб больших диаметров и укладки их в магистральных трубопроводах:

1) станки для поточного производства сварных каркасов со съёмными электроголовками для различных диаметров труб;

2) электросварочные машины для автоматической спиральной сварки стальных цилиндров диаметрами от 300 до 4850 мм при поточном производстве;

3) системы машин для предварительного напряжения продольной и спиральной арматуры железобетонных труб с контролем натяжения;

4) системы машин для нанесения защитного слоя из цементного раствора как в горизонтальном, так и в вертикальном положении железобетонной трубы, вращающейся вокруг своей оси;

5) машины для производства испытаний изготовленных железобетонных труб, уложенных в магистралях, на гидростатическое давление и конструктивного испытания, включающего также определение смещения проектного положения труб и точный контроль приложения внешних нагрузок;

6) «Туннельмобил» — 12-т локомотив с грузоподъемной силой в 35 т для подачи железобетонной трубы и транспортирования ее по узкоколейной железной дороге;

7) «Пайпмобил» — машина для подъема, транспортирования и укладки железобетонной трубы диаметром 3800 мм, весом 68 т;

8) передвижные подъемники «Лифтмобил» и трубовоз «Пайпмобил» для железобетонных труб весом 136—140 т.

Фирма на основе опыта и научных исследований считает наиболее экономичным для водоснабжения городов и ирригационных целей:

строить магистральные водоводы максимально больших диаметров, заменяя две-три линии малых диаметров одной, эквивалентной им;

применять напорные водоводы вместо дорогостоящих безнапорных, неоправданно больших диаметров;

при строительстве магистральных трубопроводов больших диаметров, дюкеров, акведуков стремиться к выбору места строительства завода с наименьшим расстоянием доставки труб к месту укладки.

Пример строительства дюкеров в США в районах Кастэк и Колорадо является подтверждением предложений фирмы «Америкен Пайп».

В 1957—1958 гг. в США на строительстве водовода «Колорадо ривер акведук» применялись железобетонные напорные трубы диаметром 3800 мм, длиной 5,2 м, весом 68 т.

Новый крупный объект строительства системы водоснабжения — Кастэк в штате Калифорния — осуществлялся с использованием железобетонных напорных труб с внутренним диаметром 5100 мм, наружным диаметром 6120 мм, толщиной стенки 51 см (в том числе толщина защитного слоя 2,5 см), длиной 6,1 м, весом 136 т. Железобетонный сердечник труб выполнен из стального цилиндра и двух рядов по толщине сечения стенки предварительно напряженной проволоки, на которую

наносится защитный слой из цементного раствора. Трубы рассчитаны на гидравлическое рабочее давление от 3 до 9 ат.

Трубы изготовлялись на предприятии, расположенном в районе их укладки, и доставлялись специальными трубовозами-укладчиками на расстояние до 11 км.

Трубопроводы и дюкеры диаметром 5100 мм имели следующую протяженность (по трассе сверху вниз): дюкеры долины Кастэик — 698 м и каньона Чарли — 463 м; трубопроводы Сан-Франциско — 3621 м, долины Санта Клара — 2037 м и Согэс — 2709 м. Кроме того, было изготовлено 867 м предварительно напряженных железобетонных труб диаметром 3650 мм для выпуска вод реки Санта Клара через шахтный водосброс. Значительная часть трассы проходила под руслами рек в траншее глубиной 18 м.

Для производства и укладки таких массивных труб было разработано и изготовлено специальное оборудование:

автоматическая сварочная машина для изготовления стальных цилиндров диаметром 5182 мм;

усовершенствованная автоматическая установка для навивки высокопрочной проволоки на сердечник трубы с предварительным напряжением до 11 950 кг/см²;

машина для нанесения защитного слоя из цементного раствора;

«Лифтмобил» (рис. 97) высотой 15 м с полиспастовым устройством — передвижной подъемник рамного типа, приподнимающий трубу до 3 м над землей и осуществляющий перемещение ее вдоль рабочей площадки и укладку в рабочее положение для захвата трубовозом (рис. 98), на раме подъемника смонтировано гидромеханическое приспособление в виде кольца для захвата трубы при такелажных операциях; погрузчик буксируется 500-сильным трактором «Катерпиллер» на пневматическом ходу. Для транспортирования труб со склада в траншею к месту укладки применялся трубовоз грузоподъемностью 150 т, разработанный, изготовленный и испытанный на заводе фирмы в Саут Гейт (штат Южная Калифорния);

приспособление для установки стыкового уплотнительного кольца на металлический фальцевый торец трубы, представляющее собой блок роликов, обегаящих фальцевый торец по желобу. С помощью этого приспособления кольцо устанавливается за 45 сек при развиваемом усилии напряжения 45 кг.

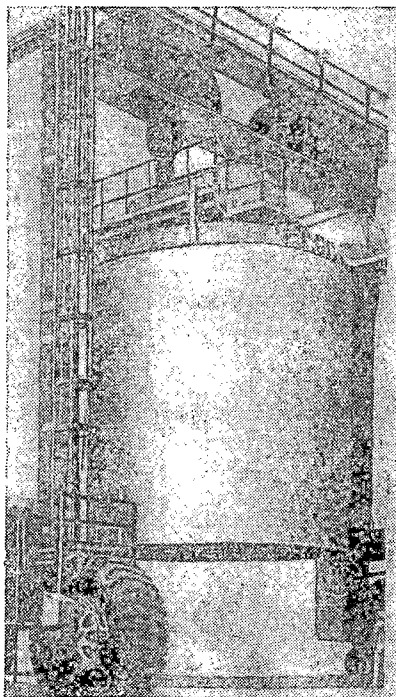


Рис. 97. Передвижной подъемник «Лифтмобил» для перемещения труб на стенде. Грузоподъемность 150 т, высота 15 м, общая длина 16,7 м, ширина 13 м, база колес 11,9 м. Общий вес машины 246 т. Буксируется колесным трактором «Катерпиллер» мощностью 500 л. с.

Большой размер труб и массивность оборудования для их изготовления потребовали разработки многих приспособлений — от таких простых, как такелажный бандаж, позволяющий снимать стальные цилиндры диаметром 5180 мм с горизонтальной сварочной машины и ставить их вертикально (рис. 99), до мощных передвижных платформ

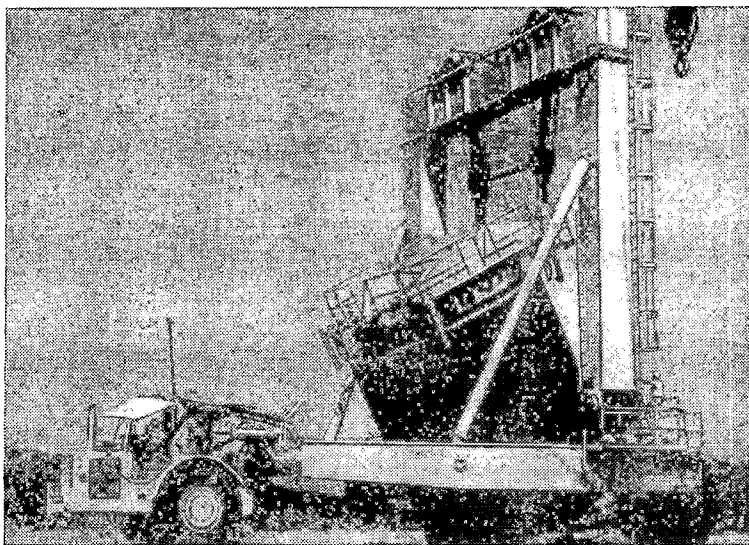


Рис. 98. Последняя операция, выполняемая передвижной рамой «Лифт-мобил», — укладка готовой трубы в рабочее положение для дальнейшей транспортировки на трубовозе

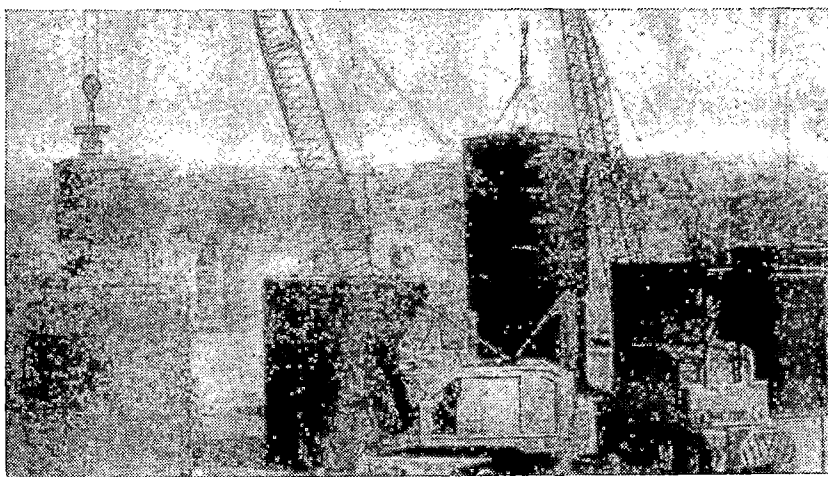


Рис. 99. Процесс формирования железобетонного сердечника. Справа — стальной цилиндр диаметром 5180 мм с помощью крана надевается на внутреннюю форму

большой грузоподъемности. Крановое оборудование также было снабжено эффективными приспособлениями для быстрого захвата и освобождения труб.

Применяемые процессы формирования сердечников труб, навивки предварительно напряженной проволоки и нанесения на нее защитного

слоя в основном обычны. Отличие в технологии составило применение двух рядов предварительно напряженной проволоки с покрытием каждого цементным раствором.

Самой оригинальной машиной, использовавшейся здесь, является трубовоз «Пайпмобил» для перемещения предварительно напряженных труб весом до 150 т с полигона к месту укладки непосредственно в траншею и стыковки труб (в траншее производится лишь заливка шва раствором и его расшивка). Длина машины 19,5 м, вес 140 т, грузоподъемность 150 т (машина является более мощной модификацией трубовоза образца 1957 г., применявшегося для укладки труб диаметром 3800 мм при строительстве дюкеров Колорадского водовода). Трубовоз имеет 5 колес на пневмошинах «Coodyear» с внешним диаметром более 3 м. Каждое из четырех ведущих колес снабжено самостоятельным электродвигателем «Дженерал электрик» мощностью 350 л. с. с приводом от двух дизелей «Gimmins» 700 л. с., расположенных на высокопрочной стальной раме. Пятое шагающе-направляющее колесо находится сзади трубовоза. Кабина оператора расположена на высоте 6,4 м. При заезде в очередную трубу для ее подъема или стыкования с ранее уложенной трубовоз дает задний ход. При подъезде к трубе шагающе-направляющее колесо опускается на лоток трубы, после чего два задних колеса поднимаются гидроцилиндрами и вся средняя часть машины на направляющем колесе проходит трубу насквозь

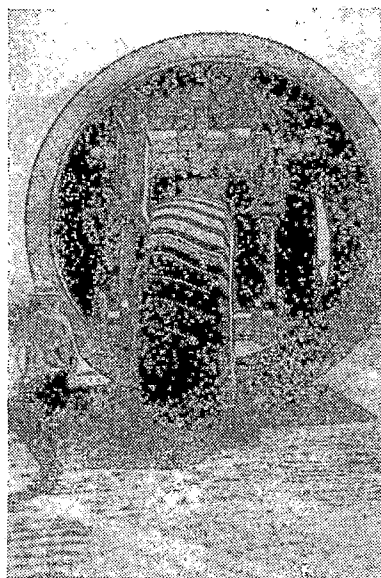


Рис. 100. Трубовоз «Пайпмобил» направляется сквозь трубу

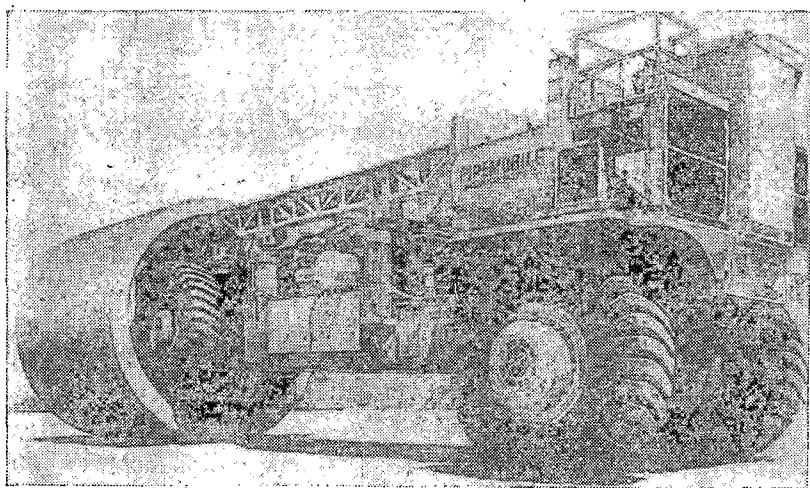


Рис. 101. Задние колеса трубовоза подняты гидродомкратами, и трубовоз задним ходом проходит сквозь трубу

(рис. 100). Затем два задних колеса опускаются, направляющее убирается, а труба приподнимается гидродомкратами (рис. 101, 102).

Четыре гидродомкрата приводят в действие два прямоугольных подъемника, удерживающие трубу; шарнирная система подъемников

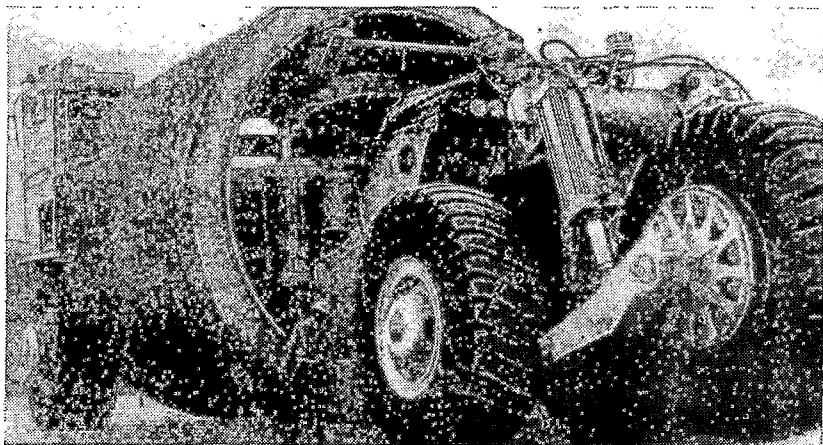


Рис. 102. Гидродомкраты несущей рамы трубоваз отрывают трубу от земли для транспортировки к месту укладки

позволяет оператору свободно перемещать трубу в процессе стыковки с точностью до дюйма как в продольном, так и в поперечном направлении.

Скорость движения трубоваз при доставке труб со склада 15—18 км/ч и без груза 40—45 км/ч. Трубовоз осуществляет доставку их к дюкерам примерно в пять пунктов на участке длиной в 22,5 км.

На рис. 103 показана установка для испытания железобетонных труб диаметром 5100 мм, на рис. 104 — деталь стыковки труб.

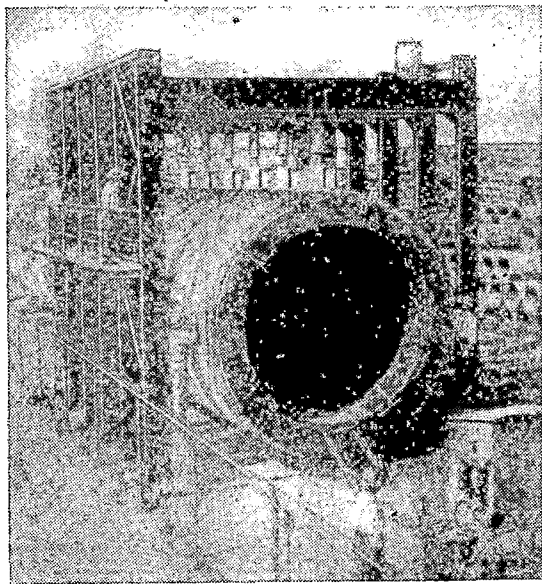


Рис. 103. Установка для испытания железобетонных труб диаметром 5100 мм

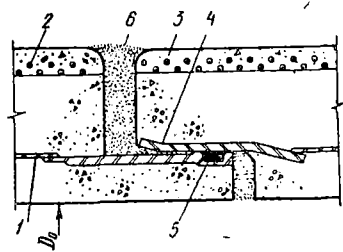


Рис. 104. Деталь стыковки предварительно напряженных железобетонных труб диаметром 5100 мм. Стык образуется с помощью двух стальных колец, приваренных к металлическому цилиндру трубы

1 — стальной цилиндр трубы;
2 — два ряда предварительно напряженной проволоочной спирали;
3 — защитный слой из цементного раствора; 4 — раструбная часть трубы; 5 — резиновое кольцо; 6 — цементный раствор

4. ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 2550—4200 мм НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ В ИТАЛИИ

Изготовление железобетонных напорных труб больших диаметров в вертикальных формах за последние годы получило распространение также в Италии. В частности, такие трубы вместо металлических были применены при сооружении подводящих напорных водоводов гидроэлектростанций в Саверцене, Муконе и Вальтурно. Для изготовления труб в районе строительства были построены небольшие предприятия полевого типа с производительностью от двух до шести труб в день, в зависимости от протяженности трассы и сроков строительства, с общим объемом перерабатываемого бетона от 1130 до 21 000 м³. На этих предприятиях изготавливали трубы с внутренним диаметром от 2550 до 4200 мм для водоводов с рабочим напором от 6 до 20 ат.

Первым было организовано производство труб для строительства четырех водоводов в Саверцене, предназначавшихся для подачи воды к четырем турбинам гидроэлектростанции объединения «Адриана ди Электричити». Трубы с внутренним диаметром 2550 мм были рассчитаны на гидравлическое давление от 9 до 20 ат; длина труб 4,5 м, толщина стенок около 19 см. Стенки труб армированы конструктивной сеткой из круглой стали и снаружи заключены в сварной цилиндр из листовой стали толщиной 2 мм, обвитый предварительно напряженной высокопрочной проволокой. По трехступенчатой технологии изготавливали ежедневно две трубы.

Железобетонный сердечник бетонировали в вертикальных металлических формах, при этом наружной формой служил заранее изготовленный из листового железа на сварке стальной цилиндр, устойчивость которого была обеспечена специальным каркасом. Бетонную смесь укладывали с применением высокочастотной вибрации. Сердечник освобождали из форм через 24 ч и оставляли твердеть на месте изготовления в увлажненной среде в течение 20 суток. После приобретения бетоном необходимой прочности на сердечник навивали арматуру.

В качестве спиральной арматуры применяли предварительно напряженную высокопрочную проволоку диаметром 5 мм с пределом прочности 150 кг/мм². Шаг навивки меняли в зависимости от гидравлического напора. Суммарные напряжения на сжатие в бетоне составили 156 кг/см², а в спирали на растяжение — 9200 кг/см². Предполагалось, что при эксплуатации трубопровода в его стенках остаточное сжимающее напряжение будет не менее 1 кг/см². После окончания навивки сердечник устанавливали в вертикальное положение, и наружную поверхность его торкретировали цементным раствором. Защитный слой на торцы трубы не наносили, поэтому на концах стального цилиндра образовывались как бы металлические кольца, используемые для стыкования труб в траншее. При укладке труб к этим кольцам приваривали стальную ленточную накладку, которую затем тщательно обетонировали заподлицо с защитным слоем. Уложенную бетонную смесь в стыке уплотняли вибрацией.

Трубы укладывали попарно в двух штольнях длиной 175 м, пройденных в скалистом грунте (рис. 105). К штольням трубы подвозили на специальных трейлерах, выгружали на рельсы, проложенные внутри туннеля, и направляли на место. После укладки пространство между трубами и стенками штольни заполняли бетоном, уплотняя его вибрированием, а в дальнейшем — инъецированием цементным молоком.

При расчете труб принимали, что до 30% напора передается на скалу и 70% — на стенки труб. Однако независимо от этого удельный расход металла в бетоне трубопровода оказался весьма значительным

и составил 216 кг/м^3 , в том числе стального листа 92 кг/м^3 и высокопрочной проволоки 124 кг/м^3 .

Все строительство четырех трубопроводов, начиная с организации предприятия для изготовления труб и кончая сдачей в эксплуатацию

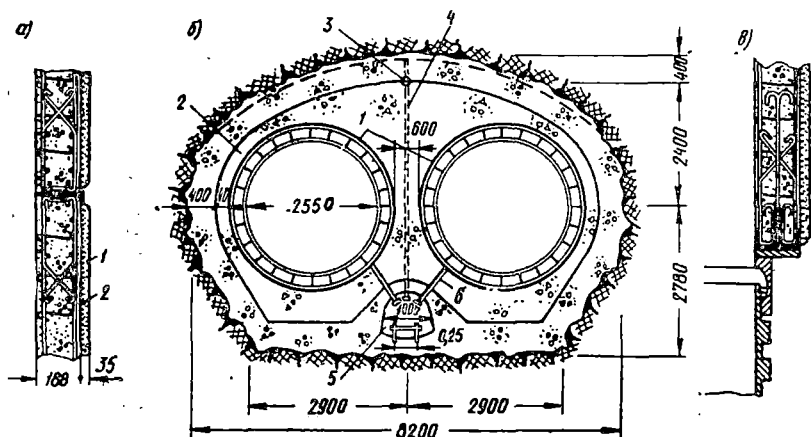


Рис. 105. Сечение трубопровода в Саверцене

а — нормальный шов в стенке трубы; 1 — защитный слой из торкретбетона; 2 — спиральная проволока диаметром 2 мм; б — сечение штольни с двумя спаренными напорными трубами диаметром 2550 мм; 1 — железобетонные стенки трубопроводов; 2 — бетонное заполнение; 3 — отверстие для инъекции раствора; 4 — трубки диаметром $\frac{3}{4}$ " через каждые 10 м; 5 — совмещенный дренажный и контрольный колодец; 6 — трубки через каждые 2,5 м; в — соединение железобетонной трубы с металлической трубой

третьего и четвертого водоводов, было осуществлено за период с апреля 1949 г. по ноябрь 1950 г. Объем переработанного бетона составил около 1130 м^3 .

Примером изготовления и применения железобетонных напорных труб больших диаметров другой конструкции может служить строительство в 1949—1950 гг. напорного водовода гидроэлектростанции в Муконе (объединение «Меридионал ди Электричити»), соединяющего водохранилище с подземной гидростанцией в скалистом грунте. На одном из участков этого водовода в туннелях (штольнях) было уложено 5,6 км предварительно напряженных раструбных труб с внутренним диаметром 2700 и 2850 мм, длиной 5 м.

Трубы диаметром 2700 мм в туннеле длиной 2,9 км были предназначены для гидравлического давления от 12 до 9 ат, а трубы диаметром 2850 мм в туннелях длиной 2,2 км — от 9 до 7,5 ат. Толщина стенок труб на участке с большим напором была 12 см, с меньшим — 11 см.

Производство труб было организовано по трехступенчатой технологической схеме: железобетонные сердечники изготавливали в вертикальных металлических формах с вибрированием и последующим вакуумированием. Прочность примененного бетона в 28-суточном возрасте составляла более 500 кг/см^2 . Благодаря вакуумированию сердечники освобождали из форм немедленно после формования. Для увеличения прочности стенок в процессе изготовления их армировали конструктивной сеткой. После 10-суточного твердения бетона на сердечники навивали высокопрочную предварительно напряженную спираль. Для навивки применяли проволоку с пределом прочности 180 кг/мм^2 . Допускаемое напряжение в спирали довели до величины, не превышавшей 55% от предела прочности, обеспечивая наибольшее сжимающее напряжение в бетоне 155 кг/см^2 .

Навивку рассчитывали так, чтобы во время эксплуатации сжимающие напряжения в стенках труб были не менее 10 кг/см^2 . Таким образом, благодаря сжимающим напряжениям в стенках труб трещиноустойчивость их гарантировалась полностью. Навитую на железобетонный сердечник спираль покрывали с помощью вакуумирования защитным слоем раствора толщиной 25 мм.

Расход металла в железобетонных напорных трубах составил 124 кг/м^3 , в том числе высокопрочной проволоки 80 кг/м^3 и круглой арматурной стали 44 кг/м^3 .

Для производства труб в районе строительства гидростанции было построено специальное предприятие полевого типа производительностью в среднем пять труб в день. Общий вид предприятия показан на рис. 106. Объем пере-

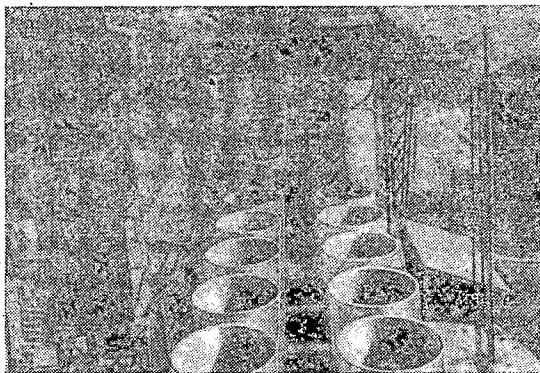


Рис. 106. Общий вид предприятия полевого типа в Муконе для изготовления железобетонных труб диаметром 2700 и 2850 мм

работанного бетона для изготовления напорных труб составил 6800 м^3 . При ежедневном выпуске 30—40 м^3 труб весь заказ данного строительства был выполнен за 8 месяцев. Трубы с предприятия перевозили на специально приспособленных платформах. После укладки на

подготовленное бетонное основание в траншее и заделки стыков трубы дополнительно обетонировали под давлением.

На строительстве водовода в Вальтурно для гидроэлектростанции в Рокка Д'Эвандро объединения «Меридионал ди Электричити» было организовано производство железобетонных напорных труб с внутренним диаметром 4200 мм, длиной 4,5 м, с толщиной стенки 29 см, весом до 50 т. Длина подводящего водовода 5 км, рабочий напор от 0,6 до 2,1 ат. Для изготовления труб построили установку произ-

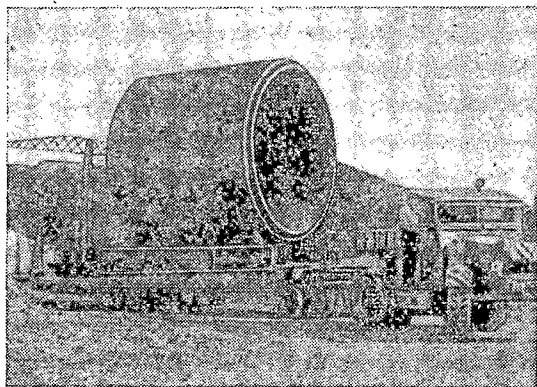


Рис. 107. Транспортирование к месту укладки железобетонных напорных труб с внутренним диаметром 4200 мм, длиной 4,5 м в Вальтурно

водительностью в среднем шесть труб, или около 120 м^3 железобетона в сутки. Учитывая, что общая потребность для строительства составила 1139 труб, необходимое время для производства ограничивалось приблизительно 7—8 месяцами. Объем бетона только для изготовления труб составил 21 тыс. м^3 .

В связи с тем, что внутреннее давление в водоводе невелико, а внешние нагрузки ограничивались засыпкой траншеи гравелистым

грунтом высотой от 1 до 3 м, трубы изготовляли без предварительно напряженной арматуры. Общий расход стали в них составлял около 140 кг/м³. Производство было организовано в вертикальных металлических формах с вибрированием и последующим вакуумированием бетона, благодаря которому трубы можно было освобождать от форм по истечении часа после начала бетонирования.

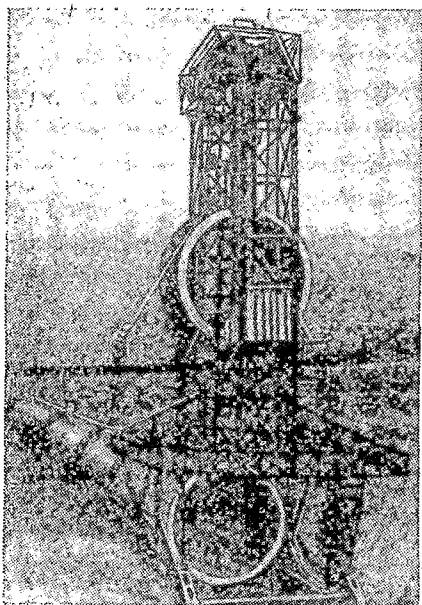


Рис. 108. Монтаж и укладка в траншее с помощью портального крана железобетонных напорных труб диаметром 4200 мм

Для удобства погрузки на складе и разгрузки на трассе трубы перевозили к месту укладки на специально сконструированных прицепных платформах небольшой высоты (рис. 107). На платформах трубы закрепляли с помощью сферических подкладок. Укладка таких железобетонных труб в траншее представляет значительные трудности. На строительстве водовода в Вальтурно монтаж осуществлялся с помощью мощного портального крана, передвигавшегося на катках по рельсовым путям, уложенным по дну траншеи.

Бетонное основание для труб готовили заранее. В шахту портального крана трубы с бровки подавали по металлическим конструкциям, подвешенным к опорам крана. Укладка труб в траншее показана на рис. 108.

Некоторые сравнительные показатели железобетонных труб, примененных на строительстве трех указанных объектов, приведены в табл. 37. Как и следовало ожидать, наибо-

Таблица 37

Технико-экономические показатели железобетонных напорных водоводов в Саверцене, Муконе и Вальтурно

Водовод	Конструкция железобетонных напорных труб	Гидравлическое давление в ат	Внутренний диаметр в см	Толщина стенки в см	Длина трубы в м	Объем железобетона на 1 пог. м в м ³	Расход стали на 1 м ³ железобетона			
							всего в кг	конструктивная арматура	высокопрочная проволока	стальной лист
В Саверцене	Со стальным цилиндром и предварительно напряженной спиралью	9—20	2550	19	4,5	1,64	216	—	124	92
В Муконе	С предварительно напряженной стальной арматурой	7,5—12	2700—2850	11—12	5,5	1,04	124	44	80	—
В Вальтурно	Без предварительно напряженной арматуры	0,6—2,1	4200	29	4,5	4,10	140	140	—	—

лее экономичное решение по расходу стали и бетона для конструкции труб с предварительно напряженной спиральной арматурой — без стального цилиндра.

Изложенные примеры строительства водоводов подтверждают, что даже для небольших по объему работ объектов с протяженностью трассы до 5 км оказалось экономически целесообразным строить местные небольшие, преимущественно полевого типа, предприятия по производству железобетонных напорных труб. Оборудование таких предприятий должно быть компактным и транспортабельным, чтобы при необходимости можно было быстро перебросить его на новый участок.

Глава VI

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ СПОСОБОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ

1. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Производство железобетонных труб центрифугированием было освоено в СССР в 30-х годах после больших экспериментальных работ, проведенных Академией коммунального хозяйства, ВОДГЕО и др.

В числе промышленных предприятий, построенных в эти годы для изготовления железобетонных труб методом центрифугирования, наиболее крупным является Бакинский завод с годовой производительностью первой очереди 20 км труб диаметром 600—1200 мм (полная проектная мощность завода — 40 км труб в год). Первая очередь завода была сдана в эксплуатацию в 1937 г. Центрифуги, установленные на заводе, имеют мощность привода 55 квт. При центрифугировании достигается значительная плотность бетона, причем водонепроницаемость напорных труб в первое время дополнительно обеспечивали устройством в стенках битумной прослойки толщиной 8 мм. Трубы выпускали длиной 4 м цилиндрические с жестким муфтовым соединением. Железобетонные муфты изготавливали также на заводе (без битумной прослойки). При укладке таких труб стыки заделывали смоляной прядью и чеканили цементом.

Железобетонные трубы с прослойкой применяли для сооружения водоводов с расчетным напором до 6 ат, причем отдельные образцы их выдерживали давление до 20 ат. Из труб диаметром 1200 мм были сооружены напорные дюкеры Баку-Шалларского трубопровода общей протяженностью более 80 км, дюкеры Самур-Дивичинского канала общей протяженностью около 30 км и др.

Изготовление труб способом центрифугирования для больших напоров стало возможным с развитием предварительно напряженного железобетона. Научно-исследовательские работы в этой области проводили в ЦНИИПСе, ВОДГЕО, Гипротисе. Был разработан и внедрен на заводе «Стройдеталь» № 5 в Москве способ центрифугирования железобетонных сердечников в неразъемных металлических формах с парафинированием (проф. В. В. Михайлов и др.), сконструирован станок для навивки предварительно напряженной спиральной арматуры (И. Г. Люлковский, А. Н. Попов и др.), предложен способ устройства гидроизоляционного защитного слоя для спиральной арматуры из расширяющегося цемента.

Изготовление цилиндрических труб диаметром до 600 мм и длиной 4 м в неразъемных формах осуществлялось на роликовых центрифугах. Формы для труб изготавливали из обычных стальных труб. Парафинирование (покрытие изнутри стенок формы расплавленным парафином) производили также способом центрифугирования.

Крупнейшие заводы для изготовления предварительно напряженных железобетонных труб по технологии, разработанной Гипростроммашем, построены в 1956—1958 гг. в Серпухове и Москве.

Серпуховский завод железобетонных труб рассчитан на изготовление 42 тыс. м³, или около 800 км цилиндрических труб в год, в том числе напорных труб диаметрами 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900 и 1000 мм — 21,5 тыс. м³. Длина труб 5 м. Проектом было предусмотрено доведение мощности предприятия до 50 тыс. м³, или до 1000 км труб

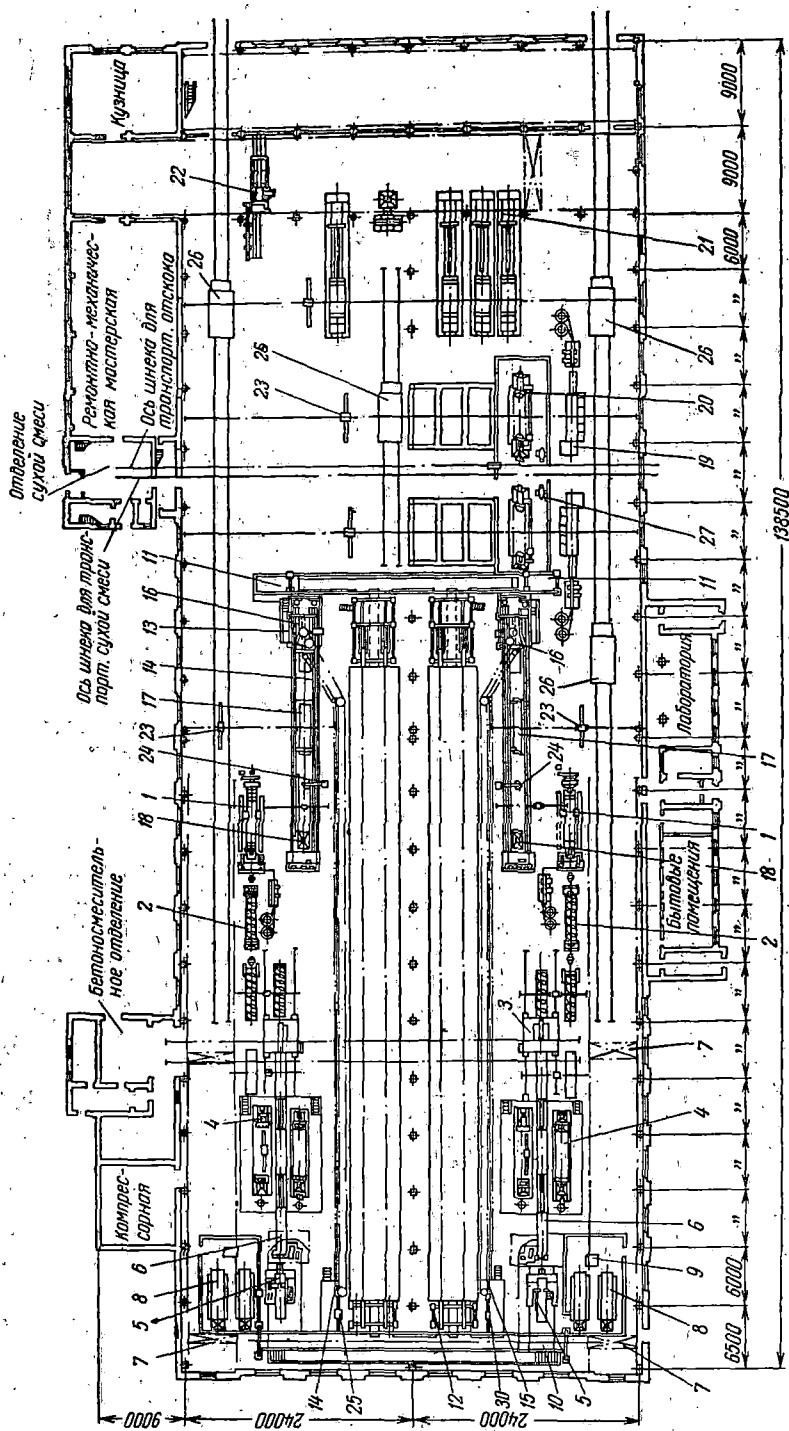


Рис. 109. План главного производственного корпуса Серпуховского трюбного завода

1 — арматурно-грубный станок; 2 — стел для крепления арматуры; 3 — станок для центрифугирования; 5 — самоходный кантователь; 6 — формовочный конвейер; 7 — кран для возврата форм; 8 — стел для мойки форм; 9 — моечная плунжерная машина; 10 — передаточная тележка поста сцепки; 11 — тележка передаточного моста расцепки; 12 — конвейер штанговых; 13 — цепной толкатель; 14 — откатчик цранный; 15 — откатчик левый; 16 — кантователь; 17 — самоходная тележка; 18 — стемник стержня; 19 — арматурно-навивочный станок; 20 — станок для нанесения защитного слоя; 21 — установка для гидравлических испытаний; 22 — станок для резки железобетонных труб; 23 — траверса для железобетонных труб; 24 — консольный стемник; 25 — досыпатель; 26 — самоходная тележка для транспортирования готовых изделий; 27 — цемент-пушка

в год. Напорные трубы намечалось выпускать для напоров 6, 8 и 10 ат. Отличительной особенностью завода является конвейерная технология, потребовавшая разработки нового оборудования для изготовления арматурных каркасов с предварительно напряженной продольной арматурой, для центрифугирования, для транспортирования свежестофор-

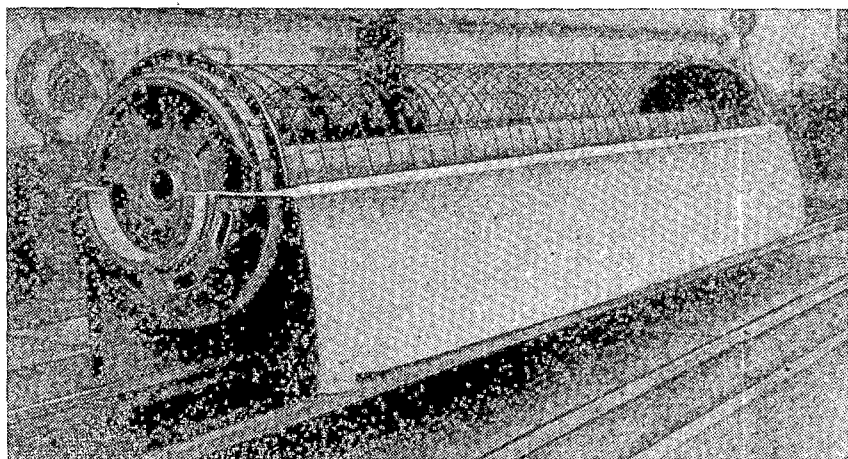


Рис. 110. Укладка арматурного каркаса в нижнюю полуформу трубы

мованных железобетонных сердечников. Сердечники изготавливаются в перфорированных формах, выстланных фильтрующим полотном для обеспечения немедленной распалубки.

Завод состоит из главного корпуса с бетоносмесительным цехом, складов цемента и заполнителей, лаборатории, котельной, ремонтно-

механического цеха и других вспомогательных сооружений. План главного корпуса показан на рис. 109.

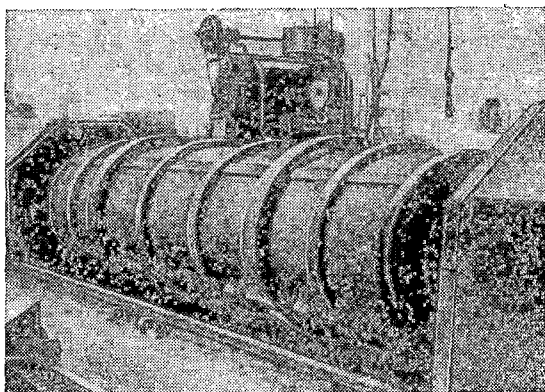


Рис. 111. Шпиндельная центрифуга ЦФТ-1000

Стержень-катушка с каркасом арматуры подается к нижней полуформе, на внутреннюю поверхность которой предварительно уложено тщательно промытое фильтрующее полотно (рис. 110). На посту формования бетонную смесь укладывают в полуформу бетоноукладчиком СМ-478 со шнековым питателем в точно отвешенном количестве для изготовления одного сердечника.

Водоцементное отношение бетонной смеси после центрифугирования снижается с 0,45—0,47 до 0,26—0,28. После укладки смеси нижняя полуформа скрепляется с верхней. Собрannую и загруженную бетонной смесью форму устанавливают на центрифугу.

Шпиндельные центрифуги ЦФТ-1000 (рис. 111) имеют две закрытые бабки, соединенные одна с разгонным электродвигателем и дру-

гая с рабочим, общей мощностью 115 квт. На время работы центрифуга закрывается защитным кожухом. После центрифугирования трубу распалубливают с помощью самоходного кантователя.

Перечень основного нетипового оборудования завода приведен в табл. 38.

Таблица 38

Перечень основного нетипового оборудования Серпуховского трубного завода

Оборудование	Тип модели	Количество	Вес в т	Установленная мощность в квт
Арматурно-трубный станок для труб диаметром 300—1000 мм	РТ-41	2	19	39,4
Бетоноукладчик для дозирования бетона с бункером емкостью 2,5 м³	СМ-478	2	4,6	2,4
Центрифуга для труб диаметром 300—1000 мм	ЦФТ-1000	4	40	137,9
Самоходный кантователь грузоподъемностью 8 т	—	2	16	4,4
Формовочный конвейер длиной 32,5 м, скоростью 0,1—0,12 м/сек	—	2	12	1,7
Арматурно-навивочный станок для напорных труб диаметром 300—1000 мм	РТ-42	2	8,6	20
Станок для нанесения защитного слоя	—	2	4,05	4,6
Испытательная установка	ИТ-1000	4	30,75	9,3
Станок для резки железобетонных труб на муфты (абразивный диск 800×10 мм)	ОС-61	1	23,5	36
Конвейер штанговый для камер прогрева	—	4	41,5	7
Бетонораздатчик подвесной	—	2	2,5	9,2
Пресс для испытания труб с усилием до 15 т	ПС-15	1	4,5	7
Формы для труб диаметром 300—1000 мм	—	72*	1,7—4,1	—

* По девять комплектов форм каждого диаметра.

Трубы в район укладки или к месту строительства доставляют автотранспортом на расстояние до 50 км и по железной дороге—до 250 км. При этом установлено, что стоимость транспорта в первом случае составляет от 7 до 10% от стоимости труб и во втором — от 3,5 до 5%.

Завод был предназначен обеспечивать железобетонными напорными и безнапорными трубами диаметром 300—1000 мм гражданское, промышленное и сельскохозяйственное строительство Московской области. В настоящее время на Серпуховском заводе железобетонные трубы изготавливаются преимущественно безнапорные.

Филевский завод в Москве построен по аналогичному проекту.

За время работы заводов в технологии был выявлен ряд недостатков: процесс центрифугирования бетонной смеси в закрытой с торцов форме требовал установки дополнительного разгонного двигателя, не давал возможности обеспечить заглаживание внутренней поверхности формируемой трубы и нанести на нее гидроизоляционный слой; немедленная распалубка сердечника, сопровождаемая толчками и ударами, кантование и транспортирование его в подвешенном виде в камеры пропаривания не гарантируют от сотрясения незатвердевший бетон, что вызывает образование трещин в стенках труб и ухудшает водонепроницаемость и прочность труб; тепловлажностная обработка в туннельных камерах непрерывного действия создавала неодинаковые ус-

ловия твердения для нижней и верхней части трубы в связи с тем, что температура по высоте камеры неодинакова; не были обеспечены изготовление раструбных труб и отделка их концов. Ряд недостатков был устранен в процессе освоения производства с участием научно-исследовательских институтов.

Предприятия для производства железобетонных труб центрифугированием по иным технологическим схемам построены за последние годы в ряде других городов: Киеве, Минске, Харькове, Вильнюсе, Челябинске, Березовске, Луганске и т. д. На некоторых из них изготовление труб ограничивается центрифугированием железобетонных сердечников, применяемых в качестве безнапорных труб больших диаметров, на других имеется законченный цикл трехступенчатой технологии для производства напорных труб.

Особое место занимает в их числе Челябинский завод железобетонных труб, располагающий оборудованием для изготовления напорных труб с предварительно обжатым защитным слоем.

В СССР на некоторых заводах применяется технология производства труб с помощью ременных центрифуг. Железобетонные напорные трубы по такой технологии изготавливаются на заводе в Минске.

Известны ременные центрифуги французской фирмы «Центритюб», однако изготавливаемые на них в нашей практике железобетонные трубы, во-первых, могли быть ограниченного диаметра в пределах 800 мм (при формовании труб большего диаметра бетонная смесь обрушивалась) и, во-вторых, из-за недостаточного уплотнения бетона такие трубы могли быть применены только в качестве безнапорных труб. Следует отметить, что при производстве безнапорных труб эти установки достаточно компактны, их можно быстро собирать и демонтировать, легко переносить с места на место и поэтому они рекомендуются для использования на передвижных полигонах, особенно в условиях организации производства труб в сельской местности. Металлические формы для таких центрифуг имеют значительно меньший вес, чем формы для роликовых центрифуг.

Институтом строительства и архитектуры АН БССР совместно с организациями Министерства строительства БССР были разработаны технология и оборудование для изготовления на ременных центрифугах железобетонных сердечников напорных труб диаметром до 1000 мм.

Для опытного производства напорных труб на заводе железобетонных изделий № 7 в Минске был построен отдельный цех для изготовления труб диаметром 500, 700, 900 и 1000 мм, длиной 4 м, выдерживающих рабочий напор до 6 ат. Цех состоит из соединенных транспортной галереей бетоносмесительного отделения и склада заполнителей, арматурной мастерской и главного корпуса с расположенными в нем технологическими постами: формовочным, тепловлажностной обработки, навивочным, для нанесения защитного слоя, испытательным и камерами водного твердения. К цеху примыкает склад труб. Здание цеха состоит из двух пролетов 9 и 18 м, длиной 73 м, обслуживаемых мостовыми кранами (рис. 112). Общая производственная площадь цеха 2230 м², в том числе арматурного 500 м².

Работа предприятия предусматривалась в две смены. В каждой из них занято по 37 человек, в том числе в формовочном отделении 24 человека. Общее количество занятых производством труб — 75 человек (из них один наблюдает в третью смену за тепловлажностной обработкой). Вес технологического оборудования, смонтированного в цехе, 95 т.

Основным оборудованием в цехе являются: две одновременно действующие ременные центрифуги, один станок для навивки предварительно напрягаемой спиральной арматуры, станок для нанесения за-

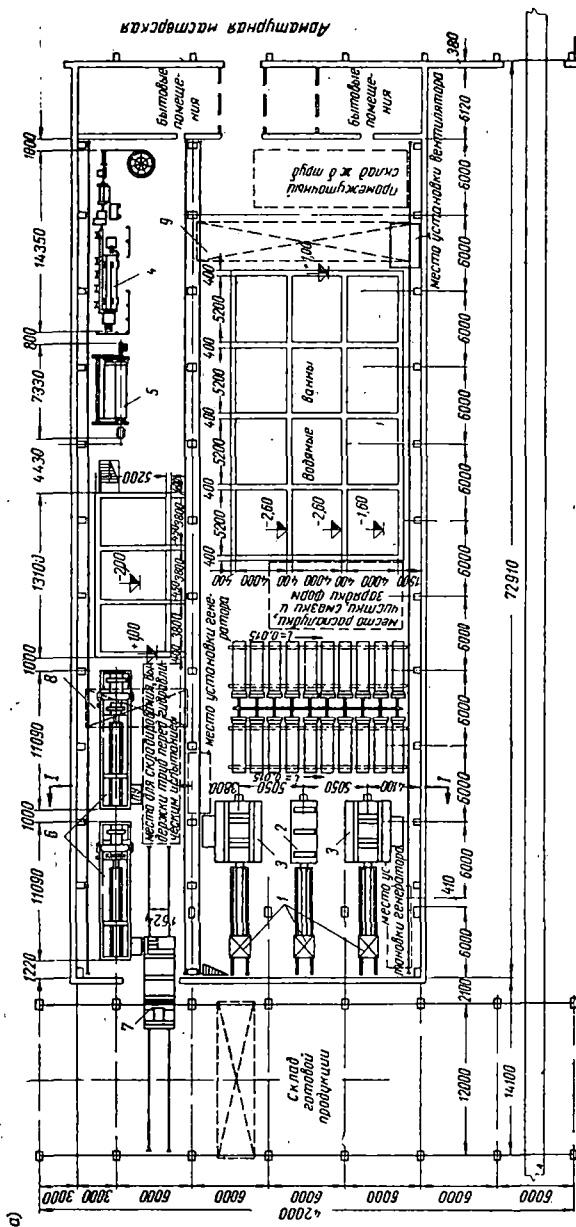
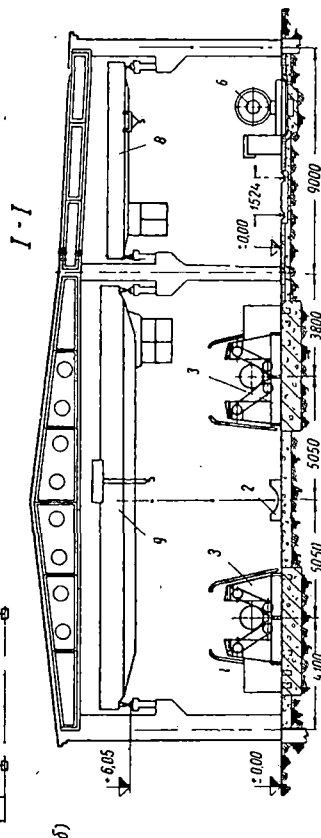


Рис. 112. Цех железобетонных напорных труб на заводе железобетонных изделий № 7 в Минске

а — план; б — разрез; 1 — транспортерный питатель; 2 — стенд для загрузки части бетона, образующей первый слой стенки трубы; 3 — ременные центрифуги; 4 — станок для навивки спиральной арматуры на железобетонный сердечник; 5 — установка для нанесения защитного слоя; 6 — установка для испытания труб гидравлическим давлением; 7 — самоходная тележка; 8 — кран-балка грузоподъемностью 6 т; 9 — мостовой кран грузоподъемностью 5 т



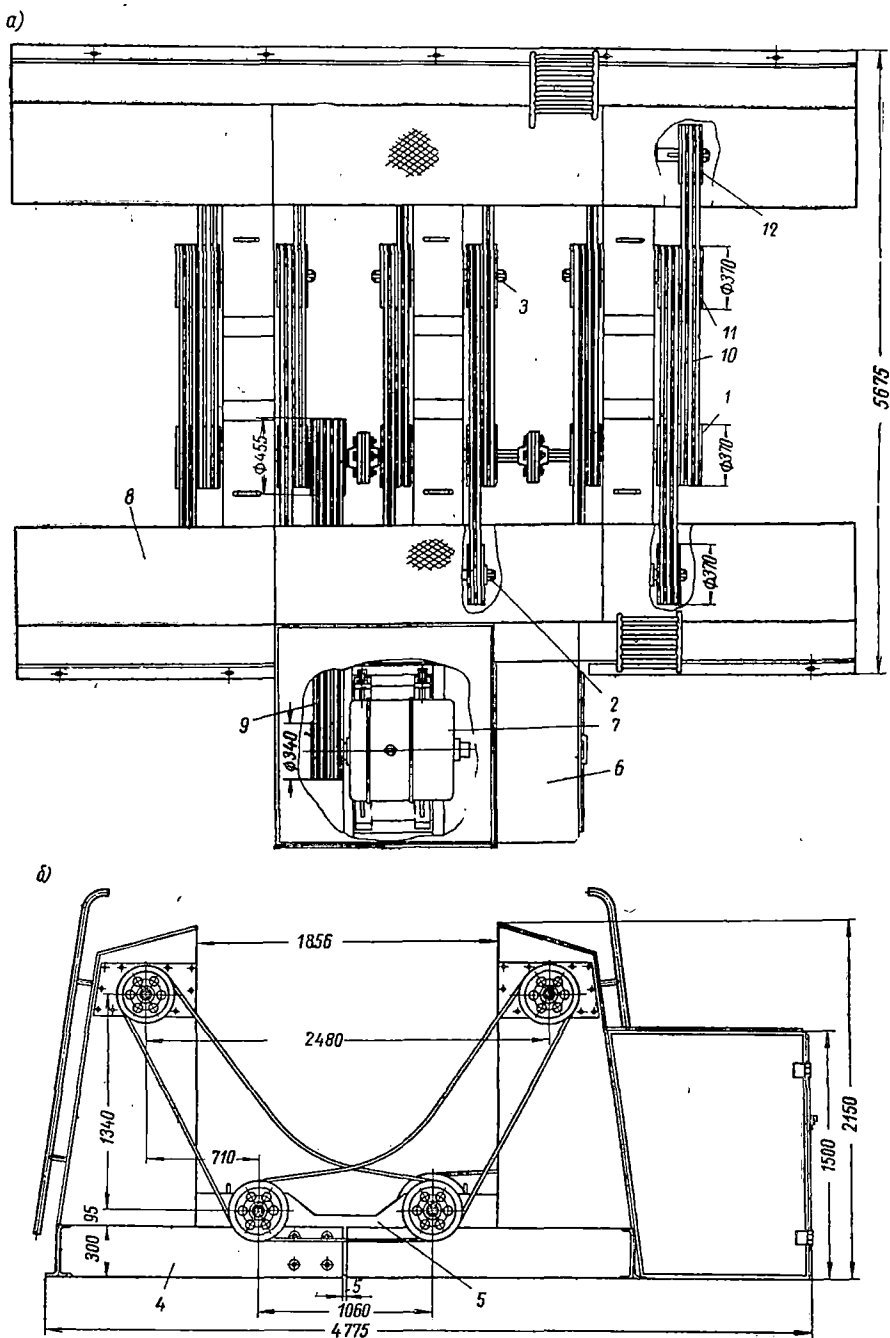


Рис. 113. Ременная центрифуга цеха железобетонных напорных труб в Минске

а — вид сверху; б — разрез; 1 — ведущий вал; 2 — поддерживающий вал; 3 — ведомый вал; 4 — каркас; 5 — кожух; 6 — ограждение главного привода; 7 — установка электродвигателя; 8 — шкаф для электрооборудования; 9 — ремни клиновидные, тип Г, $L=4500$ мм; 10 — то же, $L=6300$ мм; 11 — ведомый вал; 12 — поддерживающий вал

щитного слоя с помощью вибробункера и станок для испытания труб гидравлическим давлением.

Изготовлению железобетонных сердечников в процессе производства напорных труб отводится важнейшее место. При формировании трубы в ременной центрифуге типа «Центритюб» плотность и водонепроницаемость бетона стенок трубы, как уже указывалось, обычно получались недостаточно высокими, в связи с чем последние и применялись главным образом в качестве безнапорных труб.

Станки для центрифугирования, проектировавшиеся в тресте Оргтехстрой Министерства строительства БССР, предназначены для формирования железобетонных раструбных сердечников напорных труб диаметром от 500 до 1000 мм и длиной 4 м (рис. 113).

Техническая характеристика центрифуги следующая: длина 5 м, ширина 4,78 м, высота 2,15 м, вес 6 т; количество тексропных (клиновидных) ремней длиной по 6300 мм — 28 шт., их расположение по бандажам формы принято по схеме 6—4—4—4—4—6; максимальная скорость ремней 24 м/мин.

Привод станка типа Леонарда состоит из электродвигателя АҚ91-4 мощностью 75 квт, $n=1460$ об/мин, генератора тока П-92 мощностью 70 квт, $n=1450$ об/мин, возбудителя ПН 28-5 мощностью 2,5 квт, $n=1430$ об/мин и электродвигателя П-92 мощностью 70 квт, $n=1450$ об/мин.

Производительность станка при центрифугировании сердечников для напорных труб с послойным центрифугированием в 1,5—2 раза ниже, чем для безнапорных труб с однослойным центрифугированием, и составляет за 7 ч: при изготовлении труб диаметром 500 мм — 12 шт.; 700 мм — 9 шт. и 1000 мм — 7 шт.

Центрифуга собрана на жестком металлическом каркасе, в подшипниках которого смонтированы стальные валы с насаженными на них шкивами: на шкивах проточены ручьи для запасовки тексропных капроновых ремней. Ведущий вал, состоящий из двух соединенных втулочно-пальцевой муфтой частей, связан клиновидными ремнями с двигателем постоянного тока; регулировка натяжения этих приводных ремней осуществляется с помощью салазок, на которых установлен электрический двигатель. Так же как и приводной двигатель, вне центрифуги установлен так называемый трех-

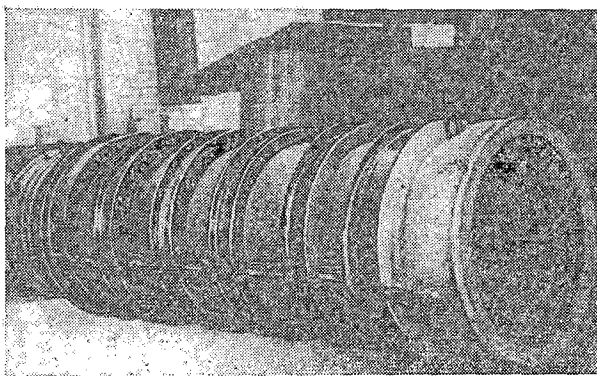


Рис. 114. Подготовленная форма для установки на ременную центрифугу

машинный агрегат, предназначенный для питания приводного электродвигателя постоянным током. Этот агрегат состоит из возбудителя, генератора постоянного тока и асинхронного электродвигателя, смонтированных на одной общей раме. При монтаже установки необходимо следить, чтобы оси валов были строго параллельны. Крепление шкивов на гладких валах выполнено с помощью клиновидных шпонок.

Изготовление железобетонного сердечника начинают с изготовления конструктивного каркаса арматуры, который затем укладывают в

очищенную и смазанную полуформу. Накладывают вторую половину формы и соединяют ее с нижней откидными болтами. По концам формы крепят торцовые кольца, образующие раструб и гладкий конец, на которые натягивают и предварительно напрягают продольную высокопрочную арматуру. Общий вид подготовленной формы показан на рис. 114.

На наружной поверхности формы расположено шесть дорожек для качения формы по ремням. Ребра их бортов одновременно служат ребрами жесткости. Необходимо следить за сохранностью дорожек во избежание появления на них шероховатости или заусенцев, которые могут привести к преждевременному износу ремней. Подготовленную форму поднимают мостовым краном и укладывают на ремни установки, после чего загружают бетонной смесью с помощью ленточного питателя. Форму с железобетонным сердечником переносят краном на пост пропаривания, оборудованный бетонными поддонами в виде гнезд в полу с подводкой пара, и устанавливают в вертикальном положении на одном из поддонов. Форму сверху закрывают крышкой и внутрь ее впускают пар. После пропаривания сердечника форму переносят на пост распалубки. Железобетонный сердечник, освобожденный из формы, погружают в водяную ванну, имеющую размер в плане $4 \times 5,2$ м, глубину 3,6 м. Сердечники укладывают в ванну в горизонтальном положении. Срок твердения в воде принят 3 суток.

Следующей технологической операцией является навивка высокопрочной арматуры на железобетонный сердечник. Натяжение высокопрочной проволоки при навивке осуществляют путем электронагрева. Во избежание перегрева высокопрочной проволоки спирали способ электронапряжения комбинировали с механическим натяжением: принято, что проволока напрягается за счет механического натяжения на 30—50%, остальное натяжение до заданной величины осуществляется за счет нагревания ее электрическим током до 300°C . В состав установки входят: навивочный станок, натяжное устройство, устройство для фиксации груза, бухтодержатель и пульт управления. Габариты установки: длина 17,7 м, ширина 3 м и высота 4,3 м. Общий вес 6,1 т. Для навивки применяют высокопрочную проволоку по ГОСТ 7348—63 диаметром 4 и 5 мм. Шаг спирали 12 и 24 мм.

Натяжное устройство представляет собой тарированный груз, подвешенный через систему изолированных роликов на высокопрочной проволоке, навиваемой на железобетонный сердечник. Груз перемещается по вертикали внутри П-образной металлической рамы, к которой прикреплены верхние ролики. Приспособление для фиксации натяжного груза — простейшее устройство в виде вращающегося диска, на котором сделаны 3 или 4 витка проволоки, идущей от бухтодержателя к навивочному станку. Диск укреплен на отдельной изолированной тумбе.

Для торможения навиваемой проволоки предусмотрено специальное тормозное устройство в виде двух рядов роликов, между которыми пропущена эта проволока. Силу трения проволоки о ролики можно регулировать, поджимая верхний ряд роликов к нижнему с помощью натяжного винта. Аналогичное устройство смонтировано в конструкции станка Людковского—Попова.

Установку железобетонного сердечника на навивочный станок производят мостовым краном. Сердечник опускают на поддерживающие ролики и закрепляют в планшайбах. Для этого в раструбную часть сердечника предварительно вставляют распорное кольцо, а на другой конец трубы надевают охватывающие металлические кольца.

Высокопрочную проволоку, предназначенную для навивки и предварительно распределенную по роликам, заправляют в каретку. Свободный конец ее закрепляют на железобетонном сердечнике.

Электронагрев проволоки начинают за полминуты до включения привода вращения сердечника и движения каретки. Шаг навивки по концам трубы на длину 150 мм принимают минимальным, основную часть навивают с расчетным шагом спирали.

Привод вращения сердечника, поступательное движение каретки и электронагрев выключают после завершения навивки одновременно, последний виток проволоки закрепляют на поверхности трубы и проволоку отрезают.

Проектная производительность навивочного станка в смену в среднем 14 труб диаметром от 500 до 1000 мм фактически не достигнута.

Для того чтобы обеспечить нагрев навиваемой проволоки до 300° С, длина нагреваемого участка должна соответствовать скорости прохождения проволоки через контакты. Однако практически, в связи с тем что один из контактов на каретке является подвижным (неподвижный контакт установлен на раме контргруза), длина нагреваемой проволоки во время навивки непрерывно меняется.

Непрерывное изменение электрического сопротивления нагреваемого участка вызывает колебание силы тока $[i=f(R^{-1})]$, а от этого в свою очередь зависит температура нагрева проволоки $[t=f(i^2)]$ и, следовательно, большее или меньшее обжатие трубы предварительно напряженной спиралью. Неравномерное обжатие может быть причиной брака напорных труб. Чтобы этого не случилось, в электрическую сеть должен быть вмонтирован реостат, автоматически выравнивающий силу тока на нагреваемом участке в зависимости от изменения его сопротивления.

Навитый сердечник освобождают из планшайб и передают краном на установку для нанесения защитного слоя. Эта установка имеет габариты в плане 7,1×3 м и по высоте 2 м. Общий вес ее 3,8 т. Установка состоит из стационарной части, включающей переднюю и заднюю бабки, и подвижной, на которой смонтирован узел формования, состоящий из бункера для раствора, уплотняющего ролика, профилирующего ножа и привода.

Цементно-песчаный раствор загружают в бункер, который можно передвигать вдоль трубы по направляющим, являющимся одновременно составной частью металлического каркаса подвижного узла формования. Когда железобетонный сердечник подготовлен к нанесению защитного слоя, к нему подводят узел формования таким образом, что секторный затвор бункера оказывается над щелью между трубой и уплотняющим роликом. При вращении сердечника раствор падает из бункера в зазор между поверхностью сердечника и профилирующим ножом. Уплотнение раствора в зазоре обеспечивается прессующим давлением, дополнительно создаваемым уплотняющим роликом, вращающимся со скоростью от 3,2 до 9,8 об/мин в зависимости от диаметра трубы, на которую наносят раствор. Толщину наносимого защитного слоя от 15 до 20 мм можно регулировать с помощью уплотняющего ролика и профилирующего ножа. Указанный способ является более экономичным, чем способ нанесения защитного слоя торкретированием благодаря тому, что нет потерь раствора.

Необходимо отметить, что описанная конструкция формирующего узла недостаточно совершенна. В частности, целесообразно формирующий бункер делать на всю длину трубы и формование защитного слоя производить с вибрированием; конструкция устройства должна обеспечивать одновременное формование защитного слоя на концах трубы.

После нанесения защитного слоя трубу переносят краном в одну из камер для тепловлажностной обработки. Окончательное твердение защитного слоя происходит в водной среде. Размер камеры 5,2×3,8 м, глубина 3 м.

Установка для испытания трубы гидравлическим давлением имеет габариты: длина 10,5 м, ширина 3 м и высота 1,9 м. Вес оборудования 13 т. Производительность в среднем 14 труб в смену. Потребляемая мощность 2,7 кВт, в том числе для привода к гидросистеме 1,7 кВт и привода механизма подкачки 1 кВт. Предельное давление в испытываемой трубе — 25 ат.

Склад труб оборудован железобетонной эстакадой с мостовым краном грузоподъемностью 10 т.

2. ПРОИЗВОДСТВО ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ФРАНЦУЗСКОЙ ФИРМЫ «БОННА»

Производство труб осуществляется центрифугированием, со стальным цилиндром, с предварительно напряженной или обычной спиральной арматурой. Благодаря высокому качеству, а также долговечности, подтвержденной обследованием действующих трубопроводов, эти трубы нашли применение на строительстве напорных водоводов в ряде стран.

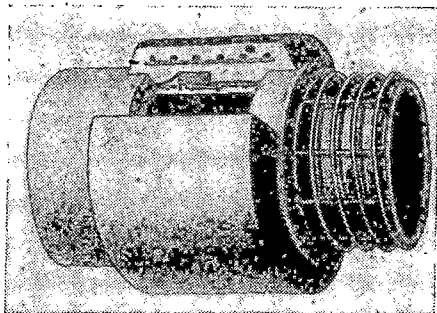
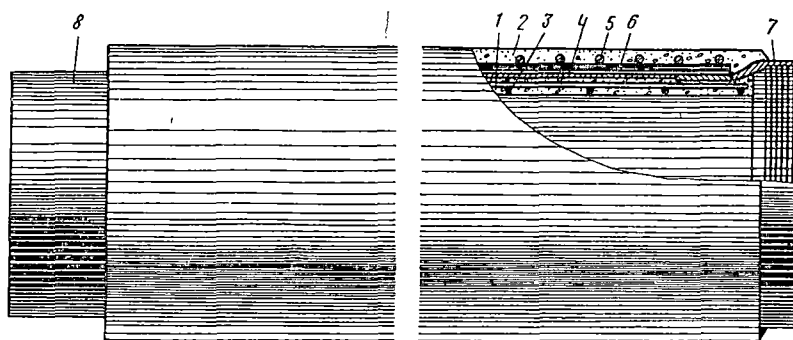


Рис. 115. Деталь железобетонной напорной трубы конструкции «Бонна» со стальным цилиндром (без предварительно напряженной арматуры) и стальным муфтовым соединением

1 — центробежный бетон (внутренняя часть трубы); 2 — вибрированный бетон (наружная часть трубы); 3 — стальной цилиндр; 4 — внутренний арматурный каркас; 5 — наружная спиральная арматура; 6 — наружная продольная арматура; 7 — раструбная металлическая обечайка; 8 — цилиндрическая металлическая обечайка

Трубы «Бонна» со стальным цилиндром состоят из следующих частей: сварного цилиндра с приваренными к нему металлическими концевыми обечайками для стыковых соединений; внутренней облицовки стального цилиндра из центрифугированного армированного или неармированного бетона и наружной облицовки — из вибрированного бетона, армированного спиральной и продольной арматурой.

Соединения труб применяют в основном муфтовые (двойная муфта) со шнуровой набивкой и свинцовой чеканкой, фланцевые (для присоединения фасонных частей) и с резиновыми прокладками — гибкие стыки.

Конструкции трубы и стыка показаны на рис. 115. Кроме обычных труб изготавливают и широко применяют на строительстве трубопроводов железобетонные фасонные части (колена, тройники, концевые части и т.д.). Эти элементы трубопроводов изготавливают аналогично основным трубам; фасонные части также состоят из стального сварного цилиндра соответствующей формы, центрифугированного армобетонного покрытия внутри и вибрированного армобетонного защитного слоя снаружи. Примеры фасонных железобетонных деталей, изготавливаемых заводом, показаны на рис. 116.

В случае укладки трубопроводов в агрессивной среде для изготовления труб применяют специальные цементы.

Трубы можно укладывать на грунт без какой-либо бетонной подготовки. Опыт эксплуатации показал, что благодаря стальному цилиндру утечка воды не наблюдается, в связи с чем отпадают эксплуатационные расходы на текущий ремонт трубопроводов.

Трубы изготавливают в основном диаметром от 300 до 2500 мм для напора до 14 ат и более. В табл. 39 приведена техническая характеристика серийно изготавливаемых труб.

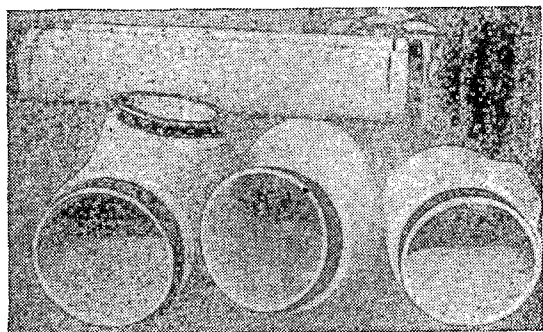
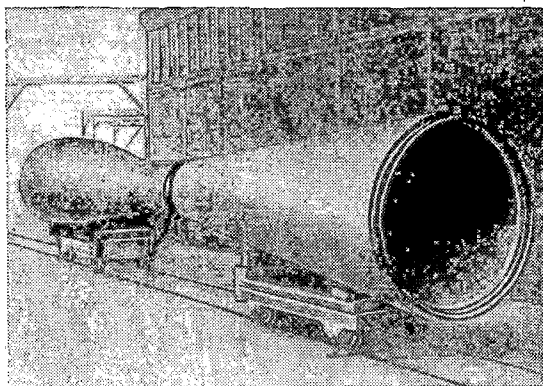


Рис. 116. Железобетонные фасонные детали труб конструкции «Бонна» со стальным цилиндром

Таблица 39

Техническая характеристика труб конструкции «Бонна»

Внутренний диаметр труб в мм	Толщина стенки в мм	Вес 1 пог. м трубы в кг	Длина труб в м	Внутренний диаметр труб в мм	Толщина стенки в мм	Вес 1 пог. м трубы в кг	Длина труб в м
150	44	70	5—8	900	75	600	5—8
175	44	80	5—8	1000	82	740	5—8
200	44	90	5—8	1100	85	870	4—7
250	50	125	5—8	1200	85	910	4—7
300	53	160	5—8	1250	88	980	4—7
350	53	180	5—8	1300	100	1170	4—7
400	53	200	5—8	1400	110	1390	4—7
500	58	270	5—8	1500	110	1470	4—5
600	60	300	5—8	1700	140	2140	4—5
700	65	440	5—8	1800	140	2260	4—5
800	70	500	5—8				

Примечание. Трубы диаметром 2000 мм и более изготавливают по специальным заказам.

Центрифугированные трубы «Бонна» диаметром от 200 до 1800 мм без стального цилиндра рекомендуются для применения в трубопроводах с напором до 3 ат.

Предварительно напряженные напорные трубы изготавливаются в настоящее время центрифугированием без стального цилиндра и со стальным цилиндром. Последние применяют при сооружении водоводов с напором до 28 ат и более. По данным предприятий фирмы, предварительно напряженные трубы обладают существенными преимуществами по сравнению с трубами прежней конструкции, и масштабы их

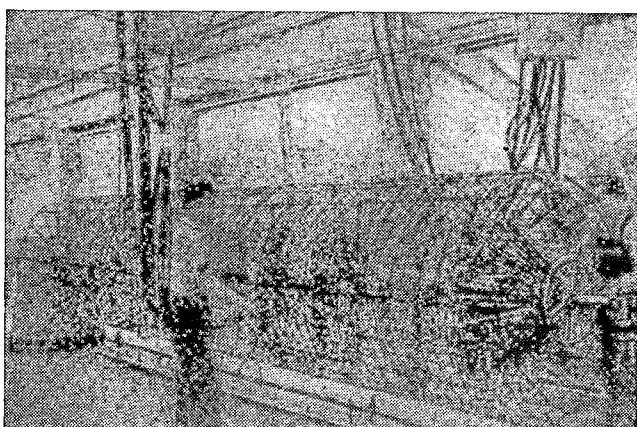


Рис. 117. Заготовка и сварка арматурного каркаса

применения растут; однако до сих пор широко используют и трубы старой конструкции.

Фасонные части для предварительно напряженных труб применяются те же, что и для труб без предварительного напряжения арматуры.

Технология производства труб состоит в следующем. Для изготовления цилиндров и концевых соединений применяют листовую сталь прочностью 35—45 кг/мм², толщиной в зависимости от диаметра трубы и гидравлического давления от 2 до 6 мм (например, для труб диаметром 800 мм с напором 10 ат применяют лист толщиной 2 мм). В целях сокращения до минимума отходов металла при заготовке цилиндров ширину листов принимают 1500 мм. Длина листов соответствует длине окружности цилиндра, в связи с чем при сварке каждой обечайки получается только один продольный шов. Продольные швы сваривают на сварочной машине (130 а, 220 в). Длина консоли сварочной машины достигает 2 м. При сварке обечайки последнюю навешивают на консоль и в шов, расположенный на консоли, закладывают электрод длиной 1,5 м со специальной обмазкой. Диаметр электрода принимают равным двойной толщине листа свариваемой обечайки. Сварку производят автоматически на всю длину шва путем опускания контактного прижима. Заготовленные обечайки цилиндра сваривают между собой сварочным полуавтоматом (трактором), вращая их со скоростью 0,2—0,25 м/мин. К стальному цилиндру приваривают соединительные стальные кольца из листа толщиной 5—8 мм, сечением от 100×5 до 280×8 мм.

При изготовлении раструбных труб соединительным кольцам придают специальный профиль с помощью клиновидного пресса. Сваренное кольцо из листовой стали шириной, равной глубине раструба, надевают на бандаж пресса и штампуют (до разрыва по сварке), после

чего приваривают по контуру к стальному цилиндру. Изготовленный цилиндр проверяют на растяжение гидравлическим давлением с доведением напряжения в стенке цилиндра до 16 кг/мм^2 . Стальной цилиндр с концевыми обечайками укладывают на тележку и направляют в цех бетонирования сердечников. Для сохранения правильной формы цилиндра внутри его на каждом стыкованном шве через 1,4—1,5 м устанавливают распорные кольца с двухходовой муфтой.

При необходимости армирования бетона с наружной и внутренней сторон цилиндра укладывают два арматурных каркаса, которые

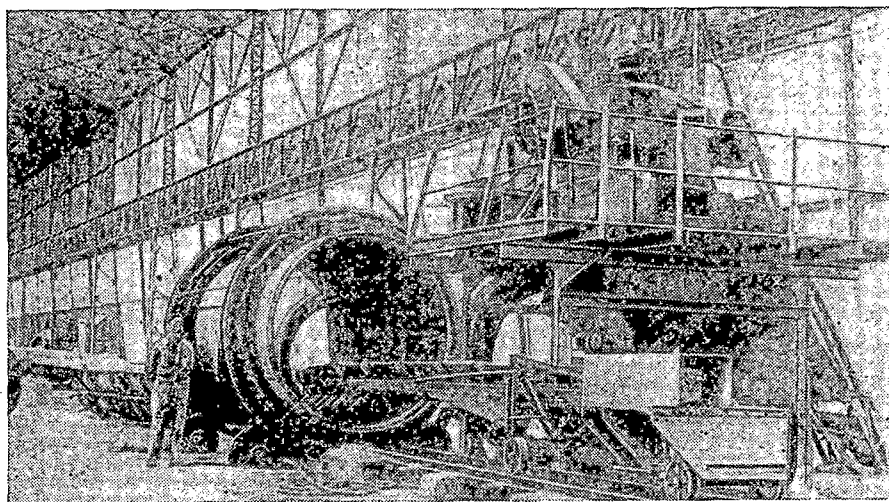


Рис. 118. Установка для центрифугирования с подготовленной формой для труб диаметром 2450 мм

заготавливают на специальной установке, сваривают сварочными клещами (рис. 117) и укладывают внутрь цилиндра. Наружный каркас для труб больших диаметров собирают на поверхности цилиндра и закрепляют с помощью специальных закладных деталей. В некоторых случаях арматуру в отдельных местах прихватывают к цилиндру точечной сваркой.

Диаметр и количество продольных стержней и шаг спиральной арматуры определяют в соответствии с размерами трубы и расчетными нагрузками (например, продольная арматура для труб диаметром 800 мм состоит: с внешней стороны из 20 стержней диаметром 12 мм и с внутренней — из 10 стержней диаметром 5 мм).

В металлическую форму заправляют стальной цилиндр с навитой на него спиральной арматурой и уложенной внутрь арматурной сеткой. Для того чтобы точно выдержать в дальнейшем толщину наружного слоя бетона, между каркасом внешней арматуры и внутренней поверхностью формы располагают металлические прокладки уголкового сечения. Для обеспечения монолитности наружного слоя бетона в стенках прокладок по высоте предусмотрены вырезы. Собранный форма поступает на роликовую центрифугу, где образуется внутренняя часть трубы толщиной 30 мм. Отжимаемая в процессе центрифугирования к внутренней поверхности трубы избыточная вода отводится из формы. Общий вид установки показан на рис. 118.

По окончании центрифугирования форму перемещают на стенд для пропаривания и устанавливают в вертикальное положение. Сверху фор-

му закрывают металлической крышкой или брезентовым чехлом, а в нижнюю часть ее впускают пар, который подводят по шлангам диаметром 15 мм. Бетонную смесь в форме пропаривают в течение 3 ч при температуре 80—85° С. На этом же стенде обычно укладывают с вибрированием бетонную смесь внешней части сечения трубы (например, для трубы диаметром 800 мм толщину внешнего слоя бетона принимают 40—50 мм). Формование обычно продолжается 20—25 мин. Бетонную смесь уплотняют четырьмя вибраторами, укрепленными на равном

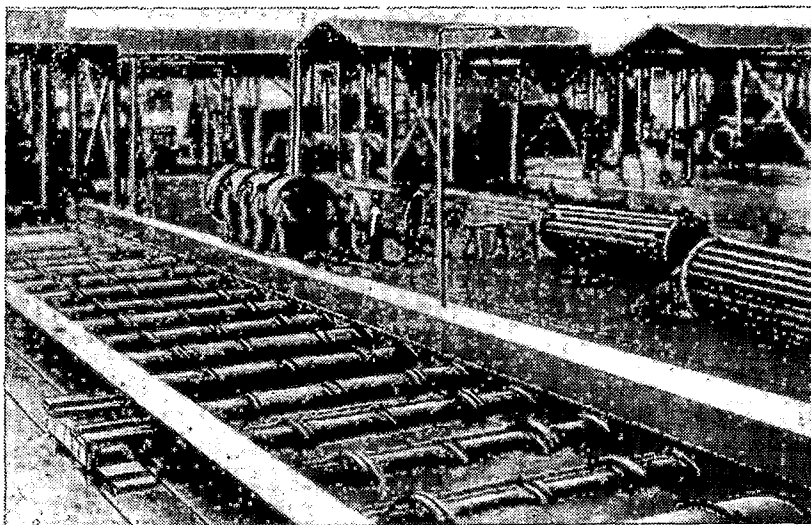


Рис. 119. Изготовление труб в полевых условиях. Твердение труб в водяной ванне

расстоянии друг от друга по высоте формы. Вибраторы включают последовательно снизу вверх по мере заполнения формы бетоном; таким образом, вибратор № 1 работает 20—25 мин, а вибратор № 2 только 5—6 мин. На заводе используют вибраторы фирмы «Вибратор Ваккер» (ФРГ) с двигателем мощностью 2,7 квт и 9000 кол./мин.

Для наружной части сечения труб применяют бетон марки 500 следующего состава по весу: цемент — 400 кг; песок мытый влажный с модулем крупности 1,5—900 кг; гравий с крупностью зерен до 10 мм — 900 кг; $B/C=0,5$. На других предприятиях фирмы применяют также бетон марки 350 (прочность через 7 суток — 250 кг/см²) с $B/C=0,33$. В этом случае применяют заполнитель: песок с крупностью зерен 0,1—3 мм и гравий двух фракций 3—8 и 8—15 мм. Частицы песка менее 0,1 мм допускаются в количестве до 2%. Для труб больших диаметров допускают применение более крупного заполнителя. Если используют щебень, то его тщательно промывают. Песок применяют горный, речной и морской. В последнем случае не допускают включения ракушечника и примесей лёсса. Установлено, что имеющееся в песке небольшое содержание соли не снижает качества бетона.

Наружный слой бетона пропаривают на месте изготовления труб в течение 4 ч, в результате чего он приобретает прочность не менее 50% проектной. Затем трубы обрабатывают и отправляют на склад, где они приобретают дополнительную прочность. В странах с сухим климатом трубы погружают для твердения в ванну с водой. На рис. 119 показана полевая установка для центрифугирования, пропаривания и твердения труб «Бонна», изготавливаемых в условиях жаркого климата.

При изготовлении напряженно-армированных труб высокопрочную проволоку навивают с предварительным напряжением на станках, подобных применяющимся на полигоне в г. Рустави.

В последнее время на заводе фирмы «Бонна» выпускают трубы со стальным цилиндром, в которых внутренний слой бетона заменен битумным, наносимым также центрифугированием. Битумный слой наносят следующим образом: битум подогревают до 200°C и затем подают во вращающуюся на центрифуге форму по трубам под давлением 1,25—1,5 ат, создаваемым компрессором. Форма совершает при этом 300 об/мин. Для лучшего распределения битума по внутренней поверхности стального цилиндра в форму одновременно с распылителем битума вводят газовую горелку.

Склады труб на заводах оборудованы крановыми эстакадами. На рис. 120 показан склад труб на предприятии в Рио-де-Жанейро с железобетонной крановой эстакадой для труб диаметром более 1500 мм.

Трубы небольших диаметров к месту укладки транспортируют по четыре трубы на автомашинах с прицепом, больших диаметров — по одной трубе на платформах мощных грузовиков.

При перевозке труб больших диаметров их обязательно раскрепляют изнутри инвентарными распорками. Трубы развозят вдоль трассы и укладывают автокраном в заранее вырытую траншею. В стенках траншеи в местах устройств стыковых соединений для удобства работы устраивают ниши. Естественное основание перед укладкой трубопровода выравнивают; практикуется укладка труб не только на мягкий грунт, но и на жесткое каменное основание.

Для стыкования труб применяют различные типы соединений, поскольку к стальному цилиндру трубы при ее изготовлении можно приварить металлические элементы соединений разных конструкций:

а) гибкое раструбное соединение, с уплотняющей прокладкой из резинового кольца и заделкой стыка снаружи цементным раствором;

б) жесткое раструбное соединение с уплотнением стыка сначала джутовой



Рис. 120. Склад труб больших диаметров на предприятии в Рио-де-Жанейро

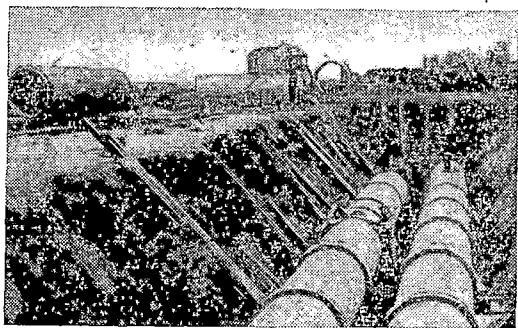


Рис. 121. Устройство железобетонных монолитных муфт в стыковых соединениях при укладке трубопровода в Дьепедалле

прядью, а затем одним-двумя витками свинцовой трубки с джутовым наполнением и последующим устройством железобетонной муфты, изготовляемой на месте в инвентарной опалубке. Арматуру муфты

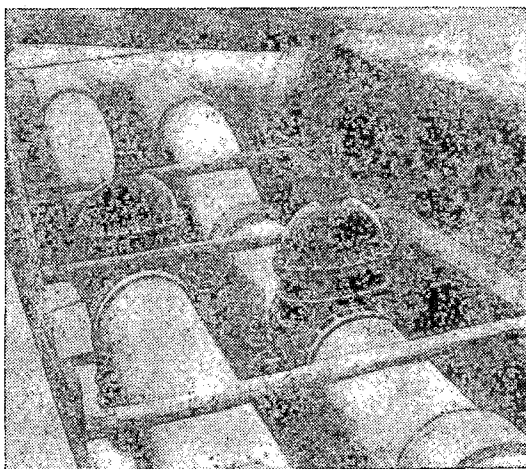


Рис. 122. Устройство ответвлений в железобетонном напорном трубопроводе с укладкой фасонных частей труб и металлических задвижек на фланцевых соединениях

устанавливают заранее при укладке трубы в траншею. Устройство железобетонных муфт в траншее при сооружении трубопровода в Дьеппедалле показано на рис. 121;

в) жесткое соединение, состоящее из сварных встык автогенной сваркой металлических труб; в этом случае из наружного бетонного слоя делают выпуски арматуры, которые сваривают и связывают между собой, образуя каркас железобетонной монолитной муфты;

г) фланцевые соединения главным образом для присоединения к металлическим деталям или фасонным частям трубопровода (рис. 122).

В трубопроводах больших диаметров после заделки стыков снаружи цементным раствором заделывают швы изнутри для защиты металлических деталей и обеспечения совершенно гладкой внутренней поверхности трубопровода.

Если строительство осуществляется в местностях с резкими изменениями температуры, принимают меры для быстрого заполнения трубопровода водой, испытания и засыпки грунтом с тщательным уплотнением его вибрированием в пазухах. Условия испытания трубопроводов различны, так как они устанавливаются обычно заказчиками. Требования к испытываемому трубопроводу также зависят от места его укладки. Естественно, что при испытании не допускается какой-либо утечки воды или деформации трубопровода.

3. ОПЫТ ПРЕДПРИЯТИЯ «ЦЮБЛИН» (ФРГ) ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

В технической литературе встречаются сообщения о том, что на предприятии «Цюблин» в Кельн-Рейн с 1910 г. изготовлялись железобетонные напорные трубы, рассчитанные на давление до 4,5 ат. Однако промышленное производство труб «Цюблин» началось только в 1925 г. Первый крупный трубопровод с рабочим напором до 10 ат из предварительно напряженных центрифугированных труб диаметром 700 мм был сооружен в 1931 г. близ Праги в Чехословакии.

Процесс производства предварительно напряженных напорных труб по технологии, применяющейся на современных предприятиях «Цюблин», состоит из трех основных операций: изготовления центрифугированием железобетонного сердечника с одинарной или двойной конструктивной арматурой и при необходимости с продольной предварительно

напряженной арматурой; навивки предварительно напряженной спиральной арматуры и нанесения на спираль защитного слоя из цементного раствора. Обычно первый процесс и два последующих выполняют в самостоятельных пролетах общего производственного корпуса. В этом же корпусе расположены бетономесительная установка и цех подготовки арматуры.

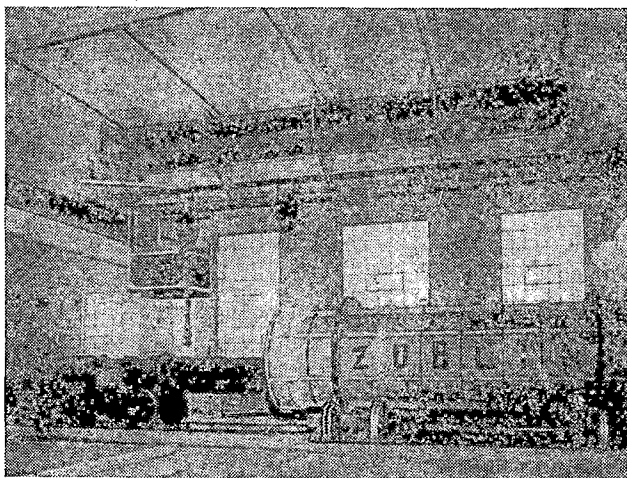
Стандартное оборудование фирмы обеспечивает изготовление предварительно напряженных труб диаметром 300; 400; 500; 600; 700; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800 и 2000 мм, длиной от 5 до 6 м с раструбными соединениями. Глубина раструба для труб диаметром 300—700 мм составляет 120 мм, для труб диаметром от 800 до 2000—150 мм.

Завод, оборудованный двумя центрифугами для изготовления труб диаметром 300—1400 мм и 800—2000 мм, может изготавливать 30 тыс. м³, или около 75 км, труб различных диаметров в год. Для каждого диаметра труб предусмотрен комплект металлических разъемных форм.

Заготовленную в виде одинарного или двойного каркаса конструктивную арматуру подают со склада мостовым краном и укладывают в полуформу; затем форму закрывают и устанавливают на центрифугу. Продольную арматуру натягивают на форму.

Бетонную смесь готовят в двух бетономешалках емкостью 250 и 500 л. В первой готовят раствор для нанесения защитного слоя, а во второй — бетонную смесь для сердечника. Для приготовления бетонной смеси применяют пять фракций заполнителя. Как цемент, так и заполнители поступают в смесительный барабан дозированными по весу. Управление распределением и укладкой бетонной смеси осуществляется с общего командного пункта. Бетон подают в форму ложечным питателем. Ковш питателя имеет длину 6 м, соответствующую длине трубы, укреплен на подвижном лафете с приводом мощностью

Рис. 123. Общий вид установки для центрифугирования при изготовлении труб диаметром 2000 мм



3,5 квт и перемещается по направляющим длиной около 15 м. Бетонную смесь загружают равномерно по длине ковша из бункера емкостью 8 м³, подвешенного к несущим конструкциям цеха. Выгружают смесь в форму с помощью поворотного ручного привода. Вес указанного оборудования и конструкций составляет около 10 т.

Центрифугирование производят при тщательном контроле тахометром количества оборотов формы. Станок роликового типа для изготовления сердечников труб диаметром 300—1400 мм приводят во враще-

ние электродвигателем переменного тока мощностью 40 квт. Вес станка вместе с силовым приводом около 8 т. Аналогичный станок для изготовления сердечников труб диаметром 800—2000 мм приводят во вращение электродвигателем мощностью 55 квт. Вес станка около 9,5 т (рис. 123).

После центрифугирования сердечник в форме переносят краном на промежуточный стенд, где из формы удаляют вкладыши, образующие

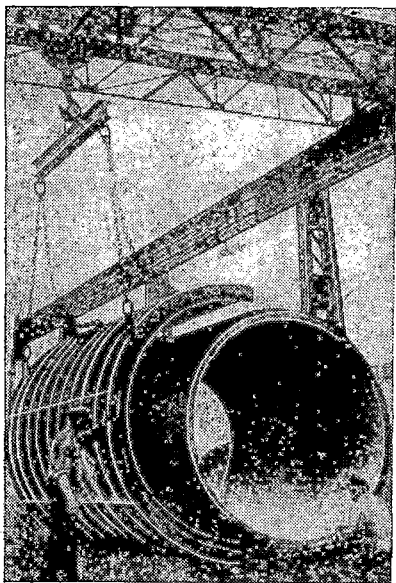


Рис. 124. Стенд для расплубливания железобетонных сердечников

концы раструбного соединения трубы, и обрабатывают их. Затем сердечники в течение 6—7 ч пропаривают в камерах твердения при температуре около 70° С. Из камер трубу перемещают на стенд для снятия форм (рис. 124). Сердечник освобождают из форм мостовым краном грузоподъемностью 20 т. Таких кранов на заводе два.

Для изготовления сердечников разных диаметров создан парк металлических разъемных форм соответствующих размеров. Формы оборудованы концевыми кольцами для восприятия натяжения от продольной арматуры и вкладышами для образования раструба. Комплект состоит из 10 форм для труб диаметром от 300 до 700 мм, из 8 форм для труб диаметром от 800 до 1400 мм и из 6 форм для труб диаметром от 1600 до 2000 мм.

Навивка напряженной спиральной арматуры, испытание труб и нанесение на них защитного слоя выполняются в другом отделении цеха.

Этим операциям подвергаются только те железобетонные сердечники труб, которые предназначены для больших напоров и изготовлены с продольной напряженной арматурой. Перед навивкой напряженной спирали сердечники моют и чистят стальными щетками, а затем с помощью мостового крана транспортируют к навивочной установке. Для навивки применяют проволоку диаметром до 5 мм с пределом прочности 180 кг/мм². Шаг спирали и натяжение проволоки строго контролируют приборами.

После окончания навивки трубы (без защитного слоя) испытывают кратковременным гидравлическим давлением. Для этого мостовым краном их перемещают к испытательной установке и устанавливают на стенде. Внутри трубы помещают металлический сердечник, внешний диаметр которого немного меньше внутреннего диаметра трубы. В узкое пространство между стенками трубы и сердечником нагнетают воду; испытание производится под гидравлическим давлением до 25 ат.

В комплект оборудования стенда входят: четыре вагонетки шириной колеи 1200 мм для подвозки труб, два упора для восприятия нагрузок при испытании, две запирающиеся крышки для концов труб, ручной насос и манометры. Общий вес оборудования и конструкций испытательной установки для труб всех диаметров около 15 т.

Трубы, выдержавшие испытание, переносят краном в отделение для нанесения защитного слоя. Раствор в это отделение подают из малой растворомешалки системой ленточных транспортеров общей длиной

75 м. Раствор из передвижного бункера с силой наносят на поверхность медленно вращаемой трубы и уплотняют при помощи центробежной установки. Эту установку вместе с передвижным бункером перемещают вдоль трубы, равномерно покрывая раствором ее поверхность. Толщину защитного слоя строго ограничивают специальным устройством и излишек раствора срезают ножом, который одновременно служит и для заглаживания оштукатуриваемой поверхности трубы. Толщина защитного слоя принята 15—20 мм.

Вращение трубы в планшайбах осуществляют электродвигателем мощностью 5 квт. У центробежной турбины предусмотрен двигатель мощностью 2 квт и продольный ходовой механизм с ручным приводом. Общий вес оборудования для установки из трех агрегатов около 28 т.

Для твердения защитного слоя трубы пропаривают вторично в течение 6 ч при температуре 60°С, после чего их перевозят на грузовой платформе на склад готовой продукции, обслуживаемый порталным краном пролетом 20,5 м, грузоподъемностью 20 т (рис. 125). До перевозки труб к месту укладки рекомендуется выдерживать их на складе дополнительно 1—2 суток.

На заводе смонтирована установка для механического испытания труб раздавливанием сосредоточенной нагрузкой 100 т. Гидравлическое давление для создания нагрузки составляет до 250 ат.

На предприятиях «Цюблин» осуществлен интересный эксперимент по изготовлению центрифугированием трубчатых элементов диаметром 750 мм, длиной 36 м. Установка предназначена для производства пустотелых свай длиной 36 м, однако может быть использована и для изготовления длинномерных железобетонных труб.

В качестве одного из примеров применения железобетонных напорных труб «Цюблин» можно указать на сооружение водовода диаметром 620 мм, длиной 1164 м вблизи Гаттельдорфа. Трубы, изготовленные на заводе в Кельн-Рейн с предварительным напряжением арматуры, были рассчитаны на рабочее давление 16 ат, испытательное на заводе 25 ат и на нагрузку от засыпки грунтом высотой 3 м, считая до верха трубы. При испытании до полного разрушения трубы выдержали давление 31 ат.

Трубы диаметром 620 мм и длиной 3,65 м были выполнены с толщиной стенок центрифугированного сердечника 60 мм и защитного слоя—15 мм. Железобетонные сердечники изготовляли центрифугированием с конструктивной арматурой. Продольную предварительно на-

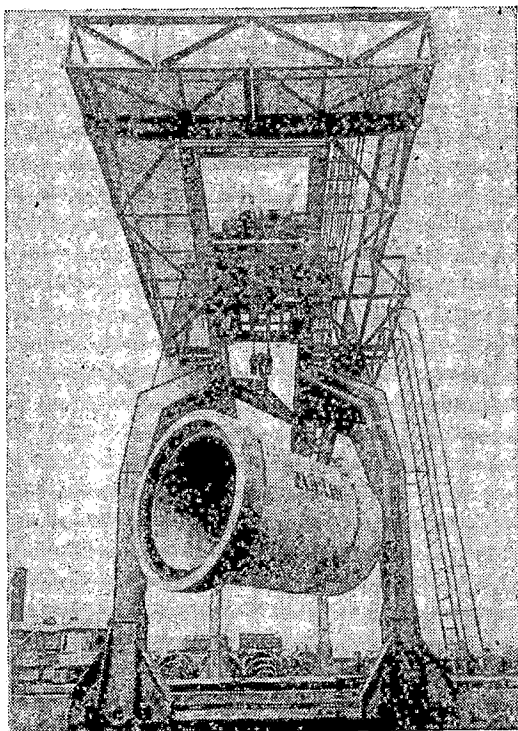


Рис. 125. Транспортирование порталным краном грузоподъемностью 20 т трубы диаметром 2000 мм, весом 10 т на склад готовой продукции

пряженную арматуру применяли из стали с пределом прочности 135—150 кг/мм^2 и спиральную диаметром 3 мм с пределом прочности 180 кг/мм^2 .

Трубы укладывали с гибкими стыковыми соединениями. Уплотнение стыков осуществлялось резиновыми кольцами U-образного сечения. Резиновое кольцо укладывали в специальную выемку в торце трубы с U-образным вырезом; под действием гидравлического напора губки кольца расходятся и прижимаются к бетону с силой, пропорциональной напору воды. Уплотнительные кольца изготовляли из натуральной каучуковой резины с показателями: твердость по Шору — 44, прочность на разрыв — 175 кг/см^2 , удлинение при разрыве — 660%, упругость при отскакивании 61—63%.

Трубы перевозили к месту укладки тягачами и двухколесными прицепами и раскладывали вдоль будущей траншеи. На дно траншеи укладывали гравийно-щебеночную смесь для устройства подготовки под трубы и осушения траншеи. Трубы укладывали при помощи треног. Длина труб 3,65 м была выбрана из соображений удобства перевозки и укладки труб в местных условиях, хотя возможно их изготовление длиной до 8 м.

После окончания строительства трубопровод испытывали отдельными участками под давлением до 21 ат. В целом трубопровод был испытан в течение 24 ч под давлением 18 ат. В первое время происходило особенно значительное впитывание воды бетонными стенками, в связи с чем потеря давления в трубопроводе не учитывалась и напор поддерживался подкачкой. Утечка воды на 1 м^2 смачиваемой внутренней поверхности труб в течение часа допускалась (по Марквард) 0,15 л. Фактически при 24-ч испытании давлением 18 ат утечка была только 0,0159 л/ м^2 , или в 9 раз меньше.

Строительство трубопровода было начато осенью 1954 г. и закончено летом 1955 г. Сооруженный водовод работал при наиболее высоком напоре из всех строившихся до этого времени в стране трубопроводов из предварительно напряженных железобетонных труб.

4. ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ТРУБ НА ЗАВОДЕ В БУДАПЕШТЕ

Производство раструбных напорных труб на Будапештском заводе железобетонных изделий № 1 было организовано в отдельном цехе площадью 2700 м^2 . Оборудование цеха, обеспечивающее производство железобетонных труб, поставлено швейцарской фирмой «Хундигер». Железобетонные сердечники изготовляют в двух центрифугах осевого действия: № 1 — для труб диаметром от 300 до 900 мм и № 2 — от 900 до 2000 мм. Длина труб диаметром от 300 до 1060 мм — 366 см, от 1200 до 2000 мм — 244 см. Толщина стенок соответственно указанным диаметрам 4—7,3 и 7,9—15 см. Вес труб от 0,45 до 7,4 т.

Пролеты цеха оборудованы мостовыми кранами грузоподъемностью 5 и 10 т. В цехе три пролета по 10 м. Два из них предназначены для формования и выдерживания сердечников, третий — для изготовления арматурных каркасов, навивки напряженной спирали и складирования форм. В этом же цехе приготавливают и бетонную смесь в двух бетономешалках принудительного действия емкостью по 250 л. Заполнители — песок с крупностью зерен 0—1 мм и щебень фракций 1—5; 5—10 и 10—20 мм — дозируют по объему, цемент марки 500 — по весу. Расход цемента доходит до 700 кг/м^3 . Водоцементное отношение поступающей в центрифугу смеси 0,46.

Приготовленную бетонную смесь подают из бетономешалок в расходные бункера, расположенные по оси центрифуг и их питателей (рис. 126), при этом затворы бункеров по ширине соответствуют ширине щели в ложках питателей. Бетонная смесь подается в форму, вращающуюся на центрифуге. Последняя состоит из двух самостоятельных планшайб, одна из которых является приводной. Центрифугу для изготовления труб диаметром 300—900 мм приводят во вращение два электродвигателя мощностью по 40 кВт. Более мощную центрифугу для изготовления труб диаметром 900—2000 мм вращают два электродвигателя мощностью по 60 кВт. Обороты центрифуг в пусковой и рабочий периоды регулируют с помощью контроллеров.

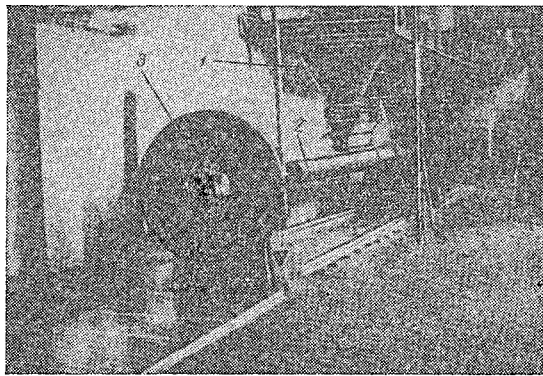


Рис. 126. Расходный бункер для бетона и ложечный питатель

1 — расходный бункер; 2 — ложечный питатель; 3 — задняя планшайба центрифуги

Железобетонные сердечники изготавливают в разъемных металлических формах, скрепляемых между собой болтами. После сборки форму подают мостовым краном к центрифуге и закрепляют болтами и планшайбами. Приводная планшайба каждой центрифуги устроена так, что может перемещаться на фундаментной раме. Благодаря возможности увеличения или сокращения расстояния между планшайбами (рис. 127) на одной центрифуге можно изготавливать

трубы разной длины. Планшайбы переставляют мостовым краном с последующим закреплением их болтами к фундаментной раме.

Свежеотформованный сердечник вместе с формой перемещают мостовым краном на стенд для твердения бетона, где устанавливают в вертикальное положение раструбным концом вниз и освобождают от формы. На площадке трубу выдерживают 24 ч при непрерывной поливке водой, затем переносят мостовым краном на другое место.

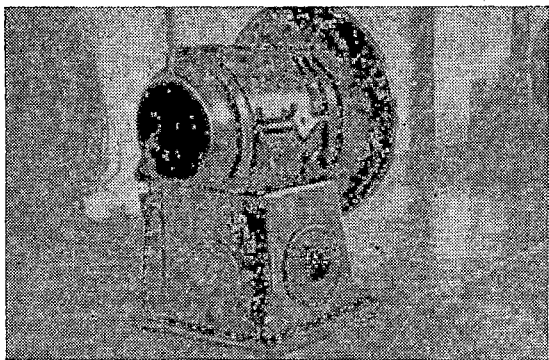


Рис. 127. Переставная бабка центрифуги с приводной планшайбой

Часть цеха занимает площадка для выдерживания труб без подкладного кольца, на которой отформованные железобетонные сердечники хранят от 5 до 6 суток при непрерывном увлажнении, затем их направляют на открытый склад, где хранят не менее суток, поливая водой из шланга 2—3 раза в день.

Этим заканчивается процесс изготовления железобетонных сердечников, которые применяют также и в качестве безнапорных труб. В последнем случае к ним предъявляют требования, указанные в табл. 40.

Требования к железобетонным сердечникам,
применяемым в качестве безнапорных труб

Основные требования	Допуски по сортам труб	
	1-й сорт	2-й сорт
Водонепроницаемость в $л/м^2 \times \times ч$ (потери воды в трубопроводе при 2,5 ат) для труб диаметром в мм:		
450	0—0,2	0,2—2
530	0—0,22	0,22—2,2
600	0—0,25	0,25—2,5
Качество поверхности трубы (для труб всех диаметров):	Наличие раковин размером до 10 мм и неоголеная арматура	Наличие раковин размером от 25 мм и неоголеная арматура
а) внутренняя поверхность раструбной части	Наличие гладкой щебенки на поверхности трубы	Требования не предъявляются
б) внешняя поверхность раструбной части	Наличие отпечатков складок материи и раковин диаметром от 1 до 3 мм и глубиной до 1 мм	То же
Отклонения в размерах (для труб всех диаметров) в мм:		
а) раструбного конца	+1	±1
б) внутреннего диаметра		
в) длины	±5	±5
г) вертикальной плоскости наружной грани	±5	±5
раструба	±2	±2

Обращают на себя внимание высокие требования к допускам в размерах раструбного конца труб.

Гидравлические заводские испытания таких труб производят только по требованию заказчиков.

Для изготовления напорной предварительно напряженной трубы на железобетонный сердечник навивают с напряжением высокопрочную спиральную арматуру с последующим нанесением защитного слоя из цементного раствора. На заводе разработан станок для навивки напряженной спирали. Станок состоит из двух рам: подвижной и неподвижной. На неподвижной раме смонтированы ведущий блок и его привод, состоящий из электродвигателя и редуктора. Через этот блок запасована напругаемая проволока, обвивающая железобетонный сердечник и сообщаящая ему вращательное движение. На подвижной раме смонтированы четыре опорных катка, на которые устанавливают сердечник, и лебедка для продольного перемещения сердечника во время навивки спирали. Один конец троса, намотанного на барабан лебедки, закреплен неподвижно на фундаменте; барабан приводится во вращение от сердечника через редуктор. Опорные катки в зависимости от длины трубы можно переставлять. Заданное натяжение проволоки регулируют грузом, подвешенным через систему отклоняющих блоков на тросе. В результате поступательного равномерного движения сердечника, осуществляемого лебедкой, устанавливают определенный шаг навивки проволоки. Для того чтобы изменить этот шаг, необходимо установить другое передаточное отношение в приводе лебедки.

Защитный слой спиральной арматуры наносят вручную.

Стыковые соединения труб приняты двух вариантов: типа «Хунцигер» — для трубопроводов с напором до 5 ат и типа «Бервит» — для трубопроводов с напором более 5 ат.

Гибкое соединение типа «Хунцигер» чаще применяют для укладки безнапорных трубопроводов. Стыкуемые концы труб в этом случае тщательно очищают металлическими щетками. Затем на втулочный конец трубы наносят слой битума, разогревают его паяльными лампами. Навивают три витка льняного жгута и еще раз покрывают битумом. На подготовленный таким образом гладкий конец уложенной трубы надвигают раструб укладываемой трубы, и раструбную щель с наружной стороны уплотняют жгутом при помощи специальных чеканок. Уплотненный стык покрывают цементным раствором. Устройство таких стыков оказалось весьма трудоемким, и поэтому область применения их была ограничена.

Конструкция стыка «Бервит» — гибкое стыковое соединение с резиновым кольцом в качестве водонепроницаемой упругой прокладки. Конфигурация концов трубы при этом варианте стыка отличается от первого, поэтому для его внедрения на заводе потребовались некоторая реконструкция форм и изготовление новых подкладных и накладных колец.

Укладка труб со стыками «Бервит» значительно проще конструкции «Хунцигер». После очистки концов трубы металлическими щетками и укладки ее в траншею на втулочный конец надевают резиновое кольцо, надвигая его на 20—30 мм от торца. Затем при помощи лебедки стыкуемую трубу вдвигают в раструб уложенной. Наружную щель раструба заделывают цементным раствором состава 1 : 3.

5. ПРОИЗВОДСТВО ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ НА ЗАВОДЕ «АРКЕЛ» В ГОЛЛАНДИИ

Железобетонные напорные трубы изготовляют на заводе фирмы «Н. В. Бетондак-Аркел» по трехступенчатой технологии: производство центрифугированных железобетонных сердечников с предварительно напряженной продольной арматурой; навивка на сердечники напряженной спирали из высокопрочной проволоки и нанесение на поверхность трубы, обвитой спиралью, защитного слоя.

Раструбные трубы изготовляют диаметром от 400 до 1500 мм, длиной 6 м и используют для сооружения трубопроводов с рабочим давлением до 7 ат. При испытании трубы выдерживают гидравлическое давление до 19 ат.

Производительность завода 120—150 пог. м, или 50—70 м³ труб в сутки. Техническая характеристика выпускаемых труб приведена в табл. 41.

Для соединения труб разработаны две конструкции стыков: с металлическими оцинкованными кольцами и с железобетонным раструбом. В обеих конструкциях водонепроницаемость стыков обеспечена с помощью резиновой прокладки.

Таблица 41
Техническая характеристика труб «аркел»

Внутренний диаметр труб в мм	Толщина стенок, включая защитный слой, в мм	Вес 1 пог. м трубы в кг	Возможный угол поворота между соседними трубами при укладке	Внутренний диаметр труб в мм	Толщина стенок, включая защитный слой, в мм	Вес 1 пог. м трубы в кг	Возможный угол поворота между соседними трубами при укладке
400	75	310	2° 23'	1000	80	750	2° 00'
500	75	375	2° 23'	1200	87	980	1° 38'
600	75	445	2° 23'	1400	95	1225	1° 21'
800	75	575	2° 23'	1500	100	1380	1° 15'

Первая конструкция стыка (рис. 128, а) отличается большим расходом металла. Металлические кольца специального профиля имеют толщину 2—3 мм. В одном из колец предусмотрен паз для резиновой прокладки. Профилированные кольца приваривают к заделанным в железобетонном сердечнике стальным листам, на поверхности которых навита предварительно напряженная спиральная арматура. У стального листа имеется бортик, защемленный в стенке предварительно напряжением бетона вдоль трубы, что обеспечивает водонепроницаемость стыкового соединения со стороны примыкания стальных обечаек к бетону. Утолщение защитного слоя на концах трубы для образования раструба армируют конструктивной сеткой. Снаружи стык заполняют цементным раствором и защищают гибкой накладкой из оцинкованной жести, которая служит одновременно опалубкой при заливке шва цементным раствором.

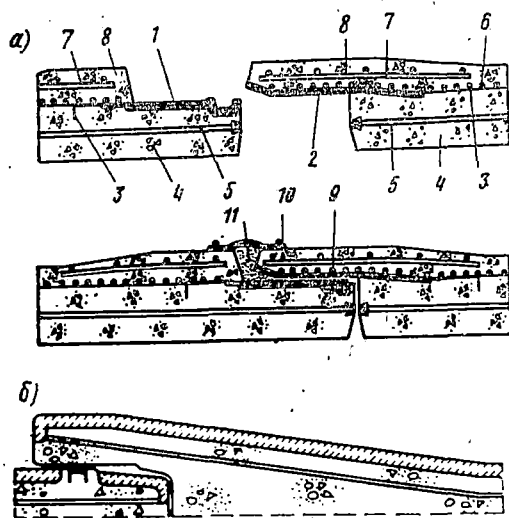


Рис. 128. Конструкции стыковых соединений труб «аркел»

а — конструкция стыкового соединения труб с металлическими обечайками (1-й вариант): 1 — внутреннее втулочное кольцо; 2 — раструбное кольцо; 3 — отогнутый бортик стального листа для закрепления листа в бетоне; 4 — железобетонный сердечник трубы; 5 — продольная предварительно напряженная арматура; 6 — спиральная предварительно напряженная арматура; 7 — конструктивная арматура для усиления железобетонного раструба; 8 — защитный слой; 9 — резиновая кольцевая прокладка; 10 — опалубка из полосы жести; 11 — цементный раствор в стыке; б — конструкция стыка без металлических обечаек (2-й вариант)

лист толщиной 2 мм применен только для облицовки кольцевого паза на втулочном конце трубы. В целях плотного соприкосновения трубы и резиновой прокладки для обеспечения водонепроницаемости стыкового соединения внутреннюю поверхность железобетонного раструба, соприкасающуюся с резиновым кольцом, тщательно шлифуют.

Небольшой допустимый поворот труб вокруг гибких стыков (табл. 41) позволяет укладывать трубы по кривой с радиусом 150—300 м в зависимости от диаметра труб. Для устройства ответвлений и более крутых поворотов применяют специальные фасонные железобетонные элементы.

Железобетонные сердечники изготовляют из бетона на цементе марки 600 (цемент В по немецким нормам DIN) с расходом до 500 кг/м^3 ; прочность на сжатие бетона после пропаривания в течение 10 ч не менее 650 кг/см^2 . Водоцементное отношение бетонной смеси 0,41 и после центрифугирования 0,28. В качестве инертных материалов применяют речной песок с крупностью зерен 0—5 мм и щебень с крупностью зерен 10—20 мм; состав заполнителя: песка 40 и щебня 60%.

Для армирования используют высокопрочную проволоку. Продольную арматуру применяют диаметром 4—5 мм с пределом прочности $140\text{—}160 \text{ кг/мм}^2$ и напрягают ее перед формованием до 90 кг/мм^2 на форме, собираемой из двух половин. Профилированную высокопрочную проволоку попарно размещают по окружности сердечника, в середине

толщины его стенки. Стержни из проволоки попарно заклинивают клиньями, забиваемыми молотком, в продольных отверстиях торцовых колец и натягивают по форме небольшим гидравлическим домкратом. Благодаря периодическому профилю проволока хорошо самоанкерится в бетоне. Спиральную арматуру диаметром 5 мм с гладкой поверхностью также применяют с пределом прочности 140—160 кг/мм². Потери предварительного напряжения в высокопрочной проволоке из-за усадки, ползучести бетона и других факторов принимают при расчете около 15%.

Приготовление бетона организовано в центральном бетонном узле, оборудованном противоточными бетономешалками емкостью по 500 л каждая. Качество бетонной смеси контролируют в заводской лаборатории. Составные части бетонной смеси дозируют автоматически. Бетонную смесь к месту укладки подают в специальных опрокидных вагонетках емкостью 0,5 м³, оборудованных моторными тележками для движения по монорельсу. У места укладки смесь из вагонеток перегружают в ложечный питатель, выполненный из металлической трубы диаметром 40—50 см, длиной около 6 м, с продольной щелью сверху шириной 25—30 см. Бетонную смесь из вагонетки выгружают в питатель через продольное отверстие; при этом для обеспечения равномерного распределения смеси питатель во время разгрузки медленно передвигают в продольном направлении. Затем питатель вводят внутрь формы, установленной на роликовой центрифуге, и, поворачивая вокруг продольной оси, постепенно загружают форму во время вращения, равномерно распределяя бетонную смесь по ее длине. Процесс подачи бетонной смеси повторяют столько раз, сколько необходимо для получения требуемой толщины стенки сердечника (обычно в 2—3 приема). Центрифугирование продолжают 15—25 мин. Образующийся при центрифугировании излишек воды удаляют из сердечника продувкой сжатым воздухом. После центрифугирования железобетонный сердечник в форме направляют на пропаривание в течение 10 ч.

После освобождения сердечника от формы на него навивают спиральную арматуру на станках свободно-роликовой системы. Первые витки спирали на железобетонном сердечнике закрепляют следующим образом. У торца трубы на поверхности сердечника по направлению первого витка втоплены в бетон три металлические пластинки на одинаковом расстоянии друг от друга. К этим пластинкам приваривают отрезок высокопрочной проволоки диаметром 5 мм, к концу которого прикрепляют навиваемую проволоку. Чтобы обеспечить прочное соединение проволок между собой, их перепускают приблизительно на 15 см и при помощи специальных приспособлений плотно обматывают мягкой проволокой диаметром 1,5—2 мм. Таким же способом при навивке скрепляют высокопрочную проволоку в случае необходимости удлинить ее или ликвидировать обрыв.

Первый виток (дополнительный к расчетному числу витков) во избежание перенапряжения стыка проволоки укладывают с меньшим натяжением. Все последующие витки могут полностью передать на бетон расчетное напряжение. Чтобы навиваемая спираль не скатывалась с наклонной поверхности раструба, на последнем при изготовлении выполнена винтовая нарезка, являющаяся отпечатком соответствующей нарезки в форме, куда и укладывают при навивке витки спирали. Шаг витков 15—30 мм. После окончания навивки конец проволоки закрепляют скруткой и железобетонный сердечник подают к шлифовальной машине для тщательной обработки внутренней поверхности раструба, а затем на установку — для испытания внутренним гидравлическим давлением (рис. 129). Для этого сердечник с навитой на него предварительно напряженной спиралью устанавливают на две двухосные тележки и

подают на испытательный стенд с консольной опрессовочной установкой. Сердечник охватывает консольный стальной цилиндр меньшего диаметра; их плотно соединяют по концам при помощи кольцевых стандартных резиновых прокладок и торцевой зажимной шайбы. В образо-

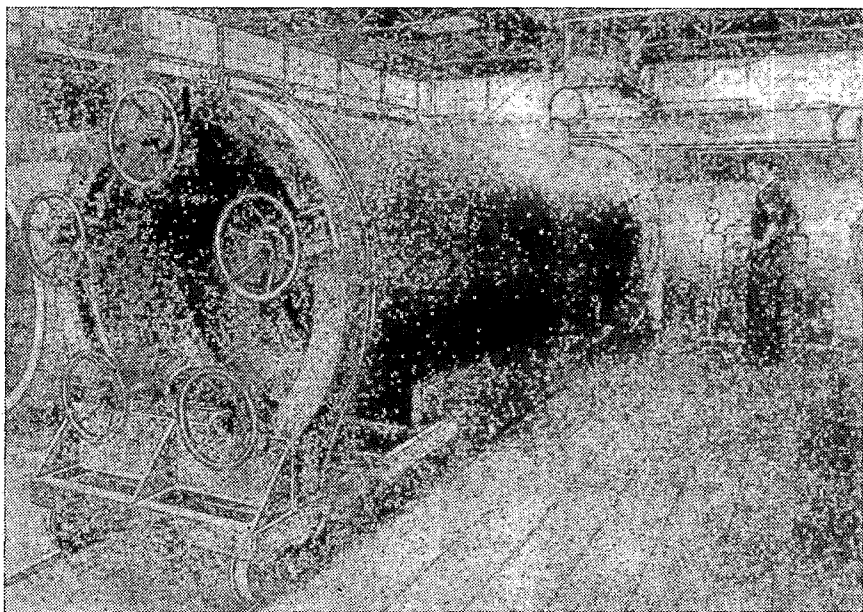


Рис. 129. Установка для испытания трубы гидравлическим давлением

вавшееся пространство между стальным цилиндром и железобетонной трубой подают воду, давление которой постепенно доводят до испытательного. Испытанию внутренним давлением подвергают каждую трубу. В связи с тем, что защитный слой трубы в работе сечения стенки не учитывается, испытание производят до нанесения защитного слоя. Применяемые на этом заводе опрессовочные устройства отличаются простотой испытания, дают возможность быстро установить трубу и заполнить ее водой, обеспечивая надежное торцовое уплотнение.

Авторы технологии считают, что трубы следует испытывать на расчетное давление с учетом возможного гидравлического удара, внешних нагрузок, требуемого коэффициента запаса и ожидаемых потерь от ползучести материалов стенки трубы, подвергающихся влиянию предварительного напряжения. Если первые четыре фактора задают при расчете трубопровода, то величину последнего устанавливают практически, исходя из следующих соображений: при увеличении гидравлического давления в испытываемой трубе напряжение растяжения в бетоне может быть доведено до значения, уравнивающего предварительное сжатие спиральной арматуры, т. е. напряжение в бетоне теоретически будет равно нулю. При увеличении давления бетон начнет работать на растяжение и, когда предельные значения растяжения будут превышены, в бетоне появятся трещины. При снижении давления эти трещины под влиянием обжатия бетона спиральной арматуры закроются. При повторном увеличении гидравлического давления трещины начнут раскрываться уже при достижении только нулевых напряжений в бетоне. Величину давления, при котором начинается раскрытие трещин, фиксируют. Если эту же трубу испытать через 1,5—2 месяца, то раскрытие тре-

щин (при достижении нулевого напряжения в бетоне) произойдет уже при другом, очевидно, несколько пониженном гидравлическом давлении. Разница между показаниями давления при первом и втором испытаниях характеризует потерю напряжения в бетоне от ползучести материала стенки трубы за истекший период времени. Ряд таких испытаний дает возможность установить некоторую среднюю постоянную величину потери напряжений от ползучести материала.

Учет потери напряжений от этого фактора дает возможность производителям обеспечить прочность и трещиностойкость труб, наиболее полно отвечающих требованиям расчета. Как упоминалось, практически трубы, рассчитанные для применения с рабочим напором 7 ат, испытывают на давление до 19 ат, компенсируя этим влияние всех нагрузок, вызывающих максимальное суммарное напряжение растяжения в стенках трубы. При этом на поверхности труб допускается только появление влажных пятен.

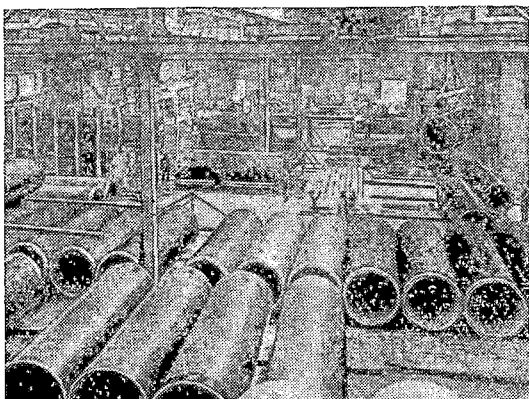


Рис. 130. Общий вид цеха окончательной отделки труб

Если предварительно напряженный железобетонный сердечник выдерживает испытание гидравлическим давлением, на его наружную поверхность наносят защитный слой мелкозернистого бетона толщиной 25 мм. Защитный слой наносят с помощью вибрирования. Трубу устанавливают на четыре резиновых ролика, которые вращают ее. Над трубой на расстоянии 2,5—3 см расположен бункер в виде желоба, длина которого соответствует длине трубы. В бункер загружают мелкозернистый бетон, который тонким слоем подают на обрабатываемую поверхность сердечника через продольную щель в днище.

Для обеспечения подвижности бетонной смеси бункер вибрируют (1200 кол/мин). Одновременно с этим уплотняют укладываемый на верхнюю часть трубы вдоль ее образующей слой бетона. При этом трубу медленно вращают вокруг оси. Два рабочих следят за образованием защитного слоя на концах трубы, одновременно заглаживая их вручную.

После нанесения защитного слоя трубу направляют в пропарочную камеру на 4—6 ч. Готовые трубы при приемке простукивают молотком для выявления отслоений защитного слоя.

Трубы, предназначенные для укладки в агрессивных грунтовых условиях, покрывают слоем битумной эмульсии.

Общий вид цеха окончательной отделки труб показан на рис. 130.

Производственный цикл изготовления трубы, включая пропаривание защитного слоя, составляет 24 ч. Изготовленные трубы поступают на склад, где происходит их дополнительное твердение. Производство организовано таким образом, что трубы готовят только по имеющимся заказам от строителей. Поэтому территория склада относительно невелика и служит по существу перегрузочной базой для отправки труб на строительство.

Вес труб больших диаметров весьма значителен. Например, труба диаметром 1500 мм, длиной 6 м, весит около 8,5 т. Поэтому для их перевозки сконструированы и изготовлены специальные платформы

(рис. 131). Поставляют трубы с комплектом резиновых колец для соединений. Трубы доставляют на место строительства и раскладывают вдоль трассы трубопровода. Платформы загружают с помощью специального приспособления. После раскладки труб вдоль трассы на данном

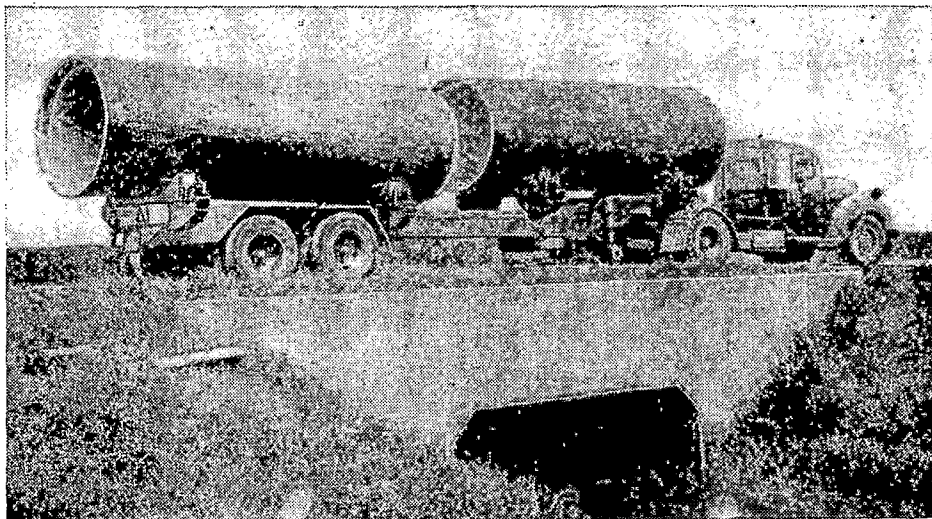


Рис. 131. Перевозка труб на специальной платформе

участке приступают к рытью траншей. Удачным решением (где это возможно по топографическим и грунтовым условиям) является применение на рытье траншей и для укладки труб экскаватора. В этом случае весь фронт работ сосредоточивают на небольшом участке, длиной около 12—15 м — только для укладки двух смежных труб. Экскаватор на гусеничном ходу с обратной лопатой устанавливают по оси трассы и обратным ходом вынимают землю из траншеи для укладки одной трубы. Для равномерной передачи давления на грунт под гусеницы экскаватора настилают брусья, которые перекалывают по мере его движения.

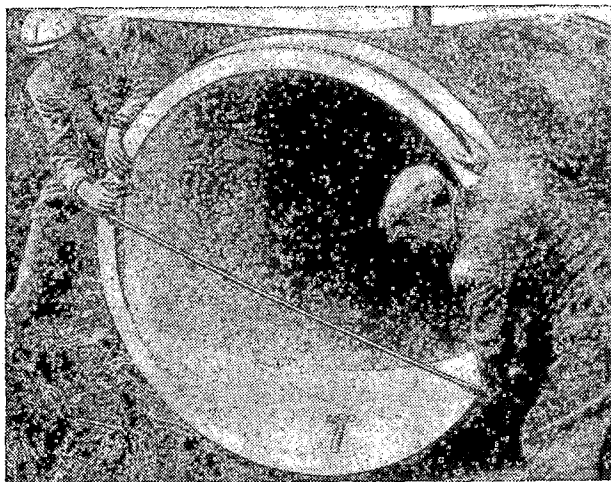


Рис. 132. Закрепление резиновой кольцевой прокладки на втулочном конце трубы перед укладкой трубы в траншею

Дно вырытого участка траншеи подчищают по нивелировочным отметкам и на профилированное грунтовое основание тем же экскаватором, с помощью подвешенной к ковшу специальной траверсы с крюком, укладывают трубу. Трубы захватывают с поверхности земли при помощи мягких строп. Продольную ось их строго ориентируют по вынесенной на местности оси трубо-

провода. Каждую последующую укладываемую трубу втулочным концом вводят в раструб уложенной предыдущей трубы. Перед укладкой на втулочный конец надевают резиновое кольцо (рис. 132). После того как новая труба уложена на место, стык ее снаружи заливают цементным раствором. Чтобы раствор заполнил весь шов, его заливают по методу восходящего раствора. Опалубочную ленту из оцинкованной жести прижимают вокруг шва к наружным стенкам трубы двумя проволоочными скрутками.

В то время когда обрабатывают очередной стык двух труб, из траншеи вынимают грунт для укладки следующей трубы, т.е. рабочий процесс повторяют.

В связи с тем что каждая уложенная труба может быть немедленно засыпана, открытых участков траншей с уложенными или ожидающими укладки трубами на трассе нет. Это положительная сторона такого способа, так как открытые на длительное время траншеи обычно заливают дожди, стенки их обваливаются, подготовленная постель для укладки труб разрушается, подход крана-укладчика труб к бровке траншеи усложняется и т. д.

Опрессовку уложенного трубопровода производят отдельными участками после засыпки и рассматривают ее практически как приемо-сдаточную операцию в связи с высокой гарантированной прочностью и водонепроницаемостью труб и стыков.

Некоторой сложностью указанного метода работ является необходимость тщательного геодезического контроля при укладке каждой трубы.

Один из рабочих моментов укладки труб в короткой траншее с помощью экскаватора показан на рис. 133.

На заводе в г. Аркел накоплен значительный производственный опыт по производству железобетонных предварительно напряженных труб диаметром до 1500 мм. Опыт эксплуатации напорных трубопроводов подтверждает хорошее их качество. Следует обратить внимание на достаточно экономичную толщину стенок труб (80—100 мм) с внутренним диаметром от 1000 до 1500 мм. Недостатком описанной технологии является то, что защитный слой толщиной 25 мм не участвует в работе сечения стенки трубы и не всегда получается достаточно прочным. Ремонтировать его приходится вручную.

Примером применения в строительстве труб типа «аркел» может служить сооружение железобетонного напорного водовода в г. Ороне

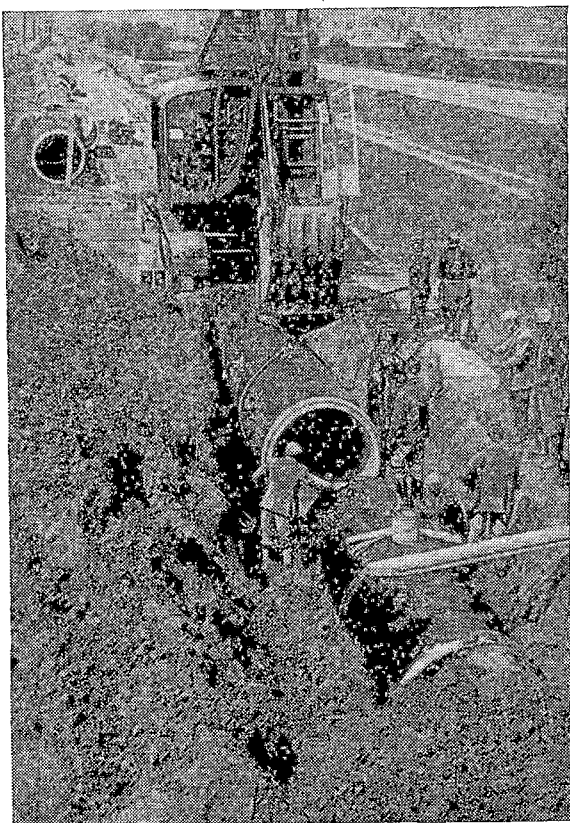


Рис. 133. Общий вид участка работ при укладке труб экскаватором в траншею

(Алжир). Для обеспечения водой г. Орана и порта Мер-Эль-Кебир из водохранилища Бени-Бадель был построен напорный самотечный водовод протяженностью 170 км из железобетонных напряженно-армированных раструбных труб с внутренним диаметром 1100 мм, длиной 7 м и с толщиной стенок 86 и 120 мм в зависимости от напора. Вес труб составил соответственно 5,7 и 8,2 т. Общая высота падения воды по трассе 425 м. Производство труб было организовано на специально построенном

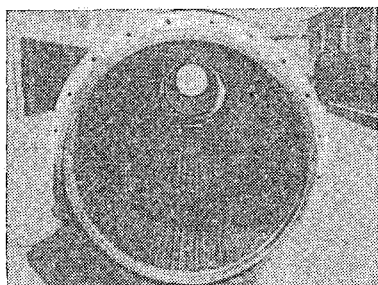


Рис. 134. Металлическая форма трубы с натянутыми на ней стержнями продольной арматуры

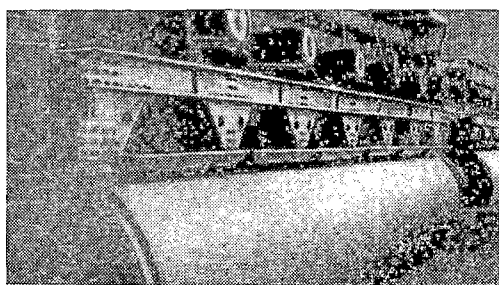


Рис. 135. Установка для нанесения защитного слоя



Рис. 136. Железобетонный напорный водовод в ущелье Бу Мессул (Алжир)

заводе приблизительно посередине трассы: между фильтрационным бассейном, расположенным в Бу-Халлу, и Ораном.

Трубы изготовляли по той же трехступенчатой технологии, которая применяется на заводе фирмы «Н. В. Бетондак-Аркел». Технологический процесс состоит в основном из следующих операций: сборки металлических форм; заготовки и укладки в формы продольной арматуры из сдвоенных стержней высокопрочной проволоки с предварительным напряжением их на форме (рис. 134); приготовления и укладки бетонной смеси во вращающуюся форму; центрифугирования железобетонного сердечника с последующей тепловлажностной обработкой; навивки напряженной спиральной арматуры, нанесения защитного слоя и тепловлажностной его обработки.

Учитывая климатические условия, оборудование установки для производства труб монтировали на открытых стендах или под легкими шатрами. Приготовление бетонной смеси осуществляли в бетономешалках, установленных на открытой железобетонной эстакаде, к несущим конструкциям которой крепили расходные металлические бункера. Из бункеров бетонную смесь загружали сначала в питатель, перемещаемый по узкоколейке, а затем во вращающуюся форму на центрифуге. Центрифуги применяли роликового типа для одновременного изготовления двух железобетонных сердечников.

Тепловлажностная обработка железобетонного сердечника, изготовленного центрифугированием, и последующее дождевание его на складе обеспечивали необходимую прочность бетона для навивки предварительно напряженной спиральной арматуры, которая осуществлялась механическим способом.

Железобетонный сердечник с навитой предварительно напряженной арматурой испытывали гидравлическим давлением, после чего на наружную поверхность трубы наносили защитный цементный слой толщиной 25 мм на специальной установке (рис. 135). Трубу закрепляли в планшайбах и медленно вращали, а сверху из бункера с продольной щелью на поверхность трубы равномерно подавали цементный раствор по всей длине трубы. Одновременно раствор плотно прижимали к поверхности трубы специальной прижимной конструкцией и уплотняли вибрированием. Контроль толщины слоя раствора и его выравнивание осуществляли заглаживающим устройством с металлическим ножом.

Готовые трубы развозили к месту укладки на автомашинах со специально оборудованными платформами для двух труб. Последние укладывали на платформы и сгружали с них автокранами. На платформах трубы располагали в деревянных седлах и крепили тросами. Таким способом трубы развозили на расстояние до 90 км.

Для защиты от температурных колебаний, ливней и оползней водовод на всем протяжении был уложен в траншею шириной 1,6 м и глубиной 3—4 м, вырытую канавокопателем. Трубы подавали в траншею тракторным трубоукладчиком с боковой стрелой. При переходе через реки, ручьи, ущелья и глубокие долины водовод укладывали на специальные железобетонные опоры (рис. 136).

Глава VII

ПРОИЗВОДСТВО ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ТРУБ СПОСОБОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОБЖАТИЕМ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ

1. ПРОИЗВОДСТВО ТРУБ ДИАМЕТРОМ 400—1500 мм ПО СПОСОБУ, РАЗРАБОТАННОМУ ЗАВОДОМ «АСТОРПС БРУК» В ШВЕЦИИ

В Швеции на заводе в г. Осторп близ Хельсинборга организовано изготовление центрифугированных предварительно напряженных труб диаметром 400—1500 мм с обжатым защитным слоем по новому способу, разработанному заводом «Асторпс Брук» фирмы «Суллейван и Квибелиус». Трубы, изготовленные по этому методу, названные «примо», имеют высокие показатели. Трубы длиной 5 м соединяются с помощью железобетонного раструба, тщательно обработанного (калиброванного) с допусками $\pm 1,5$ —2 мм, и выдерживают внутреннее гидравлическое давление до 20 ат (на заводе были изготовлены отдельные образцы, выдержавшие давление до 59 ат).

В стенках труб расположена продольная и спиральная предварительно напряженная арматура из высокопрочной проволоки диаметром 3—5 мм с пределом прочности 150—200 кг/мм². Предварительное обжатие бетона спиральной арматурой достигает 135—150 кг/см²; при воздействии рабочего гидравлического давления в трубопроводе напряжение сжатия в бетоне снижается до 100 кг/см².

Трубы рассчитаны таким образом, чтобы при любом возможном напоре в сети, включая гидравлический удар, бетон стенок не испытывал растягивающих напряжений.

Расход стали для армирования составляет в среднем 120 кг/м³ бетона. В табл. 42 приведены показатели расхода стали для продольной

Таблица 42
Показатели расхода стали в трубах «примо»

Характеристика труб	Расход высокопрочной проволоки диаметром 3—5 мм на трубу в кг			Расход стали на 1 м ³ бетона в кг
	продольной	спиральной	всего	
$D_B = 600$ мм; $p = 16$ ат	26	66	92	101
$D_B = 600$ мм; $p = 20$ ат	26	100	126	140

и спиральной арматуры из высокопрочной проволоки для труб диаметром 600 мм, рассчитанных на гидравлическое давление 16 и 20 ат.

Для изготовления сердечников труб применяют бетон марок 600—700. Расход бетона на одну трубу диаметром 600 мм—0,9 м³. Защитный слой спиральной арматуры толщиной около 15 мм наносят торкретированием.

Особенностью конструкции труб «примо» является предварительное об-

жатие защитного слоя, в результате чего при восприятии растягивающих напряжений в нем исключается появление трещин и, следовательно, обеспечивается защита арматуры от коррозии.

Стыкуются трубы с помощью резиновых прокладок-колец круглого сечения, причем для удобства насадки резинового кольца на втулочный конец последнему с наружной стороны придана коническая форма. На втулочном конце трубы, входящем в железобетонный раструб, для упора

резинового кольца предусмотрен бетонный бортик, препятствующий выдавливанию резины из раструба. В конструкции стыка нет никаких металлических закладных элементов.

На заводе изготавливают до 400 пог. м труб в неделю, или 18—20 тыс. пог. м в год, при односменной работе на двух агрегатах, предназначенных для производства труб диаметром 400—700 мм. При рабо-

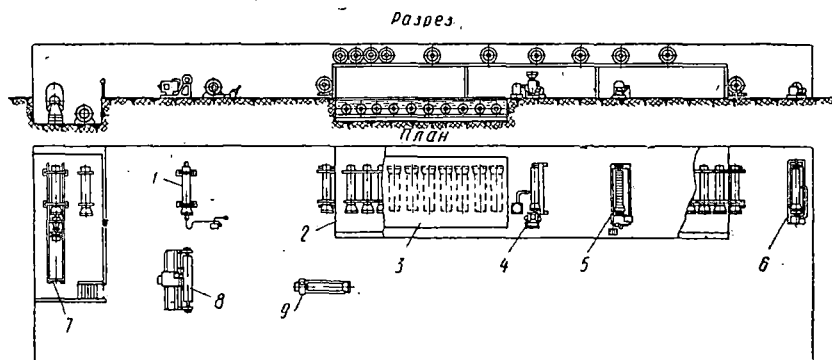


Рис. 137. Схема размещения технологического оборудования для производства труб «примо» на заводе в г. Осторт

1 — установка для комплектации форм и натяжения арматуры; 2 — эстакада с элеватором; 3 — бассейн с водой для тепловой обработки труб; 4 — станок для нанесения на спираль заготовки труб защитного слоя; 5 — станок для навивки напряженной арматуры на заготовку трубы; 6 — установка для очистки поверхности заготовки трубы; 7 — центрифуга; 8 — станок для навивки арматуры на барабан; 9 — тележка для транспортирования готовых труб и форм

те на четырех агрегатах производительность завода может быть повышена в 2 раза. Третий и четвертый агрегаты предназначены для изготовления труб диаметром 900—1500 мм. Завод обслуживают 42 рабочих в смену, из которых 36 — квалифицированных и 6 — подсобных.

В комплект одного агрегата входит следующее оборудование: станок для навивки продольной арматуры; центрифуга с комплектом форм; машина типа пескоструйного аппарата для зачистки поверхности трубы стальными опилками; станок для навивки спиральной арматуры; установка для нанесения защитного слоя; станок для обработки концов труб; установка для испытания труб; пневматическое управление подачи бетонной смеси и тележка для перевозки труб.

По данным фирмы, полная стоимость оборудования четырех агрегатов распределяется так: для изготовления труб диаметром от 400 до 700 мм — 30% и для изготовления труб диаметром от 900 до 1500 мм — 70%; стоимость форм и центрифуг от общей стоимости первых двух агрегатов составляет 55% и от стоимости третьего и четвертого агрегатов — 26%. Схема размещения технологического оборудования для производства труб на заводе в г. Осторт показана на рис. 137.

Технология, разработанная д-ром Эдвином и инж. Дорре-Нильсеном, заключается в следующем.

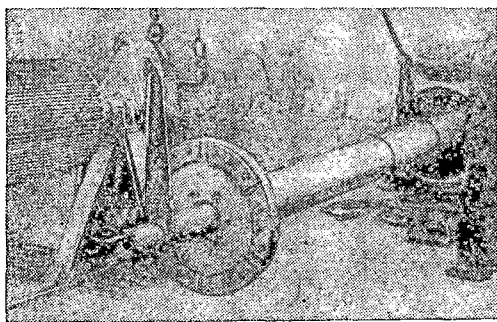


Рис. 138. Круглый вал с дисками для натяжения продольной арматуры

На специальном приспособлении, состоящем из двух металлических круглых дисков с упорными кольцами, насаженными на общем валу диаметром 350 мм (рис. 138), натягивают продольную арматуру из высокопрочной проволоки. Проволоку крепят на кулачки, расставленные по периметру кольца (так, проволока каркаса трубы диаметром 600 мм навивается на 88 кулачков). Общий вид станка для изготовления каркаса

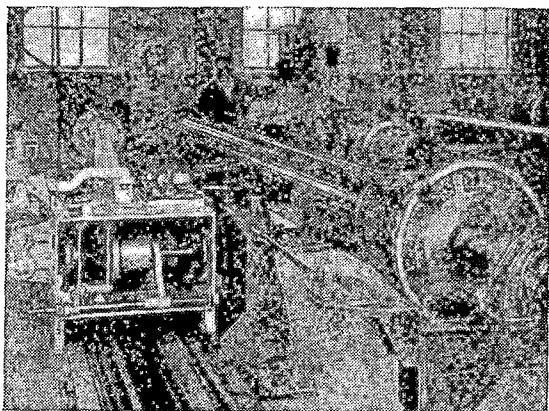


Рис. 139. Общий вид станка для изготовления каркаса с предварительно напряженной продольной арматурой

с продольной предварительно напряженной арматурой изображен на рис. 139.

Станок состоит из станины и самоходного укладчика продольных струн. Один из дисков закреплен на валу неподвижно, другой прикреплен к штокам гидродомкратов, расположенных по периметру вала. Укладчик струн совершает возвратно-поступательные движения по раме и навивает высокопрочную проволоку без предварительного напряжения на кулачки дисков. Одновременно синхронно с укладчиком поворачивается и барабан. При одном воз-

вратно-поступательном цикле движения укладчика барабан поворачивается на угол, соответствующий одному шагу проволоки между кулачками, расположенными на упорных кольцах. Каждое новое положение барабана четко фиксируется специальным рычажным приспособлением, расположенным сбоку (рис. 140). В месте перехода на больший диаметр для образования растреба продольную арматуру перехватывают обрубком из круглого железа.

Заготовленную таким образом продольную арматуру натягивают передвижным гидронасосом. Масло гидронасосом подают в 28 гидроцилиндров диаметром 50 мм, расположенных вокруг вала вместе с кольцевой разводкой из трубок для подачи масла. Упорное кольцо с диском, закрепленным на штоках гидроцилиндров, под давлением масла в гидравлической системе перемещается вдоль вала и натягивает проволоку. Процесс натяжения продольной арматуры и передача усилий на форму показаны схематически на рис. 141. На каждом домкрате создают усилие до 2 Т. Величину усилия регулируют так, чтобы напряжение в проволоке не превышало $0,65 R_a^n$.

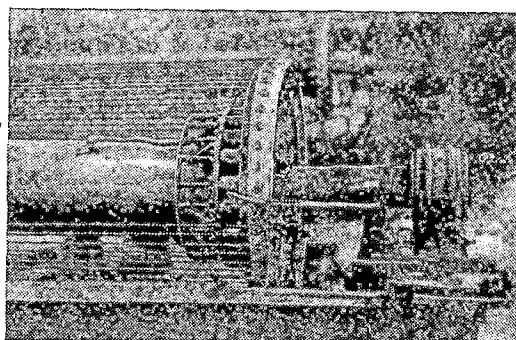


Рис. 140. Деталь натяжного диска с упорным кольцом и рычажным приспособлением для фиксации положения кольца при навивке продольной арматуры

Удлинение проволоки рассчитано таким образом, чтобы кулачки дисков с натянутой на них проволокой упирались после их раздвижки на барабан в торцы металлической формы, в которую помещают напряженную арматуру вместе с дисками.

После того как вторая полуформа также установлена на место и скреплена с первой струбцинами, а кулачки обоих дисков с натянутой

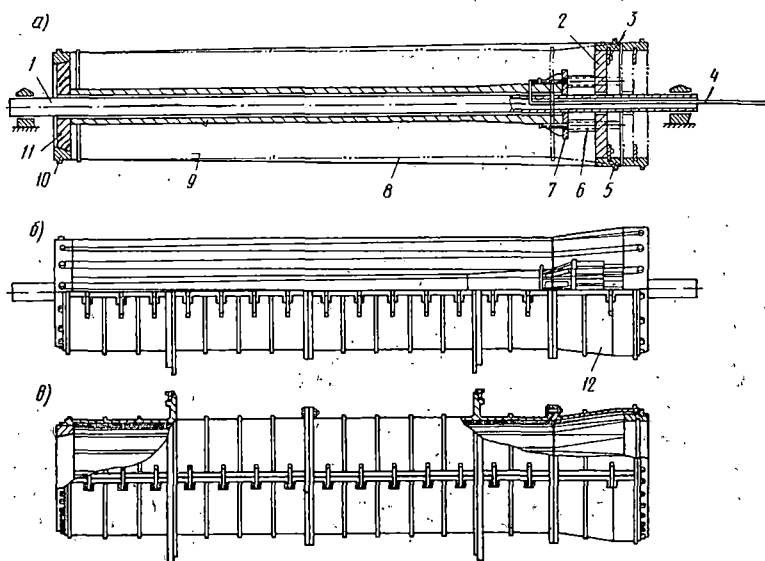


Рис. 141. Стадии предварительного напряжения продольной арматуры

a — натяжной барабан с арматурой до натяжения; *б* — передача усилий от напряжения арматуры на полуформу; *в* — полностью собранная форма с предварительно напряженной арматурой; 1 — вал; 2 — упорный подвижной диск; 3 — запорный сектор; 4 — трубка от гидронасоса; 5 — упорное подвижное кольцо № 1; 6 — гидроцилиндр; 7 — упорный фланец; 8 — арматура после натяжения; 9 — барабан; 10 — упорное кольцо № 2 с пальцами; 11 — конический диск; 12 — литая форма из силумина

на них продольной арматурой плотно уперты в торцы формы, давление в гидросистеме сбрасывают и вся нагрузка от предварительного натяжения проволоки передается от дисков через кулачки на форму. Сохранение давления в гидродомкратах на время монтажа каркаса арматуры в форме и последующее сбрасывание давления при передаче натяжения от арматуры на форму осуществляют с помощью запорного вентиля на трубке масляной системы. Теперь, когда натяжение от проволоки передано на форму, барабан с дисками и смонтированными на них гидродомкратами открепляют от упорных колец, извлекают из формы и переносят на навивочный станок для дальнейшего использования.

Величина удлинения продольной арматуры при натяжении или расстоянии, на которое будут выдвинуты штоки гидродомкратов при натяжении проволоки диаметром 5 мм, при $R_a^H = 15\,000 \text{ кг/см}^2$ составит

$$\varepsilon = \frac{0,65 R_a^H L}{E_a^H} = \frac{0,65 \cdot 15\,000 \cdot 5\,000}{1,8 \cdot 10^6} = 27 \text{ мм},$$

т. е. может быть принята ориентировочно 20—30 мм.

Общий вид формы, подготовленной для установки на центрифугу с натянутой на упорных кольцах продольной арматурой из высокопрочной проволоки, показан на рис. 142.

Формы изготовляют из силумина и собирают из двух половин. По длине форма разделена на три части: раструбную 150 см, среднюю

280 см и концевую с углублением для образования бортика для упора резиновой прокладки — около 100 см.

Центрифугирование производят в течение 15—20 мин, в зависимости от диаметра изготавливаемой трубы, при числе оборотов центрифуги от 200 до 1000 в минуту.

В/Ц бетонной смеси для изготовления труб до центрифугирования 0,33—0,37; после центрифугирования оно понижается до 0,28. В процессе

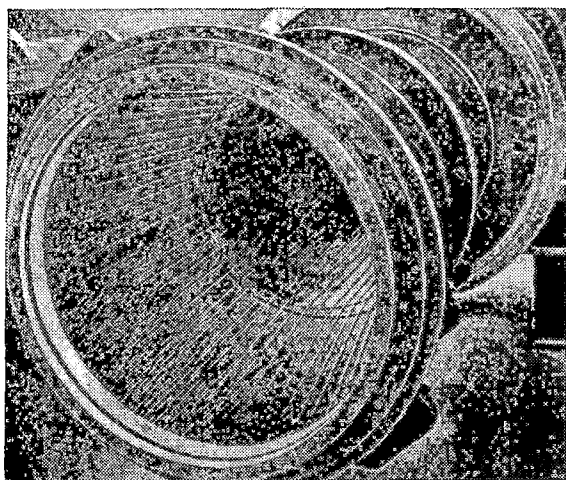


Рис. 142. Общий вид формы, подготовленной для установки на центрифугу

центрифугирования воду удаляют через перфорированную поверхность формы. Заполнители для бетонной смеси рассеивают на пять фракций: песок с крупностью зерен 0—0,5; 0,5—1; 1—2; 2—3 мм и щебень с крупностью зерен до 8 мм. Цемент применяют быстротвердеющий с расходом до 700 кг/м³ бетона. Кубиковая прочность бетона через 5—6 ч (после тепловой обработки) составляет 350—400 кг/см²; 28-суточная прочность бетона 600—700 кг/см².

После окончания центрифугирования внутреннюю поверхность сердеч-

ника в форме тщательно заглаживают лопастными ножами, смонтированными на питателе, а затем форму с сердечником помещают в горячую ванну с температурой от 40 до 70°С, в которой выдерживают около 6 ч. По выходе из ванны сердечник освобождают из формы и направляют сначала в пропарочную камеру, где выдерживают сутки, а потом в отделение очистки наружной поверхности, чтобы уничтожить следы текстуры, которым смазывают формы. Очистку производят стальным порошком на специальном пневмоаппарате.

Затем сердечник поступает на станок для удаления торцовых анкерных колец и обрезки выпусков арматуры, зачистки (калибровки) концов трубы и далее — на навивочный станок. Бетон к этому времени имеет прочность не менее 500 кг/см². При навивке учитывают, что потери напряжения от усадки бетона составляют 9,3%. Высокопрочную проволоку навивают механическим способом с установленным напряжением и шагом спирали.

По окончании навивки наружную поверхность труб торкретируют. Как указывалось, способ торкретирования здесь отличается от обычного. Защитный слой наносят на поверхность обвитого высокопрочной проволокой сердечника, находящегося под гидравлическим давлением, равным 75% расчетного испытательного. Для этого сердечник трубы обматывают на концах двумя герметическими затворами. Когда внутрь его подают под заданным давлением воду, стенки сердечника испытывают чистое растяжение:

$$\sigma_6 = \frac{pr}{d},$$

где p — расчетное гидравлическое давление в трубе в кг/см²;

r — средний радиус трубы в см;

d — толщина стенки сердечника в см.

Преодолевая частично предварительное обжатие бетона, растягивающие напряжения в стенках трубы уменьшают абсолютную величину сжимающих напряжений в бетоне, но не исчерпывают их полностью. Одновременно относительно небольшое приращение растягивающих напряжений (6—8%) получает и предварительно напряженная спиральная арматура. В таком напряженном состоянии наружную поверхность трубы и дополнительно растянутую спиральную арматуру покрывают защитным слоем торкрет-бетона толщиной 15 мм. Торкрет-бетон заглаживают и трубу вторично подвергают тепловлажностной обработке в воде с температурой 35—40°С в течение суток. Такая повторная обработка содействует повышению прочности и плотности бетона, повышает водонепроницаемость стенок трубы и предупреждает образование усадочных трещин.

После того как бетон защитного слоя затвердел, гидравлическое давление сбрасывают и стенки трубы вновь обжимаются. При этом в предварительно обжатое сечение включается не только стенка сердечника, но и защитный слой.

Теоретически защитный слой толщиной a будет обжат с напряжением, равным

$$\sigma'_6 = \frac{0,75pr}{d + a}.$$

При толщине стенки сердечника $d=60$ мм и толщине защитного слоя $a=15$ мм, т. е. $a=0,25 d$:

$$\sigma'_6 = \frac{0,75pr}{1,25d} = 0,6 \frac{pr}{d} = 0,6\sigma_6.$$

Следовательно, предварительное напряжение в защитном слое будет составлять ориентировочно 60% расчетного напряжения в обжатом железобетонном сердечнике.

Учитывая, что в трубах «примо» принят двукратный запас прочности (по отношению к раскрытию трещин в бетоне от рабочего напора), в данном примере в защитном слое также сохраняется свой «местный запас прочности», который составляет приблизительно $\frac{0,6 - 0,5}{0,5} 100 = 20\%$.

Таким образом, при тех же условиях в защитном слое будут также сохранены сжимающие напряжения, что весьма важно как для обеспечения водонепроницаемости стенок трубы, так и для защиты арматуры от коррозии.

Разумеется, приведенные теоретические рассуждения дают только общее представление об участии предварительно обжатого защитного слоя в работе сечения трубы; для практического расчета необходимо уточнить появляющиеся дополнительные напряжения в стенках трубы от вертикальных нагрузок и ряда других факторов, а также произвести и экспериментальную проверку.

Трубы, прошедшие торкретирование¹, поступают на стенд для отделки и калибровки концов. Эти операции являются очень важными в процессе изготовления труб с гибкими соединениями на резиновых кольцах. На стенде у торцов трубы обрезают продольную арматуру, которая самозаанкеривается в затвердевшем бетоне благодаря периодическому профилю сечения арматуры (или благодаря применению крученой про-

¹ Необходимо отметить, что при торкретировании на этом заводе, как и на других предприятиях, очень велики отходы цементного раствора в виде так называемого «отскока», составляющие от 25 до 30%. Однако здесь не выбрасывают, а утилизируют отходы раствора в специально организованном цехе для изготовления бетонного кирпича. При плане 18—20 тыс. пог. м труб диаметром 400—700 мм в год из утилизируемых отходов раствора может быть изготовлено не менее 200 тыс. шт. кирпича.

волоки), и опорные кольца освобождают. Отделку (калибровку) концов трубы выполняют с допусками для раструба ± 2 мм и для втулочного конца $\pm 1,5$ мм. После обработки трубы испытывают и отправляют на склад. Общий вид испытательной установки показан на рис. 143.

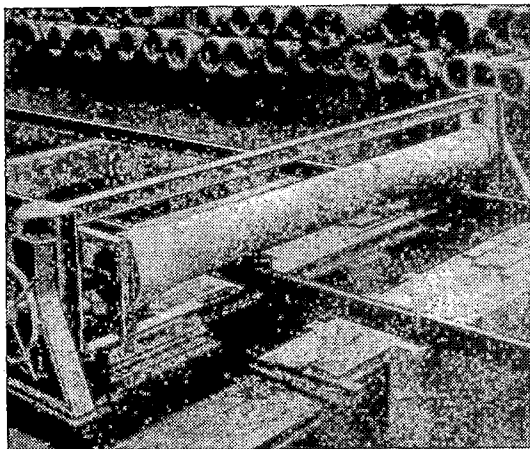


Рис. 143. Общий вид испытательной установки

Испытание производят гидравлическим давлением, превышающим рабочее на 50—100%. Так, трубы, предназначенные для водоводов с рабочим давлением 10 ат, испытывают давлением до 20 ат. Трубы данной партии, не выдержавшие испытания, бракуют, а прошедшие испытание — снабжают индивидуальным паспортом. По данным завода, производственный брак составляет приблизительно 5—10%.

до полного разрушения приведенной в действие двумя гидродомкратами.

На заводе отдельные образцы труб подвергают также механическим испытаниям вертикальной нагрузкой, соз-

На складе организовано дождевание труб. Склад готовой продукции в момент действия дождевальной установки показан на рис. 144.

Трубы хранят в штабелях на специальных жестких подкладках. Концы труб при укладке и хранении оберегают особенно тщательно.

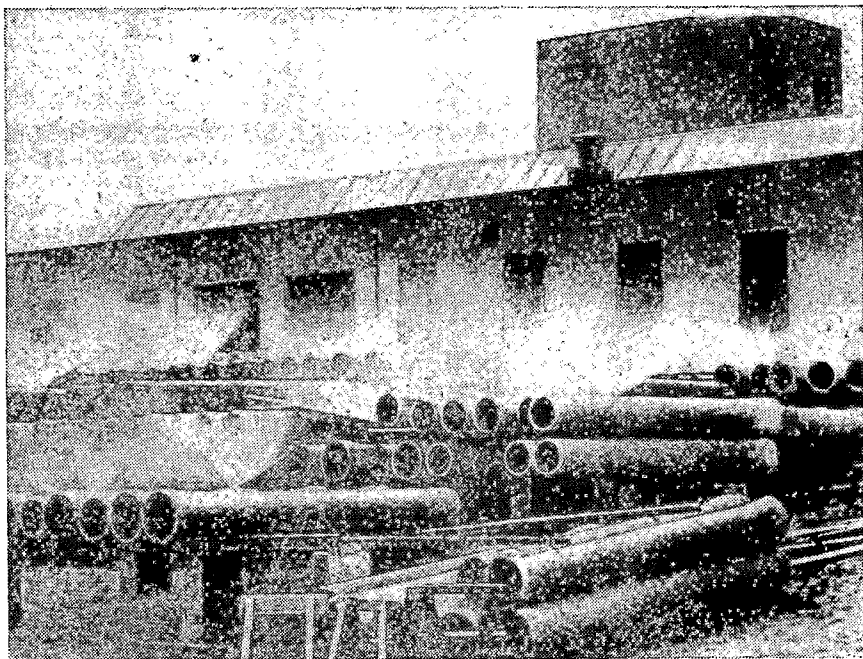


Рис. 144. Склад труб, оборудованный дождевальной установкой

Процесс стыкования состоит из следующих операций. К раструбу уложенной трубы втулочным концом подносят укладываемую трубу (рис. 145). Поверхность бетона втулочного и раструбного концов трубы, соприкасающаяся с резиновой прокладкой, должна быть очень тщательно обработана. На наружной поверхности втулочного конца на рисунке виден обработанный со стороны резины бетонный гребень, препятствующий выпиранию резиновой прокладки под напором воды. Резиновое кольцо накатывают на коническую обработанную поверхность втулочного конца, который заводят в раструб. Дальнейшую надвижку трубы производят при помощи цепного домкрата и мягких инвентарных строп.



Рис. 145. Раструбный и втулочный концы труб после обработки

Рассмотрим результаты испытаний некоторых опытных водоводов из труб «примо», произведенных в г. Мальмо и Стокгольме в 1956 г.

Необходимо отметить, что ряд существующих зарубежных технических условий на испытание железобетонных напорных водоводов идентичен техническим условиям на испытание чугунных, стальных или асбестоцементных трубопроводов. Однако нужно учитывать принципиальное отличие железобетонных трубопроводов, для которых фактор «утечки воды» обусловлен не только неплотностями в соединениях труб, но и свойством бетона поглощать воду. С течением времени после заполнения водовода под давлением водопоглощение бетона снижается, и замеры утечки воды могут более или менее правильно характеризовать испытываемый участок. Испытания же трубопроводов, предварительно заполненных водой на непродолжительное время и без давления, не давали правильных показаний. В связи с этим указанными техническими условиями рекомендуется заполнять испытываемый участок трубопровода водой и выдерживать под давлением 8—14 суток до начала официальных испытаний.

Что касается второго фактора — потери напора, то в оценке качества железобетонного водовода он был признан непоказательным. Давление воды во время испытаний рекомендуется контролировать только для того, чтобы не допустить его падения ниже эксплуатационного и во время восстановить до величины испытательного. Этим преследуется цель гарантировать нормальную работу водовода во время эксплуатации (т. е. при эксплуатационном давлении), так как в это время условия работы водовода, естественно, более благоприятны, чем в период испытаний.

В г. Мальмо экспериментальный участок водовода протяженностью 391 м был смонтирован из 78 труб «примо» диаметром 600 мм, длиной 5 м. Трубы были изготовлены за несколько месяцев до укладки, предварительно испытаны на заводе гидравлическим давлением до 16 ат, проверены ОТК и на автомашинах доставлены к опытному участку. Трубопровод укладывали в песчаный грунт; для восприятия продольных усилий, возникавших при испытании, на концах его были смонтированы мощные двутавровые балки, упирающиеся в бетонные блоки. На водо-

подводящей трубе был установлен тарированный водомер и на отдельном стояке — манометр. Испытательное давление — 10 ат, в процессе испытаний его поддерживали подкачкой ручным насосом.

Опытный участок был подвергнут испытанию с конца сентября до середины октября 1956 г. До начала испытания трубопровод в течение 60 ч был заполнен водой (без давления). При испытании по указанным методам во всех случаях было отмечено, что фактическая утечка воды ниже допустимой (по техническим условиям), включая и период заполнения в течение 60 ч. Характерно, что при испытаниях по техническим условиям Бадензи утечка воды, замеренная в течение первого часа, составила 75% допустимой, а в течение 24-го часа — только 17%. При повторных испытаниях через 5 суток утечка воды в эти же периоды уже составила соответственно 25 и 12% допустимой. Эти данные подтверждают влияние насыщения бетона водой на величину ее утечки.

Испытательный участок водовода в Стокгольме протяженностью 440 м был уложен из 106 труб «примо» диаметром 600 мм, длиной 5 м. В отличие от первого в этот водовод были уложены соединительные патрубки «примо» длиной 1 и 2 м, стальная труба длиной 5 м, тройник с фланцами длиной 1 м, двойная муфта с фланцами 1,5 м, воздушные клапаны, задвижки. Места переходов труб к тройнику и муфте были снабжены специальными кольцами с уплотнениями. Трубы, изготовленные за несколько месяцев до укладки, прошли тщательный контроль ОТК и испытание на заводе под гидравлическим давлением 16 ат. К месту укладки трубы доставляли автотранспортом. Водовод был уложен в августе — сентябре 1956 г. в траншее, вырытой в супесчаном и частично скалистом грунте. Давление в процессе испытаний восстанавливали подкачкой ручным насосом. Водовод испытывали на 6 ат. Всего было проведено два испытания по техническим условиям Бадензи. Результаты испытаний оказались также вполне удовлетворительными: при допустимой утечке воды 0,04 л/м² при первом испытании она составила 0,005 л/м², а при втором еще меньше.

Таким образом, произведенные экспериментальные работы показали, что железобетонные напорные трубы «примо» удовлетворяют требованиям испытаний по любому из указанных методов. Также выдержала испытания и применяемая конструкция гибкого стыка.

Производство труб «примо» является достаточно экономичным. Простота монтажа и в случае необходимости демонтажа оборудования, транспортабельность его (очень важные обстоятельства при организации местных установок), высокое качество труб при малом расходе металла и удобный способ их укладки обеспечили признание труб «примо» за рубежом.

Для строительства Квилонского напорного водовода в Индии протяженностью 29 км были запроектированы железобетонные трубы типа «примо» диаметром 700 мм. Завод для производства труб был размещен в Чавора, приблизительно посередине трассы водовода между Квилоном и питающим его водой озером. Кроме строительства основной магистралей проектом была предусмотрена укладка разводящей сети водоснабжения по району.

Завод работал в три смены, выпуская в каждую смену 7—10 труб длиной 5 м по технологии, разработанной заводом «Асторпс Брук».

По имеющимся данным, абсолютные значения напряжений в арматуре, бетоне сердечника и защитном слое менялись в процессе изготовления трубы следующим образом. Напряжение в спиральной арматуре при навивке составляло $\sigma_0 = 12\,376 \text{ кг/см}^2$, что соответствовало 0,65 R_a^n ($R_a^n = 19\,000 \text{ кг/см}^2$); при этом в бетоне сердечника создавались сжимающие напряжения около 150 кг/см².

Таким образом, проволока диаметром 2 мм с площадью сечения $f_n = 0,0314 \text{ см}^2$ навивалась с усилием

$$N = \sigma_0 f_n = 12\,376 \cdot 0,0314 = 390 \text{ кг}.$$

Шаг навивки спирали при толщине стенки железобетонного сердечника $d=30 \text{ мм}$ для обеспечения заданного предварительного напряжения в бетоне $\sigma_0=150 \text{ кг/см}^2$ должен был составлять

$$s = \frac{N}{d\sigma_0} = \frac{390}{3 \cdot 150} = 0,86 \text{ см (8—9 мм)}.$$

После того как стенки сердечника были подвергнуты внутреннему гидравлическому давлению 20 ат, напряжение в бетоне уменьшилось, а в спиральной арматуре увеличилось до $13\,441 \text{ кг/см}^2$, или на 9%.

После нанесения и твердения защитного слоя гидравлическое давление сбрасывали и напряжение в спиральной арматуре восстанавливалось до $\sigma_0=12\,376 \text{ кг/см}^2$. Учитывая, что предварительно напряженная спираль с тем же усилием предварительного натяжения обжимала не только бетон сердечника, но вместе с ним и бетон защитного слоя, т. е. усилие от проволоки передавалось на большую площадь бетона, сжимающие напряжения в бетоне соответственно должны были понижаться и составлять как в бетоне сердечника, так и в защитном слое (общая толщина $h=46 \text{ мм}$):

$$\sigma'_0 = \frac{N}{sh} = \frac{390}{0,86 \cdot 4,6} = 100 \text{ кг/см}^2,$$

что и подтвердилось экспериментальными данными.

Все технологические процессы на заводе механизированы. Трубы при укладке соединяли с помощью резиновых кольцевых прокладок. Снаружи стык обрабатывали асфальтовой изоляцией.

При укладке труб по кривой допускали отклонение их от оси трубопровода на угол до 2° без применения специальных фасонных элементов.

Стоимость изготовленных на месте железобетонных напорных труб типа «примо» оказалась в три раза ниже стоимости чугунных труб.

2. ПРОИЗВОДСТВО НАПОРНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 500—1250 мм НА ЗАВОДЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ В ЧЕЛЯБИНСКЕ

В 1961 г. в Челябинске сдан в эксплуатацию трубный цех по производству железобетонных напорных труб с предварительно обжатым защитным слоем. Технологический процесс трехступенчатый, аналогичный описанному выше шведскому.

Однако если на заводе в г. Осторп по новому способу освоено производство напорных труб диаметром только 400—700 мм, то на Челябинском заводе освоено производство предварительно напряженных труб диаметром 700, 1000 и 1250 мм на 8, 10, 12 ат.

Проектная мощность предприятия, в зависимости от диаметра выпускаемых труб, приведена в табл. 43.

Проект цеха разработан институтом Гипростройиндустрия. Здание цеха запроектировано с двумя пролетами по 12 м, длиной 174 м, с пристройкой для бетоносмесительного узла и бытовых помещений; высота до отметки подкранового рельса 8 м. В пролетах применены мостовые краны грузоподъемностью до 20 т. Производственная площадь цеха 4,2 тыс. м^2 . В цехе имеются отделения: бетоносмесительное, сборки и

Проектная мощность предприятия

Внутренний диаметр трубы в мм	Объем в трубе		Производительность цеха труб					
	бетона сер-дечника в м ³	торкрет-слоя в м ³	в год в			в сутки в		
			м ³	пог. м	шт.	м ³	пог. м	шт.
500	0,288	0,141	3 325	38 750	7750	11,9	140	28
700	0,462	0,193	4 350	33 200	6640	15,6	120	24
1000	0,959	0,276	6 800	27 500	5500	24,4	100	20
1250	1,641	0,373	9 800	24 200	4840	35	87,5	17,5
1500	2,525	0,48	11 600	19 350	3870	42	70	14

подготовки форм, формовочное, навивки спиральной арматуры, торкретирования, отделочное, испытательное, пять камер для тепловлажностной обработки.

Трубный цех расположен на территории действующего завода железобетонных изделий. В связи с этим производство труб обеспечено электроэнергией, водой, паром от общезаводских сетей и коммуникаций. Цемент и заполнители также поступают с общих складов завода, но при цехе в связи со специфичностью трубного производства предусмотрены дробильно-сортировочная и обогатительная установки для подготовки заполнителей и самостоятельный бетонный узел. Около цеха имеется склад труб, оборудованный крановой эстакадой.

В цехе предусмотрена одна технологическая линия, рассчитанная на одновременный выпуск труб только одного диаметра. Для производства труб других диаметров предприятие располагает сменным оборудованием, при этом перестройка технологической линии на изготовление труб другого диаметра связана с затратой значительного времени. План запроектированного цеха с размещением основного технологического оборудования показан на рис. 146.

В настоящее время выстроен и находится в эксплуатации второй цех с технологической линией для труб диаметром 1000—1500 мм.

Технологический процесс начинается с отдельно расположенного цеха обогащения заполнителей. Песок и щебень получают с базисного склада заполнителей завода железобетонных изделий в автосамосвалах и выгружают в соответствующие приемные бункера емкостью по 2,5 м³. Песок из бункера лотковым питателем и элеватором подают в шнековую пескомойку С-175 производительностью 15—20 м³/ч. Промытый песок поступает далее через обезвоживающий лоток, лотковый питатель и элеватор в железобетонный бункер емкостью 5 м³. Из этого бункера ленточным транспортером песок направляют в сушильный барабан СБ-1 диаметром 1600 мм, длиной 8 м, а из него — элеватором на грохот ГУП-1 производительностью 30—80 т/ч для отсева песка на четыре фракции в соответствующие бункера.

Щебень из приемного бункера лотковым питателем и элеватором подают в конусную дробилку СМ-561, откуда вибропитателем и элеватором направляют на грохот с одновременной его промывкой и далее через обезвоживающий лоток, элеватор и ленточный транспортер — в сушильный барабан. Щебень, оставшийся на грохоте, возвращают в дробилку. Из сушильного барабана через элеватор щебень поступает на грохот, где его рассеивают на фракции 4—8 и 8—16 мм, и далее — в бункера. Сушку песка и щебня производят горячим чистым воздухом, подогретым в огневом калорифере. В сушильных барабанах влажность заполнителей снижается: песка с 25 и щебня с 15 до 1%.

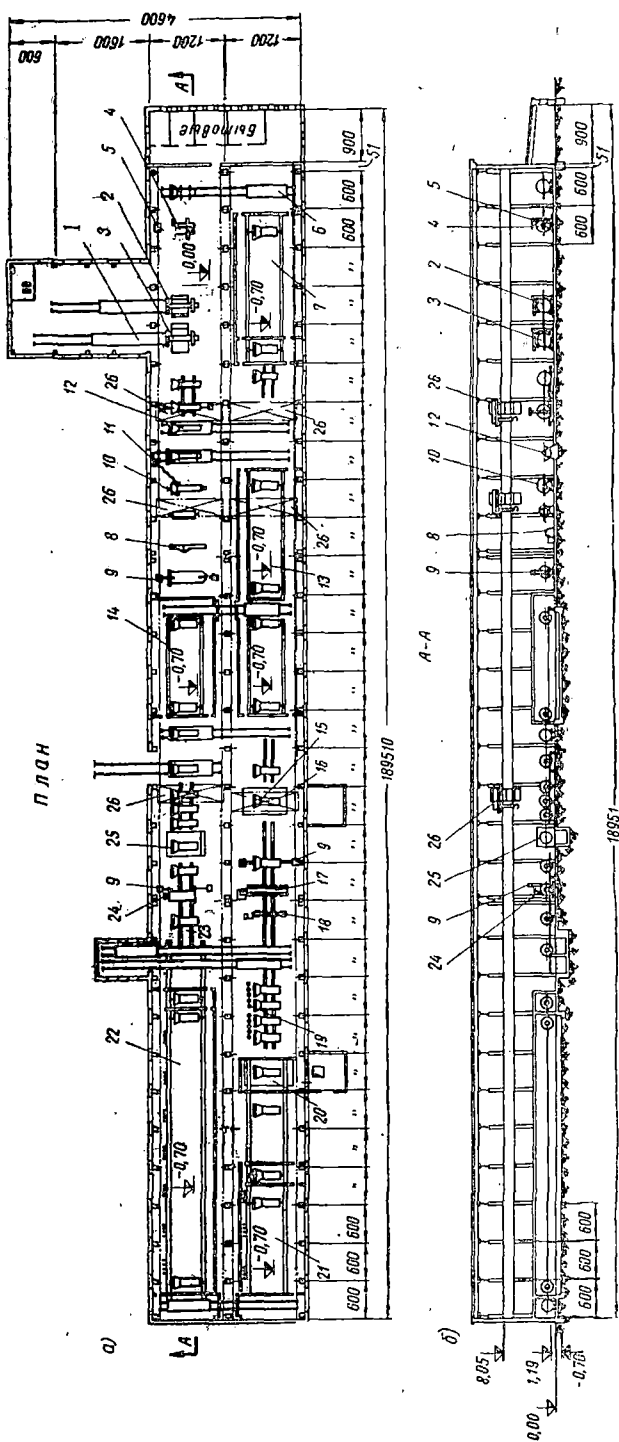


Рис. 146. Главный корпус завода железобетонных напорных труб в Челябинске

а — план; б — разрез; 1 — локковые питатели; 2 — центрифуга для изготовления труб диаметром 500—700 мм; 3 — центрифуга для изготовления труб диаметром 1000—1500 мм; 4 — установка для выреза раструба; 5 — консольный кран; 6 — тележки; 7 — камера для теплоизоляционной обработки железобетонных сердечников; 8 — станок для навивки продольной арматуры; 9 — консольный кран поста сборки стержня с шайбами и монтажными кольцами; 10 — установка для стегания продольной арматуры (образование раструба); 11 — гидронасосная установка, обслуживающая пост натяжения продольной арматуры; 12 — станок для навивки спиральной арматуры на трубы диаметром 1000—1500 мм; 13 — камера № 2 для теплоизоляционной обработки железобетонных сердечников без формы; 14 — то же, камера № 2а; 15 — установка поста натяжения продольной арматуры; 16 — пескоструйный аппарат; 17 — станок для навивки спиральной арматуры на трубы диаметром 500—700 мм; 18 — то же, на трубы диаметром 1000—1500 мм; 19 — установка высокого давления; 20 — установка для нанесения защитного слоя торкретированием; 21 — камера № 3 для теплоизоляционной обработки; 22 — то же, камера № 3а; 23 — оборудование поста для извлечения металлических сердечников; 24 — станок для обрезки продольной арматуры и шлифовки торцовых поверхностей; 25 — стенд для гидравлического испытания труб; 26 — мостовые краны

Из расходных бункеров песок и щебень подают ленточным транспортером в бетоносмесительный цех. В цехе установлены три бетономешалки принудительного действия: емкостью 1000 л для приготовления бетонной смеси, применяемой для изготовления сердечников труб диаметром 1000—1500 мм; емкостью 500 л для приготовления бетонной смеси, применяемой для изготовления сердечников труб диаметром 500 и

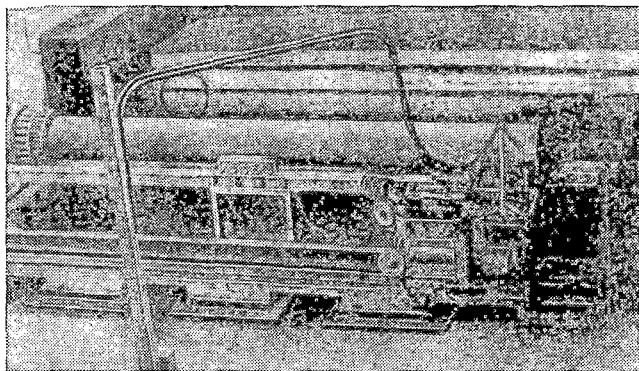


Рис. 147. Станок для навивки продольной арматуры из высокопрочной проволоки

700 мм, и одна бетономешалка емкостью 500 л для приготовления сухой смеси, применяемой для торкретирования. Компановка цеха выполнена по вертикальной схеме с применением типовых узлов и серийного оборудования.

Цемент подают из центрального склада пневмотранспортом в циклон, из которого распределительным шнеком направляют в отсеки бункеров для цемента в бетоносмесительном цехе. Фракции заполнителей подают в бетоносмесительный цех наклонным ленточным транспортером и через поворотную воронку последовательно заполняют ими шесть отсеков бункера.

Компоненты бетонной смеси отвешивают дозаторами с дистанционным управлением, смонтированными под расходными бункерами, собирают в общей воронке и поворотной воронкой загружают в соответствующую бетономешалку. Бетонную смесь подают в формовочное отделение самоходными бункерами. Сухую смесь для торкретирования во избежание ее перегрева и распыления транспортируют в цех в съемных бункерах на электрокарах.

Трубный цех включает следующие технологические посты: навивки продольной арматуры на монтажные стержни; стягивания каркаса продольной арматуры в местах образования раструба; сборки форм с предварительным напряжением продольной арматуры; изготовления центрифугированием железобетонных сердечников; формования и обработки раструба; тепловлажностной обработки сердечника в форме в камере № 1, распалубки и тепловлажностной обработки распалубленного сердечника в камерах № 2; обработки сердечника пескоструйным аппаратом; навивки с предварительным напряжением спиральной арматуры; нанесения торкретированием защитного слоя на поверхность сердечника, находящегося под гидравлическим напором; тепловлажностной обработки защитного слоя в камерах № 3; отделки и шлифовки концов труб для раструбного соединения; опрессовки готовых труб испытательным гидравлическим давлением; проверки ОТК; складирования.

Автоматическая навивка продольной арматуры из высокопрочной проволоки на штыри торцовых шайб осуществляется на станке (рис. 147). Одновременное натяжение всех струн с расчетным натяжением гидравлическими домкратами происходит уже на посту сборки форм.

На Челябинском заводе с 1962 г. применяют для продольной арматуры трехпроводные пряди ($3\varnothing 1,22$ мм), которые навивают с первоначальным натяжением на прядь до 200 кг. На станке можно навивать каркасы продольной арматуры для труб диаметром от 500 до 1500 мм. При этом торцовые шайбы должны соответствовать размерам цилиндрической и раструбной частей изготавливаемой трубы.

Станок для навивки продольной арматуры оборудован электрическим и пневматическим приводами. Электрический двигатель мощностью 4,5—9 квт, 480—960 об/мин. Вес станка 5,6 т. Габариты станка в плане $6,44 \times 2,65$ м. Когда навивка окончена, свободный конец проволоки закрепляют (рис. 148) и опорный стержень с навитой арматурой мостовым краном перемещают на установку для стягивания каркаса продольной арматуры в месте образования раструбной части.

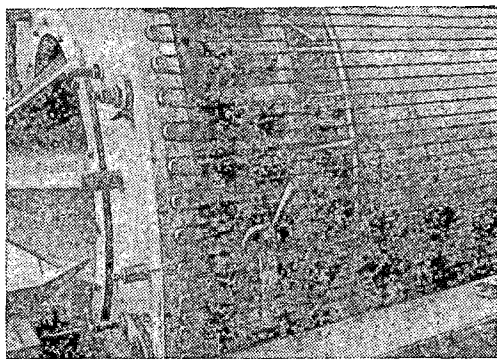


Рис. 148. Деталь закрепления конца проволоки после навивки продольной арматуры

В установке для образования раструбной формы каркаса имеются кронштейны, оборудованные обмоточным механизмом с гидравлическим управлением. Цапфы стержня с продольной арматурой укладывают на опоры установки. Место стягивания каркаса охватывают стальным канатом и эту петлю затягивают гидродомкратом до диаметра каркаса в цилиндрической части. Указанное положение фиксируют несколькими проволоочными витками, скрепленными с продольной арматурой. После этого стержень с продольной арматурой подают краном на пост подготовки форм.

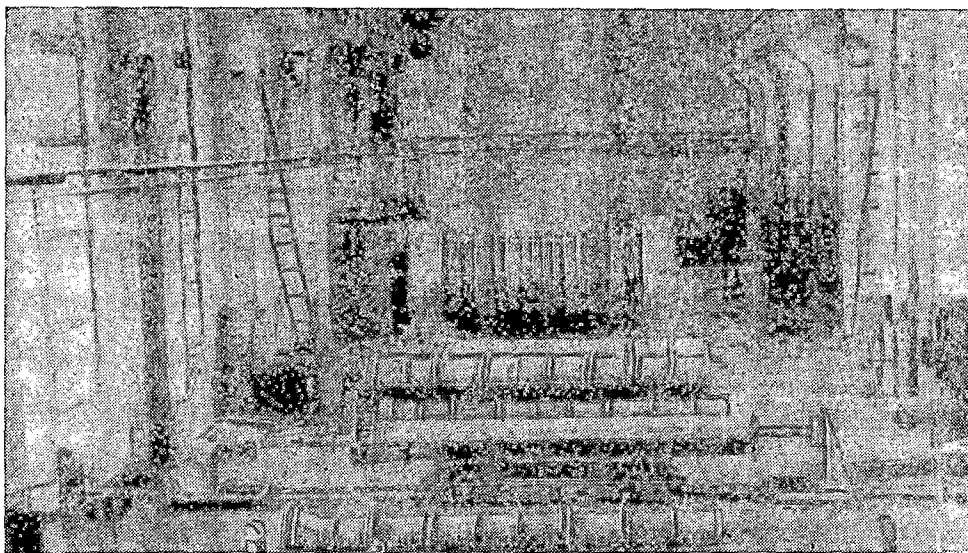


Рис. 149. Общий вид отделения для сборки форм и центрифугирования

На посту сборки форм продольную арматуру на стержне натягивают до расчетной величины, вытягивая гидроцилиндрами, смонтированными между торцевой шайбой и упорным фланцем стержня со стороны раструба. Стержень с предварительно напряженной продольной арматурой укладывают в подготовленную нижнюю

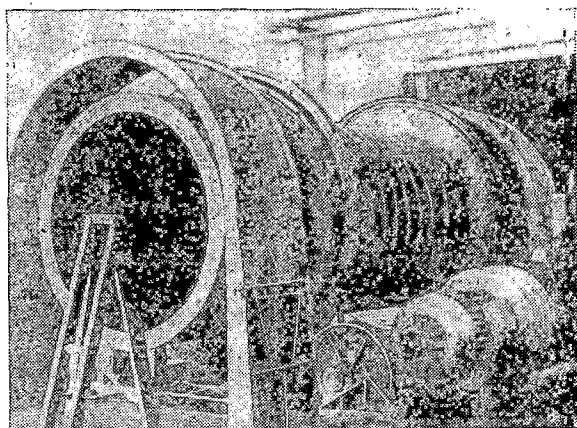


Рис. 150. Общий вид центрифуги с установленной формой диаметром 1250 мм

полуформу и закрывают верхней полуформой. После этого полуформы соединяют между собой стяжными болтами с помощью пневматических гайковертов.

После сборки формы давление в гидроцилиндрах сбрасывают, и монтажные кольца, стянутые продольной напряженной арматурой, упирают в торцы формы, которая теперь воспринимает все усилия от продольной арматуры. Монтажные кольца от-

соединяют, концы стержня со стороны раструбной части закрепляют к его съемнику, а вагонетку с формой откатывают, освобождая форму от стержня. Освобожденную форму передают на пост установки бандажей и центрифугирования, а стержень с шайбами возвращают на место их первоначальной сборки.

Общий вид отделения для сборки формы и центрифугирования показан на рис. 149.

Оснащенную бандажами форму переносят краном и устанавливают на роликовую центрифугу. В форме находится специальная втулка для формования раструба. Общий вид центрифуги с формой диаметром 1250 мм показан на рис. 150. В цехе установлены две центрифуги: № 1 — для формования труб диаметром 500—700 мм и № 2 — для формования труб диаметром 1000—1500 мм. Расстояние между роликами центрифуги регулируют в зависимости от диаметра устанавливаемой на нее формы. Габариты станин центрифуг: № 1 — 3×5,85 м и № 2 — 5,55×6,5 м. Вес центрифуги № 1 — 9 т; № 2 — 15,5 т. Мощность электродвигателя у центрифуги № 1—18,5 и № 2—37 квт; в обоих случаях — 1460 об/мин. Центрифуги оборудованы: питателями, пультом управления, гидравлическими вибраторами и щитками для предохранения от разбрызгивания бетонной смеси.

Технология центрифугирования следующая: центрифугу включают с первоначальной скоростью, необходимой для заполнения бетонной смесью раструбной части формы, а ложковый питатель в это время равномерно заполняют бетонной смесью. В раструбный конец формы бетонную смесь подают непосредственно из самоходного бункера, после чего последний отводят для промывки. Количество укладываемой в раструб бетонной смеси в зависимости от диаметра формируемой трубы составляет:

Внутренний диаметр трубы в мм .	500	700	1000	1250	1500
Объем бетонной смеси в л	45	67	130	250	450

Центрифугирование уложенной в раструбную часть трубы бетонной смеси производят при повышенном количестве оборотов в течение 1 мин для труб диаметром 500—700 мм и 2—4 мин для труб диаметром 1000—1500 мм. Следом за этим из остановленной формы сливают шлам и в форму вводят ложку питателя. Центрифугу снова включают на малое число оборотов, одновременно производится загрузка формы бетонной смесью. Для этого ложку поворачивают на 180°, откидывают заслонку и включают вибраторы. Бетонную смесь равномерно распределяют внутри формы и дополнительно в течение 1 мин разравнивают и заглаживают заслонкой и еще столько же времени продолжают этот процесс после выключения вибраторов. После этого ложку питателя выводят, а количество оборотов формы увеличивают до максимального, продолжая центрифугирование 15—20 мин. Режим центрифугирования зависит от применяемой бетонной смеси. Ориентировочно для разных диаметров труб рекомендуемые скорости вращения роликов центрифуг в процессе центрифугирования указаны в табл. 44.

Таблица 44

Скорость вращения опорных роликов
в процессе центрифугирования

Наименование процесса	Скорость вращения роликов в об/мин при диаметре трубы в мм				
	500	700	1000	1250	1500
	и стандартном диаметре бандажей форм в мм				
	1018	1248	2050	2300	2550
Заполнение раструба	350		280		
Центрифугирование раструба	700		650		
Заполнение трубы	250		280		
Заглаживание трубы	250		280		
Центрифугирование трубы	925		750		

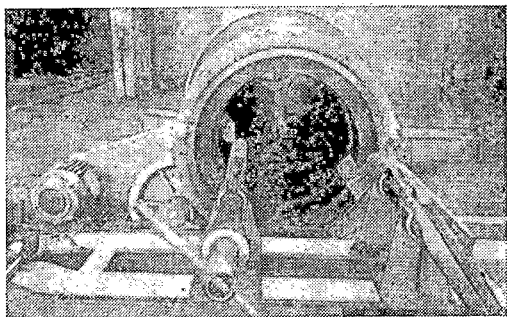


Рис. 151. Общий вид обрабатываемого раструба в форме, вращаемой на станке

Во время центрифугирования уложенной смеси самоходный бункер и ложку питателя промывают водой и заполняют новой порцией бетонной смеси. Если формование сердечника производят за два приема (двухслойное центрифугирование), процесс заполнения формы бетонной смесью, за исключением раструбной части, повторяют.

Форму с железобетонным сердечником снимают крапом и передают на станок для формования раструба; который представляет собой станину размером в плане

3×4 м с четырьмя несущими роликами; на эти ролики укладывают обрабатываемую трубу в форме. Станок оборудован устройствами для вырезки и обработки раструба, пультом управления, двумя электродвигателями мощностью 0,75 и 2,2 квт соответственно с 950 и 190 об/мин. Вес станка 2,7 т.

Когда форма установлена на ролики станка, производят регулировку глубины обработки раструба, устанавливают резец и начинают вращение формы. Вырезку раструба производят за пять основных и один шестой завершающий проход ножа. После этого режущее устройство от-

водят и начинают обработку раструба роликом и окончательно — гладилкой. Раструб должен быть идеально гладким и с минимальными допусками по размерам, поэтому после остановки станка и вывода гладилки раструб тщательно обмеряют. Вид обрабатываемого раструба в форме, установленной на станке, показан на рис. 151.

После формования и отделки раструба железобетонный сердечник в форме укладывают краном на самоходную тележку и направляют в камеру для тепловлажностной обработки. Перед этим с формы снимают бандаж, которые передают на пост сборки и подготовки формы. Затем форму укладывают на направляющие тележки, расположенные перпендикулярно к ее движению. При подходе к проему камеры форму по этим направляющим перемещают на соответствующие опоры, уложенные вдоль камер. Для труб диаметром 500—700 мм ширина колеи принята 3000 мм, а для труб диаметром от 1000 до 1500 мм — 1620 мм.

Тепловлажностную обработку сердечников в формах производят в ямных камерах. Изъятую из ямной камеры № 7 (см. рис. 146) форму с сердечником распубликают (за исключением торцовых монтажных колец, на штыри которых навита продольная арматура) и освобожденный сердечник мостовым краном направляют для дальнейшей тепловлажностной обработки в камеру № 2 (трубы большого диаметра — в камеру № 2а). Эти камеры представляют собой бассейн шириной 6,4 м, длиной 20,4 м, глубиной 0,7 м. Железобетонные сердечники, во избежание их повреждения, перекатывают над бассейном с горячей водой не по металлическим, а по деревянным направляющим. Сердечники орошают горячей водой не только изнутри, но и снаружи спринклерными установками. Горячую воду в трубопровод из бассейна подают под давлением 5 ат центробежными насосами производительностью 500 и 1000 л/мин. На заводе продолжительность обработки в камере № 2 принята 24 ч. В пусковой период температуру воды в бассейнах принимали в пределах 42—48°С. Образцы центрифугированного бетона с расходом цемента 720 кг/м³ в таких условиях за 8 ч приобретали прочность около 170 кг/см², а за 20—22 ч — около 250 кг/см². Отсюда был сделан вывод, что выдерживание железобетонного сердечника в камере при указанной температуре не может быть принято менее 20 ч.

Из камеры № 2 сердечник перекатывают по направляющим в отделение для очистки его поверхности пескоструйным аппаратом. Станок для очистки поверхности сердечника от следов смазки, загрязнения, а также от цементной пленки (с целью придания бетонной поверхности большей шероховатости для лучшего сцепления с защитным слоем трубы) состоит из металлической станины с размером в плане 1,3×3,4 м, на которой укреплены четыре ролика с резиновым покрытием, поддерживающие и вращающие сердечник во время его обработки. Расстояние между роликами регулируют в зависимости от диаметра сердечника. Станок оборудован электродвигателем мощностью 1,5 кВт, 1450 об/мин, пескоструйным аппаратом с давлением сжатого воздуха 4—6 ат, шлангом длиной 10 м и предохранительным щитком. Вес станка 0,7 т. Помещение, в котором он установлен, должно быть обшито изнутри, во избежание износа ограждающих конструкций, резиной или другим упругим материалом.

Обработанные сердечники диаметрами 500—700 мм поднимают с роликов станка на раме с гидроприводом до отметки направляющих брусьев и удаляют по ним из помещения. Сердечники диаметром 1000—1500 мм устанавливают и снимают мостовым краном через раздвижное перекрытие камеры.

Следующей технологической операцией является навивка с предварительным напряжением спиральной арматуры. Перед навивкой на очищенную поверхность сердечника укладывают ряд продольной арматуры из проволоки, которую наматывают по окружности торцовых монтажных

колец. Сердечник, подготовленный для навивки, устанавливают мостовым краном на навивочный станок и зажимают между его бабками. Установка для навивки спиральной предварительно напряженной арматуры включает два станка: № 1 — для навивки на сердечники труб диаметром 500—700 мм и № 2 — для навивки на сердечники труб диаметром 1000—1500 мм. Станки одинаково устроены, но различны по мощности. Они состоят из опорной рамы с размерами в плане соответственно $1,69 \times 7,93$ и $2,2 \times 11$ м, на которой в передней бабке смонтированы коробка скоростей для регулирования скорости вращения сердечника и система тормозов для обеспечения величины натяжения навиваемой высокопрочной проволоки. Величину натяжения проволоки, контролируруемую по динамометру, можно регулировать ручным управлением. Вдоль станка по направляющим движется каретка, с помощью которой на сердечник накладываются витки проволоки с заданным шагом. Скорость движения каретки, а следовательно, и шаг навиваемой проволоки регулируют вариатором.

На станке № 1 может быть создано максимальное натяжение проволоки 1200 кг, в связи с чем применяют проволоку с наибольшим диаметром 3,5 мм; шаг спирали в пределах 4—17 мм. Мощность электродвигателя привода 15 квт, 1480 об/мин. Вес станка 4,2 т.

На станке № 2 соответственно: максимальное натяжение 2500 кг, наибольший диаметр навиваемой проволоки 5 мм, шаг навивки в пределах 7—30 мм. Мощность электродвигателя 18 квт, 1480 об/мин. Вес станка 5,6 т.

Каждый станок оборудован пультом управления, натяжным устройством для цилиндрической и раструбной частей сердечника и катушкой для бухты проволоки.

Для навивки применяют высокопрочную проволоку по ГОСТ 7348—63, поставляемую Белорецким заводом.

При изготовлении в цехе напорных труб диаметром 1250 мм во время навивки было установлено, что проволока диаметром 5 мм часто не выдерживала расчетного усилия натяжения 2350 кг и рвалась при усилии натяжения в пределах 1200—1800 кг. При изучении причин обрыва проволоки, по данным б. Уральского филиала АСИА СССР, было установлено, что в большинстве случаев разрыв был следствием неоднородности проволоки по длине, хотя испытания стандартных образцов показали, что если не учитывать наружных дефектов, то проволока в основном удовлетворяет требованиям ГОСТ 7448—50; это видно из графика, построенного по результатам испытаний (рис. 152). Однако кроме обнаруженных дефектов было установлено, что в процессе навивки проволока получает дополнительные неучитываемые растягивающие напряжения в момент прохождения ее через подающий ролик (рис. 153). На этом ролике диаметром 500 мм проволока, меняя направление под углом 90° ,

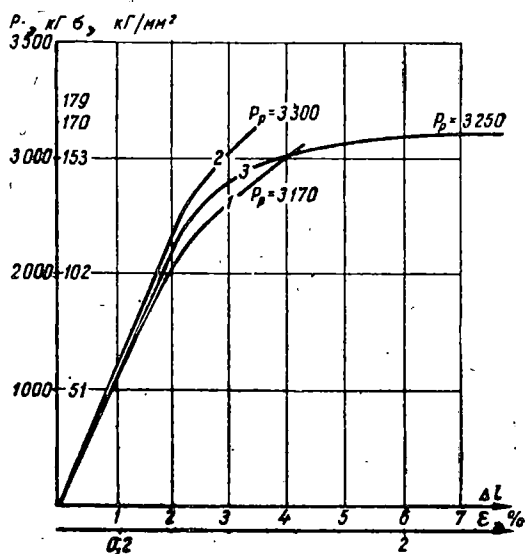


Рис. 152. График результатов испытаний образцов высокопрочной проволоки по ГОСТ 12004—66

получает дополнительные напряжения от изгиба порядка 1800 кг/см^2 . Следовательно, наиболее растянутые волокна проволоки получают на этом участке напряжение:

$$\sigma_p = \frac{2350}{0,785 \cdot 0,5^2} + 1800 = 13700 \text{ кг/см}^2,$$

что составляет от предела прочности проволоки $\frac{13700}{17000} = 0,805 (0,7)$.

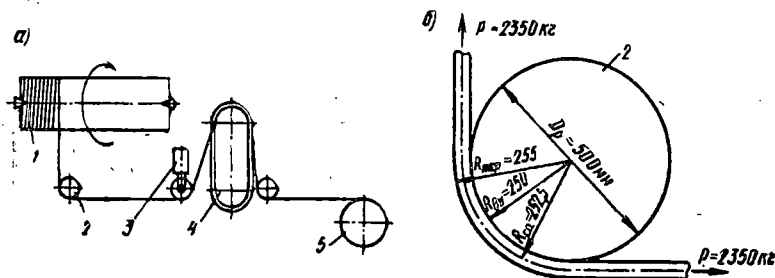


Рис. 153. Схема появления перенапряжений в сечении высокопрочной проволоки при прохождении ее через направляющий ролик при наливке
а — схема наливки спиральной арматуры; б — растянуто-изогнутое напряженное состояние проволоки; 1 — железобетонный сердечник; 2 — подающий ролик; 3 — индикатор напряжения; 4 — натяжное устройство станка; 5 — барабан с проволокой

Во избежание перенапряжения во время наливки и, как следствие, обрыва проволоки было предложено использовать для ее частичного натяжения электронагрев. Схема установки для электронагрева, разработанная

б. Уральским филиалом АСИА СССР совместно с заводом, показана на рис. 154.

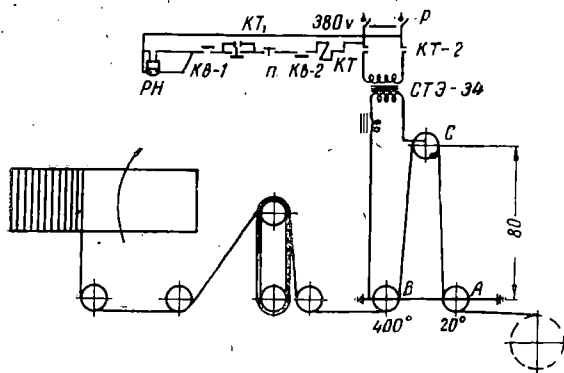


Рис. 154. Схема установки для электронагрева высокопрочной проволоки при наливке, разработанная б. Уральским филиалом АСИА СССР

КТ₁ — катушка контактора; КВ-2 — конечный выключатель на рукоятке скорости; КТ — блок-контактор; КВ-1 — конечный выключатель на динамометре; РН — контакторы реле минимального напряжения; п — пуск; Р — рубильник; КТ-2 — линейные контакты контактора

Нагрев проволоки производят на участке, длина которого отвечает скорости наливки. Температура нагрева принята с учетом потери тепла за время перемещения проволоки от нагреваемого участка к сердечнику. Расчетную температуру витка проволоки, обжимающего сердечник в результате его охлаждения (такой виток принят третьим по счету от наливаемого), определяют исходя из предварительного напряжения, которое наме-

чено получить путем электронагрева. Если принять, что механическим путем возможны осуществлять натяжение на проволоку диаметром 5 мм до 1250 кг , то на долю электронатяжения остается обеспечить усилие $2350 - 1250 = 1100 \text{ кг}$, или

$$\sigma_t = \frac{1100}{0,785 \cdot 0,5^2} = 5600 \text{ кг/см}^2.$$

Искомая температура нагрева может быть определена из выражения

$$\Delta l = \alpha t l, \quad t = \frac{\Delta l}{\alpha l} = \frac{\varepsilon l}{\alpha l} = \frac{\sigma_t}{E \alpha};$$

следовательно:

$$t = \frac{5600}{1\,800\,000 \cdot 12,3 \cdot 10^{-6}} = 253^\circ \text{C}.$$

На заводе экспериментировали с двумя установками для электро-натяжения при навивке сердечников диаметром 1250 и 700 мм (в последнем случае осуществлялась навивка проволоки диаметром 2,5—3 мм).

При навивке оба свободных конца проволоки крепят к сердечнику с помощью зажимов. Затруднение представляет сращивание проволоки по длине; если проволока поставляется в небольших бухтах (на один сердечник диаметром 1250 мм требуется около трех таких бухт проволоки). В этом случае простейшим решением было бы осуществлять стык путем сварки. Испытаниями, произведенными б. Уральским филиалом АСИА СССР, подтвердилось, что прочность стыка сварки составила 0,47—0,6 прочности проволоки. Этого теоретически было бы достаточно для обеспечения требуемого обжатия сердечника, если снижение усилия в области стыка проволоки компенсировать уменьшением шага навивки. Однако, как правило, проволока рвалась по стыку в месте перегиба, в связи с чем такой способ сращивания рекомендовать нельзя. Сращивание проволоки следует рекомендовать только в случае аварийных обрывов и производить его специальными муфтами типа «никопресс» (см. далее). В принципе же необходимо получать бухты проволоки такой длины, чтобы производить непрерывную навивку проволоки без сращивания.

После окончания навивки сердечник перемещают на пост нанесения предварительно напряженного защитного слоя. Перед этим обрезают кусачками подстилающую арматуру и удаляют торцовые вставки. Подготовку железобетонного сердечника к нанесению защитного слоя осуществляют путем создания в обжатых бетонных стенках деформаций обратного знака, используя гидравлическое давление изнутри трубы. Затем наносят торкретированием защитный слой на поверхность сердечника, находящегося под гидравлическим давлением.

Твердение защитного слоя происходит в камерах тепловлажностной обработки, после чего на установке осуществляют обжатие затвердевшего защитного слоя предварительно напряженной спиральной арматурой совместно с бетонной стенкой сердечника в результате сброса гидравлического давления внутри трубы.

Однако Челябинский завод изменил технологию и в 1968—1969 гг. выпускает трубы без обжатия защитного слоя.

Железобетонный сердечник подают на торкрет-установку и закрепляют в нужном положении на станке. Станок для нанесения торкретного слоя состоит из станины размером 1,6×6,8 м с двумя бабками. В одной из них размещены привод и коробка скоростей для регулирования скорости вращения сердечника во время нанесения раствора на его поверхность; мощность электродвигателя 2,2 кВт; вес станка 1,6 т. Станок оборудован пультом управления, приводным ремнем и ножом для создания требуемой толщины и контура защитного слоя по всей длине сердечника. Цементный слой наносят на поверхность вращаемого сердечника цемент-пушкой. В составе торкрет-установки две цемент-пушки с габаритами 0,9×1×1,85 м, весом по 0,7 т, бункер для цементно-песчаной смеси, питатель с электродвигателем 2,2 кВт, 1450 об/мин,

сопло с камерой для смешивания смеси с водой, шланги, пульт управления. Цементную смесь распыляют через сопло сжатым воздухом.

В процессе торкретирования «отскок» раствора собирают в воронку, откуда через транспортер и элеватор направляют в бункер для отходов; пыль из помещения удаляют вентилятором.

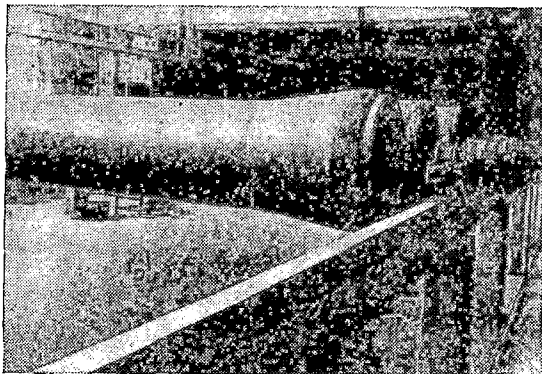


Рис. 155. Выкатывание железобетонных труб из камеры торкретирования по рельсам

Из торкрет-установки трубы цепным конвейером выкатывают на тележках по рельсам с шириной колеи 5900 мм (рис. 155), выдерживают в цехе приблизительно 2 ч и направляют далее в камеры № 3—3а для тепловлажностной обработки защитного слоя.

Тепловлажностная обработка в камерах № 3 и 3а происходит, так же как и в предыдущих камерах, горячей водой. Продолжительность обработки по проекту 35 ч при температуре 50°С. Затем трубу

мостовым краном переносят на следующий пост для обрезки концов продольной арматуры, снятия монтажных колец и шлифовки торцовых поверхностей трубы (рис. 156). Станок состоит из сварной станины размером 2,93×7 м, на которой смонтированы покрытые резиной опорные ролики. На ролики укладывают трубу для обработки и вращают ее (один из роликов является ведущим) с помощью коробки скоростей и электродвигателя 1,5 кВт.

По концам станка установлены карборундовые диски, приводимые в движение электродвигателями мощностью по 15 кВт, 2950 об/мин. Подача дисков производится автоматически: после того как они пройдут все сечения трубы, электродвигатель выключается, а диски возвращаются обратно. Вес станка 3,9 т.

Станок оборудован пультом управления. Перед установкой трубы расстояние между центрами роликов регулируют в соответствии с диаметром обрабатываемой трубы и положением обрезных дисков. Один из дисков вместе с мотором смонтирован на салазках, поэтому его можно перемещать вдоль трубы для обработки ее поверхности в любом месте. Затем трубу переносят краном на стенд для гидравлического испытания.

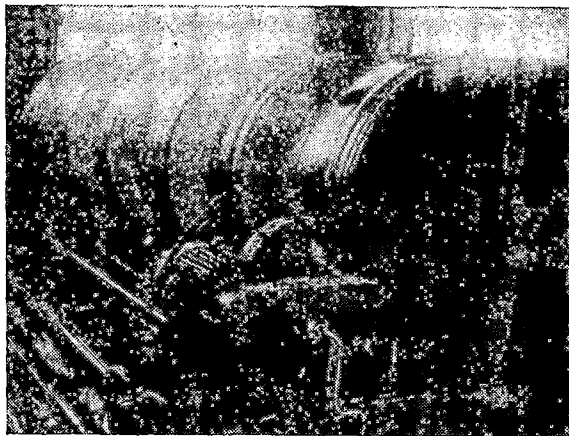


Рис. 156. Станок для обрезки продольной арматуры, снятия монтажных колец и шлифовки торцовых поверхностей труб

Стенд для гидравлического испытания готовых напорных труб имеет размер опорной конструкции в плане $1,3 \times 7,5$ м. Испытуемую трубу на вагонетке подают на стенд и устанавливают между торцовыми щитами, стянутыми четырьмя мощными стальными тягами. В торцах тру-

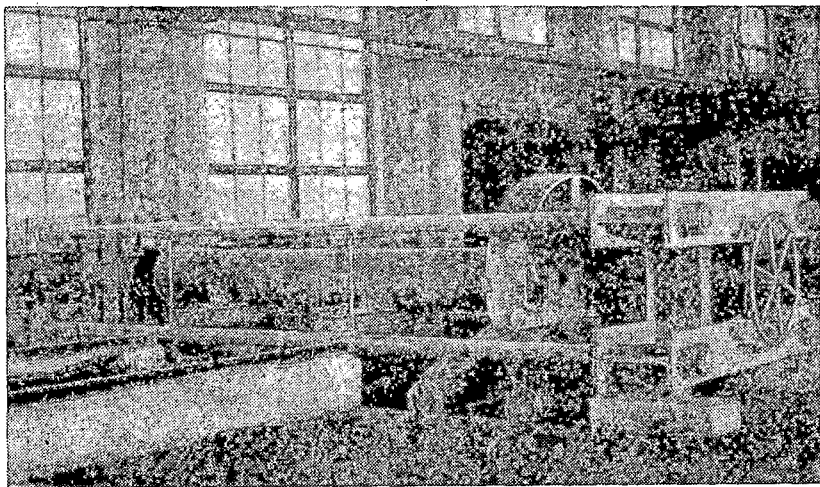


Рис. 157. Станок для испытания труб гидравлическим давлением

бы резиновыми кольцами имитируют гибкое соединение. Стенд оборудован насосом, обеспечивающим испытательное гидравлическое давление воды до 50 ат. Вес конструкции испытательного станка 12,5 т (рис. 157). Испытание гидравлическим давлением производят в течение 20 мин.

После испытания трубу принимает контролер ОТК и направляет на склад готовой продукции (рис. 158). Склад труб оборудован крановой эстакадой. Площадь склада принята из расчета 15-суточного запаса труб максимальным диаметром 1500 мм и составляет около 3,5 тыс м².

Работа цеха предусмотрена в две смены, за исключением установки по обогащению заполнителей и камер тепловлажностной обработки, которые работают непрерывно в три смены. Темп выпуска труб в зависимости от их диаметра принят от 30 до 60 мин.

Вес технологического оборудования и приспособлений, включая формы для труб всех диаметров, составляет при двух самостоятельных линиях на заводе 1120 т.

В процессе освоения производства в 1962 г. из общего количества изготовленных 1470 труб диаметром 1250 мм было отнесено к напорным

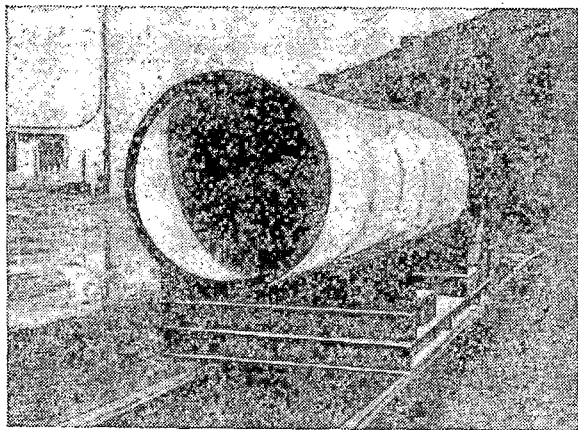


Рис. 158. Транспортирование готовых труб на склад

24%, к безнапорным 68%, забраковано 8%. При опытном изготовлении труб диаметром 700 мм из общего количества изготовленных 3044 труб выпуск напорных составил 65%, безнапорных 34% и брак около 1%. Особые трудности выявились при освоении производства напорных труб диаметром 1250 мм из-за обвалов бетонной смеси при центрифугировании. Следует указать, что опыта изготовления таких труб на шведском

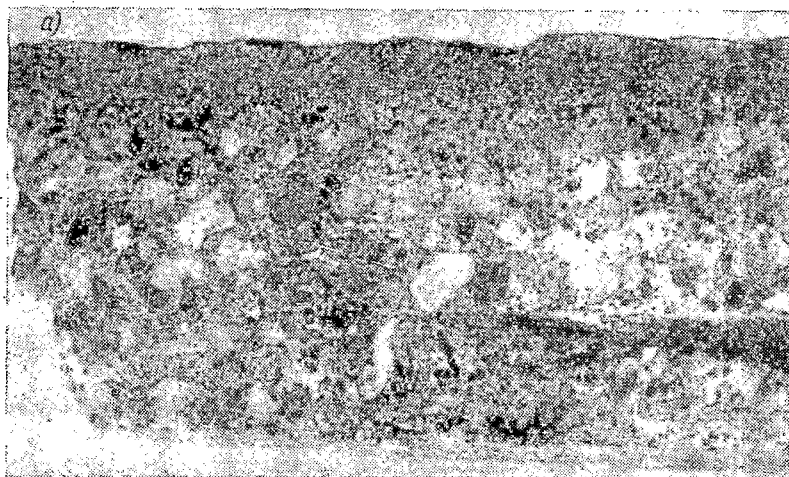


Рис. 159. Шлифы бетона железобетонных напорных труб, изготавливаемых Челябинским заводом

а — со значительной и б — с незначительной сепарацией бетонной смеси

оборудовании у поставляющей фирмы также не было. Однако основными причинами выхода большого количества безнапорных труб следует считать несоответствие техническим требованиям применяемых цементов и мелкого заполнителя.

За первое полугодие 1968 г. на Челябинском заводе было выпущено центрифугированных напорных труб диаметром 700 мм — 1210 м³ и диаметром 1000 мм — 630 м³; усредненная себестоимость производства труб составила 262,06 руб. за 1 м³, или 33,3 руб. за 1 пог. м.

Значительную исследовательскую работу по изучению и отработке технологии на заводе нового производства напорных труб диаметром

1250 мм провел б. Уральский филиал АСИА СССР, особенно в области изучения влияния на формирование структуры центрифугированного бетона применяемых цементов и заполнителей, водоцементного отношения и подвижности бетонной смеси.

Краткие итоги этих исследований следующие.

Как известно, под действием центробежных сил во время центрифугирования бетонной смеси зерна заполнителей перемещаются в сторону наружной поверхности сечения стенки сердечника, образуя жесткий каркас, склеенный цементным тестом. На внутреннюю поверхность сечения в процессе центрифугирования отжимаются излишки цементного теста, в результате чего здесь образуется слой раствора с очень большим содержанием цемента. На рис. 159, а и б показаны различные шлифы центрифугированного бетона с различной сепарацией бетонной смеси, полученные б. Уральским филиалом АСИА СССР.

Для получения прочного и плотного водонепроницаемого бетона в сердечнике трубы должны были быть изучены условия формирования его структуры: подвижность бетонной смеси, усилия уплотнения при центрифугировании и условия, при которых происходит вызревание бетона.

Влияние вида и расхода цемента на качество железобетонного сердечника. Замесы для формования сердечников применяли с расходом цемента 650—1070 кг/м³, В/Ц=0,28÷0,34 и щебне-песчаным отношением 0,23—1,15. С увеличением расхода цемента меняли водоцементное отношение для сохранения постоянства подвижности бетонной смеси в пределах 1—4 см осадки конуса, хотя практически эти пределы колебались значительно шире. Примерные составы дозировки бетонной смеси в кг/м³: цемент—650, песок—790, щебень—755, вода—218, цемент—1070, песок—810, щебень—432, вода—298.

Применяемые при исследованиях цементы характеризовались различной тонкостью помола — от 2810 см²/г (шлакопортландцемент марки 500 Еманжельского завода со сроками схватывания: начало 1 ч 40 мин, конец 2 ч 20 мин) до 3432 см²/г (портландцемент марки 600 Белгородского завода со сроками схватывания: начало 1 ч 35 мин, конец 3 ч 05 мин). Сроки схватывания цементов имели большой разброс.

На отформованной в цехе опытной партии труб диаметром 1250 мм было установлено следующее влияние расхода цемента на уплотнение бетона при центрифугировании. Из приведенных в табл. 45 данных следует, что расход цемента должен быть не менее 800 кг/м³, иначе процент обвалов становится совершенно недопустимым. При исследовании бетона дефектных труб было установлено, что в большинстве случаев бетонная смесь при центрифугировании подвергалась значительной сепарации. Количество цемента в жестком слое бетона находилось в прямой пропорции от его первоначального расхода и в обратной от В/Ц.

Зависимость качества уплотнения жесткого слоя, а следовательно, и возможности его обрушения от расхода цемента, В/Ц и подвижности бетонной смеси показана в табл. 46. Из приведенных данных следует, что хорошее уплотнение бетонной смеси достигалось при увеличении

Таблица 45

Влияние расхода цемента на качество труб

Расход цемента бетонной смеси в кг/м³	Отформовано труб в опытной партии в шт.	Из них обвалилось при центрифугировании в шт.	% брака
650	14	5	36
700	22	4	18
800	56	3	5
1070	392	2	0,5

Зависимость качества уплотнения жесткого слоя от расхода цемента

№ труб	Содержание цемента в $\text{кг}/\text{м}^3$			Водоцементное отношение			Подвижность бетонной смеси в см	Влажность жесткого слоя в %	Качество уплотнения
	до центрифугиро- вания	после центрифуги- рования в жестком слое	соотношение между ними в %	до центрифугиро- вания	после центрифуги- рования	соотношение между ними в %			
11	650	627	96,3	0,33	0,31	93,8	3	7,48	Плохое
7	680	618	90,8	0,32	0,31	96,8	—	7,92	
33	710	601	84,6	0,37	0,3	81,1	5	7,21	
32	750	623	83,1	0,3	0,31	—	4	7,9	Обвал бетонной смеси
104	1000	770	77	0,28	0,24	85,6	4	7,7	Хорошее
113	1000	767	76,7	0,28	0,25	89,2	2,5	7,95	»
49	1070	723	67,5	0,28	0,23	82	4	6,9	»
54	1070	680	63,5	0,28	0,24	85,6	3	6,6	»

расхода цемента и уменьшении водоцементного отношения. Однако практика показала, что для достижения требуемого уплотнения смеси увеличение начального содержания в ней цемента еще недостаточно, так как отмечены случаи оплывания при центрифугировании бетонной смеси с расходом цемента $1070 \text{ кг}/\text{м}^3$.

К цементам для изготовления труб должны быть предъявлены особые требования: тонкость помола не ниже $4200\text{--}4500 \text{ см}^2/\text{г}$, сроки схватывания — начало 45—60 мин и конец 1,5—2 ч; отсутствие свободной СаО. Цемент должен быть безусадочным, обладать способностью к быстрой гидратации и обеспечивать через 8 ч (после тепловлажностной обработки) прочность бетона не менее $250 \text{ кг}/\text{см}^2$, а перед навивкой спиральной арматуры на сердечник — $500 \text{ кг}/\text{см}^2$. Расход этого цемента не должен превышать $700 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Цемент должен иметь следующий минералогический состав в %: C_3S — 59—63; C_2S — 10—12; C_3A — 8—11 и C_4AF — 12—15.

При применении цементов других составов рекомендуется в целях ускорения гидратации цемента для затворения бетонной смеси использовать подогретую воду.

Влияние В/Ц и подвижности бетонной смеси на формирование структуры центрифугированного бетона. Подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси определяются принятым водоцементным отношением и, в свою очередь, влияют на сепарацию бетонной смеси при центрифугировании. Однако при формовании сердечников диаметром 1250 мм эти параметры — подвижность и удобоукладываемость — при заданной дозировке смеси не были постоянными, что объяснялось: непостоянством действительного зернового состава фракций заполнителя; большим количеством взвешиваний составляющих смесей, что вместе с неточностью дозаторов влечет за собой накопление ошибок; искажением дозировок машинистом, что при формовании одного сердечника трубы диаметром 1250 мм в три замеса по $0,61 \text{ м}^3$ каждый также приводит к ошибкам.

Сравнение фактического состава бетонной смеси в трех замесах при изготовлении одного железобетонного сердечника приведено в табл. 47.

Таблица 47

Дозирование	Расход цемента в кг/м ³			В/Ц		
	первый замес	второй замес	третий замес	первый замес	второй замес	третий замес
Заданное	1070	1070	1070	0,28	0,28	0,28
Фактическое	860	820	827	0,29	0,31	0,31

Для того чтобы обеспечить постоянство показателей подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси, гарантирующих стабильность поточного выпуска доброкачественных труб, а именно осадку конуса смеси в пределах 2—3 см и удобоукладываемость в пределах 25—32 сек, необходимо использовать цемент определенной марки одного завода, четыре фракции мытого песка и щебня с постоянным гранулометрическим составом, подобрать оптимальные водоцементные отношения и не допускать суммарной погрешности при дозировании составляющих более 2%.

В процессе изготовления труб диаметром 500—1250 мм были опробованы различные режимы центрифугирования и установлена зависимость между подвижностью бетонной смеси и степенью уплотнения ее при центрифугировании.

Как правило, во время центрифугирования зерна заполнителя образуют жесткий скелет внешнего слоя сердечника трубы. Когда движение зерен заполнителя прекращается, цементное тесто между ними уже не обжимается, происходит сепарация бетонной смеси, характеризующаяся малым содержанием цемента во внешнем слое сердечника и значительной влажностью. Это происходит в том случае, когда тонкость помола цемента недостаточна и крупные частицы цемента гидратируют слабо, в результате чего цементное тесто не обладает достаточной вязкостью. Такое влажное невязкое цементное тесто, не способное склеить зерна заполнителя, и способствует оплыванию или обвалу основного бетонного слоя при центрифугировании, как это наблюдалось при изготовлении труб диаметром 1250 мм; слой бетона толщиной 67 мм разделяется даже при усилии уплотнения 1,01 кг/см².

Уплотнение бетонной смеси получается хорошим, если зерна заполнителя перемещаются под действием центробежных сил к наружному слою сквозь цементное тесто, которое они не могут выжать на внутреннюю поверхность при его нормальной вязкости, а уплотняют между собой. Поэтому для хорошо уплотненной бетонной смеси характерны большое содержание цементного теста при небольшой его влажности и, следовательно, меньшая сепарация бетонной смеси. Наоборот, при центрифугировании очень подвижной смеси происходит большая сепарация, в результате чего уплотнение получается очень плохим.

Таким образом, основное требование, предъявляемое к цементному тесту при центрифугировании, — нормальная вязкость, достигаемая применением цемента соответствующего минералогического состава с высокой тонкостью помола. При отсутствии такого цемента для увеличения толщины прослойки цементного теста между зернами заполнителя на заводе было принято вынужденное решение повысить расход цемента до 800—1000 кг/м³, а В/Ц назначить из условия подвижности бетонной смеси 2—3 см.

При увеличении подвижности (например, осадка конуса 4—8 см, удобоукладываемость 12—18 сек) наблюдалась значительная сепарация смеси с резким разделением по толщине на слои тощего и жирного бетона, так как зерна заполнителя легко перемещаются к наружной поверхности сердечника, а пространство между ними заполняется малоуплотненным цементным тестом. Содержание цемента в таком слое в 1,2—1,5 раза меньше начального, в то время как жирный, также малоуплотненный слой бетона имеет большую толщину. Бетонная смесь в данном случае была очень плохо уплотнена.

При уменьшении подвижности бетонной смеси (осадка конуса 2—3 см, удобоукладываемость 25—32 сек) происходило хорошее уплотнение, так как зерна заполнителя при центрифугировании перемещались сквозь слой вязкого цементного теста. Содержание цемента в жестком слое в этом случае приближалось к начальному расходу.

В итоге проведенного исследования были сделаны следующие предварительные выводы:

при применении малоподвижной бетонной смеси можно рекомендовать одностадийный режим центрифугирования по схеме: увеличение оборотов — уплотнение в течение 8—12 мин усилием не менее $0,5 \text{ кг/см}^2$ — торможение;

при использовании подвижной смеси целесообразно переходить на двухстадийный режим центрифугирования по схеме: увеличение оборотов — предварительное обезвоживание смеси в течение 5—7 мин при уплотнении $0,3 \text{ кг/см}^2$ — дальнейшее увеличение оборотов — уплотнение в течение 8—12 мин — торможение.

Как указывалось, скорость вращения формы должна обеспечивать усилие уплотнения бетонной смеси не менее $0,5 \text{ кг/см}^2$. При принятых оборотах при центрифугировании усилие уплотнения бетонной смеси может быть проверено по формуле

$$F = m\omega_{\phi}^2,$$

$$\text{где } m = \frac{G_{\delta}}{g} = \frac{v\gamma_{\phi}}{g} = \frac{\delta\gamma_{\phi}}{g};$$

v — элементарный объем вращаемой бетонной смеси формируемого сердечника, приходящийся на 1 см^2 поверхности формы ($v = \delta$), в см^3 ;

G — вес вращаемой элементарной массы (m) бетонной смеси в г;

δ — толщина формируемого слоя бетонной смеси в см;

γ_{ϕ} — объемный вес бетонной смеси, принимаемый равным $2,45 \text{ г/см}^3$;

ρ — средний радиус вращения элементарной массы бетонной смеси в м;

ω_{ϕ} — угловая скорость вращения формы;

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$.

Угловая скорость формы связана с угловой скоростью вращения ведущего ролика центрифуги (ω_p) зависимостью

$$\omega_{\phi} = \omega_p \frac{r_p}{R_{\phi}},$$

$$\text{где } \omega_p = \frac{2\pi n_p}{60};$$

r_p — радиус ведущего ролика в см;

n_p — число оборотов ведущего ролика в мин;

R_{ϕ} — радиус бандажа формы в см.

Так, при изготовлении железобетонного сердечника диаметром 700 мм усилие уплотнения (F) составит:

$$F = m\omega_{\phi}^2 = 0,00087 \cdot 0,368 \cdot 39,8^2 = 0,51 \text{ кг/см}^2;$$

при $\delta = 3,5 \text{ см}$

$$\rho = \frac{0,7 + 0,035}{2} = 0,368 \text{ м};$$

$r_p = 25 \text{ см}; n_p = 950 \text{ об/мин}; R_\phi = 62,4 \text{ см};$

$$m = \frac{\delta \gamma_6}{g} = \frac{3,5 \cdot 2,45}{9,81 \cdot 1000} = 0,00087;$$

$$\omega_p = \frac{2\pi n_p}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 950}{60} = 99,51/\text{сек};$$

$$\omega_\phi = \frac{\omega_p r_p}{R_\phi} = \frac{99,5 \cdot 25}{62,4} = 39,81/\text{сек}.$$

При центрифугировании бетонной смеси сердечника диаметром 1250 мм при однослойной загрузке усилие уплотнения (F) составит:

$$F = m \omega_\phi^2 = 0,00167 \cdot 0,658 \cdot 31^2 = 1,06 \text{ кг/см}^2;$$

при $\delta = 6,7 \text{ см}$

$$\rho = \frac{1,25 + 0,067}{2} = 0,658 \text{ м};$$

$r_p = 40 \text{ см}; n_p = 850 \text{ об/мин}; R_\phi = 115 \text{ см};$

$$m = \frac{\delta \gamma_6}{g} = \frac{6,7 \cdot 2,45}{9,81 \cdot 1000} = 0,00167;$$

$$\omega_p = \frac{2\pi n_p}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 850}{60} = 891/\text{сек};$$

$$\omega_\phi = \frac{\omega_p r_p}{R_\phi} = \frac{89 \cdot 40}{115} = 311/\text{сек}.$$

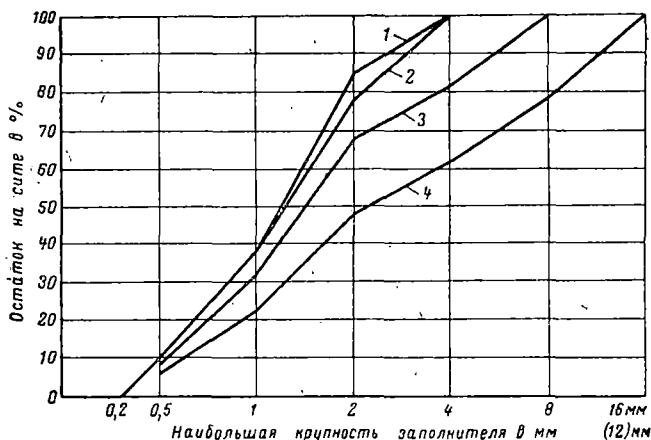
При двухслойной загрузке уплотняемая масса будет в два раза меньше и усилие уплотнения каждого слоя (F_2), естественно, также уменьшится:

$$F_2 \approx 0,5 F_1 = 0,5 \cdot 1,06 = 0,53 \text{ кг/см}^2.$$

Несмотря на то, что усилие уплотнения при двухслойной загрузке уменьшилось вдвое (хотя оно и достаточно, так как более $0,5 \text{ кг/см}^2$), однако этот способ центрифугирования для сердечников диаметром

Рис. 160. График для подбора зернового состава заполнителей бетонной смеси для труб, рекомендованный шведской фирмой «Асторпс Брук»

1—4 — кривые рассеивания



1250 мм оказался более эффективным с точки зрения как предотвращения обрушения свежееотформованной массы бетона, так и обеспечения водонепроницаемости стенок сердечника.

Влияние вида и гранулометрического состава заполнителя на качество сердечника. Прочность, водонепроницаемость, водопотребность

и подвижность бетонной смеси зависят от вида заполнителя, гранулометрического состава и степени его загрязнения.

Для подбора гранулометрического состава заполнителя были приняты рекомендации шведской фирмы «Асторпс Брук» (рис. 160). Бетонную смесь для формирования сердечников диаметром 500—700 мм приготавливали с применением одной фракции щебня 4—8 мм, а для сердечников диаметром 1250 мм применяли щебень Смолинского карьера, мытый, двух фракций: 4—8 и 8—12 (16) мм. Песок с Бобровского месторождения сушили и рассеивали на фракции 0—0,6; 0,6—2,5 и 2,5—5 мм.

Опыт работы показал, что следует строго следить за содержанием в заполнителе пылевидных фракций: установлено, что фракции меньше 0,5 мм не участвуют в формировании структуры центрифугированного бетона и выжимаются на внутреннюю поверхность, увеличивая толщину жирного слоя и повышая его влагосодержание.

Удобоукладываемость смеси резко повышается при использовании в качестве песка каменных высевок, однако в результате исследования оказалось, что высевки целесообразно применять вместе с мелким песком, добавляя к последнему крупные фракции высевок 1—2 и 2—4 мм.

Для приготовления бетонной смеси с постоянной водопотребностью рекомендовано использовать заполнитель из четырех фракций мытого песка (0—0,5; 0,5—1; 1—2 и 2—4 мм) и одной фракции мытого щебня. При этом наибольшая крупность зерен щебня должна быть: для изготовления сердечников диаметром 700 мм—8 мм, диаметром 1250 мм—16 мм. Содержание в заполнителе частиц мельче 0,5 мм не должно превышать 3%. Зерновой состав фракций должен быть постоянным.

Глава VIII

ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ СПОСОБОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ УПЛОТНЕНИЕМ БЕТОНА ВИБРИРОВАНИЕМ И ПРЕССОВАНИЕМ

Производство железобетонных труб центробежным способом, как указывалось, известно уже около 70 лет и получило широкое признание у технологов. В центрифугах уплотнение бетона достигает относительно высокой степени, и в отдельных случаях стенки таких труб даже без дополнительного армирования предварительно напряженной проволокой могут выдерживать внутреннее гидравлическое давление 3—4 ат.

При исследовании процессов центрифугирования бетонной смеси на станках различной конструкции установлено, что плотность и прочность формируемых стенок трубы существенно зависят от степени вибрации, которой подвергается форма в процессе центрифугирования. Достаточно сравнить в этом отношении роликовые, шпиндельные и ременные центрифуги, чтобы убедиться, что при переходе от первой к третьей при кажущемся улучшении внешних условий работы, благодаря уменьшению создаваемого ими шума, теряется такое преимущество в конструкции центрифуги, как сопутствующая при вращении формы вибрация, которая более всего сказывается в роликовых станках, менее — в лучше уравновешенных шпиндельных и еще менее — в ременных центрифугах.

Установлено, что вибрирование в процессе центрифугирования создает ряд преимуществ. Вначале оно содействует равномерному распределению бетонной смеси по длине формы. В дальнейшем, обеспечивая подвижность заполнителя в цементном растворе, содействует более быстрому и высокому уплотнению бетонной смеси при вращении формы, нарушая в то же время структуру образующихся в бетоне направленных пор, облегчает «обтекание» бетонной смесью сетки конструктивной (или рабочей — в низконапорных трубах) арматуры без смещения ее проектного положения. Благодаря вибрированию может быть значительно повышена жесткость бетонных смесей, применяемых при центрифугировании.

Степень уплотнения бетонной смеси во вращаемой форме может быть еще более увеличена путем дополнительной операции — механического прессования отформованной стенки с помощью специального металлического катка. Прессование повышает плотность и прочность бетона, разрушает оставшиеся в нем направленные поры и, что также очень важно, уменьшает шероховатость внутренней поверхности трубы. Кроме того, прессование повышает точность геометрических размеров труб. Отсюда понятно стремление к такому совершенствованию технологического процесса центрифугирования, при котором были бы с возможной эффективностью использованы преимущества дополнительного уплотнения бетонной смеси вибрацией и механическим прессованием.

В мировой практике это привело к разработке двух технологических процессов: а) центрифугирования с прокаткой (центробежно-прокатный способ); б) центрифугирования с вибрированием и прокаткой (способ «цен-ви-ро») и конструированию нескольких соответствующих типов комбинированных центрифуг.

Применяющиеся в разных странах усовершенствованные центрифуги имеют свои особенности. Здесь мы рассмотрим три комбинированные центрифуги, разработанные фирмами «Цен-ви-ро Пайп Корпорейшн» в США, «Рокла» в Австралии и «Сокоман» во Франции.

1. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ ЦЕНТРОБЕЖНО-ПРОКАТНЫМ СПОСОБОМ В США

Этим способом было организовано производство железобетонных напорных раструбных труб, в частности на полигоне в Харлингене (США, штат Техас).

Технология производства труб заключается в основном в следующем.

Металлическая форма трубы навешена на горизонтальном валу центробежной машины и вращается со скоростью 180—300 об/мин. Комплект форм должен соответствовать сортаменту и количеству выпускаемой продукции (трубы диаметром от 300 до 1800 мм, длиной 2,4 м).

В форму во время вращения равномерно подают питателем-транспортером бетонную смесь в количестве, необходимом для образования под действием центробежной силы требуемой толщины стенки трубы. Формование железобетонного раструба производят путем подачи вручную во вращающуюся форму (с торца, где расположен раструб) слегка увлажненной бетонной смеси.

После центрифугирования дополнительно уплотняют бетон укаткой. Для этого поверхность свежеложенного бетона обрызгивают водой и уплотняют в течение 3—4 мин вращающимся внутри формы валом-катком. Длина катка соответствует длине формы. Укаткой бетона достигают, во-первых, упрочнения и уплотнения бетона, благодаря чему возрастают прочность и водонепроницаемость стенок трубы и, во-вторых, хорошо заглаживается ее внутренняя поверхность, в результате чего резко повышается пропускная способность трубопровода, собранного из таких труб. Благодаря укатке бетона стенки и особенно торцы трубы получают правильное очертание, строго соответствующее металлической форме. Таким образом, применяя этот способ, можно значительно повысить требования к точности геометрических размеров трубы.

Отформованные центробежно-прокатным способом трубы пропаривают в течение 12 ч при температуре 55—65° С и затем выдерживают во влажной среде не менее трех суток.

Для изготовления труб применяют бетонную смесь с расходом быстротвердеющего цемента около 550 кг/м³. В качестве заполнителей применяют обогащенный среднезернистый и крупнозернистый песок и гравий с крупностью зерен до 20 мм.

Прочность бетона на сжатие составляет, в зависимости от требований, предъявляемых к трубам, от 350 до 520 кг/см².

При укладке труб водонепроницаемость раструбных стыков обеспечивается прокладкой резиновых колец.

Безнапорные трубы малых диаметров можно изготавливать таким способом даже без армирования с условием укладки их на хорошо подготовленное основание. Трубы, в стенках которых появляются значительные растягивающие напряжения от гидравлического давления или значительные изгибающие моменты от внешних нагрузок, армируют обычной или предварительно напряженной арматурой.

2. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ СПОСОБОМ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ С ВИБРИРОВАНИЕМ И ПРОКАТКОЙ В США

Как и центробежно-прокатный способ производства напорных труб, так называемый технологический процесс «цен-ви-ро» предусматривает производство железобетонных труб без стального цилиндра (рис. 161). Авторы этой технологической схемы должны были доказать высокие качества своих труб и в первую очередь их прочность и водонепроницаемость, которые не уступали бы железобетонным на-

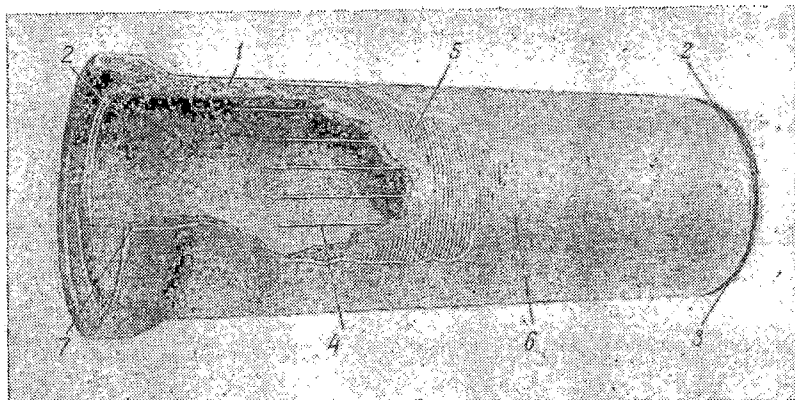


Рис. 161. Общий вид и конструкция напорной трубы «цен-ви-ро»

1 — железобетонный сердечник; 2 — концы раструбного соединения трубы; 3 — резиновое кольцо, укладываемое в специальный паз на втулочном конце трубы; 4 — предварительно напряженная высокопрочная продольная арматура; 5 — предварительно напряженная высокопрочная спиральная арматура; 6 — защитный слой; 7 — закладная анкерная коробка для крепления спиральной арматуры

порным трубам со стальным цилиндром, имевшим до этого времени наибольшее распространение в США. Фирма «Цен-ви-ро Пайп Корпорейшн» сумела решить эту задачу, обеспечив высокую экономическую и техническую эффективность производства таких труб, в результате чего теперь в США организовано их производство на многих предприятиях.

Способ «цен-ви-ро» начали внедрять в США с начала 50-х годов. По сведениям фирмы, железобетонные трубы «цен-ви-ро» (в США конструкция такой трубы известна под названием «non-cylinder») были впервые изготовлены для практического применения в г. Нампа, Ейдахо в 1951 г. Трубы диаметром от 450 до 750 мм, длиной 3 м были испытаны давлением до 3 ат и уложены при сооружении водоводного коллектора общей длиной около 6 км.

Далее известно, что были организованы (очевидно, с целью рекламы) их оригинальные испытания: две напорные трубы «цен-ви-ро» диаметром 750 мм установили на своеобразный передвижной испытательный стенд на трайлере, соединили их в стыке резиновой кольцевой прокладкой, подвергли испытательному гидравлическому давлению до 15,5 ат и под таким давлением в течение двух лет возили по дорогам (трайлер прошел за это время более 30 000 км). Такое испытание трубы прошли вполне удовлетворительно — без появления течи и мокрых пятен на трубе и в стыковом соединении.

В дополнение к обычному центрифугированию при формовании сердечника труб «цен-ви-ро» здесь добавлены вибрирование и после-

дующее механическое прессование, что и отмечено в названии технологического процесса («цен» — центрифугирование, «ви» — вибрирование, «ро» — прессование бетона с помощью специального катка — «укатывание»). В результате получается железобетонный сердечник с особо прочными и плотными водонепроницаемыми стенками, существенно отличающимися по качеству бетона от обычных центрифугированных труб. Плотная и прочная относительно тонкая стенка смогла



Рис. 162. Шлифы бетона стенок труб в разрезе по стыковому соединению

конкурировать, таким образом, с бетонной стенкой с металлическим цилиндром.

Получив высокопрочный и плотный железобетонный сердечник, его обвивают высокопрочной предварительно напряженной проволокой с заданным шагом спирали. Предварительно напряженную спираль для предохранения от повреждений и защиты от коррозии покрывают слоем торкрет-бетона с последующим его разглаживанием. Таким образом, готовая напорная труба «цен-ви-ро» отличается хорошей гладкой поверхностью не только внутри, но и снаружи.

Придя к выводу о возможности исключения дорогостоящего стального цилиндра без ущерба для прочности и водонепроницаемости стенки трубы, авторы «цен-ви-ро» подчеркивают, что это осуществимо при условии не только достаточного и равномерного обжатия предварительно напряженной арматурой бетонных стенок сердечника, но и обязательного высокого качества изготовления трубы и тщательно продуманной ее конструкции. Гарантия высокого качества стенок сердечника обеспечивается тщательным уплотнением бетонной смеси с правильно подобранным составом. Требования же к конструкции трубы касаются главным образом раструбного стыкового соединения без применения металла и с очертанием концов трубы, обеспечивающим удобное формование трубы и удобную надвижку при укладке в траншее.

Бетонная смесь, приготовляемая для формования сердечников труб, характеризуется предельно жесткой консистенцией с нулевой осадкой конуса ($B/C \leq 0,35$, после центрифугирования — до 0,3). Цемент быстротвердеющий с расходом до 385 кг/м^3 . Заполнители — средние и крупнозернистые пески, крупный заполнитель с величиной зерен от 5 до 12—25 мм в зависимости от диаметра изготавливаемой трубы.

Получающийся в результате тщательного формования с вибрированием и укаткой бетон имеет очень плотную структуру (плотность 98%) с равномерным распределением заполнителя (рис. 162); водопо-

глотшение не превышает 3%, средний предел прочности при сжатии 700 кг/см^2 (от 490 до 950 кг/см^2). Высокая прочность бетона гарантирует практически отсутствие потерь предварительного напряжения в трубе вследствие усадки и ползучести бетона. Поэтому принято, что минимальная прочность бетона на сжатие в сердечнике перед навивкой высокопрочной проволоки не должна быть ниже 490 кг/см^2 . Сравнение технической характеристики бетона «цен-ви-ро» с обычным центрифугированным бетоном приведено в табл. 48.

Таблица 48

Характеристика бетона стенок напорных труб, изготовленных по способу «цен-ви-ро» и обычным центрифугированием

Показатели	По способу «цен-ви-ро»	По обычному способу центрифугирования
Предел прочности при сжатии в кг/см^2	560—950	210—450
Модуль упругости в кг/см^2	$0,49 \cdot 10^6$	$0,35 \cdot 10^6$
Водоцементное отношение	$<0,35$	$>0,4$
Осадка конуса в см	0	$>2,5$
Водопоглощение в %	<3	>4
Распределение заполнителя	Равномерное	Неравномерное
Жидкий осадок на внутренней поверхности трубы	Следы	10—15 мм
Точность формования концов трубы	Высокая	Требуется дополнительная обработка

Изготовление железобетонного сердечника в жесткой форме с вибрированием и прокаткой обеспечивает формование концов трубы с минимальными допусками, в связи с чем отпадает необходимость в применении стальных обечаек, используемых в конструкции труб со стальным цилиндром. Сердечники труб «цен-ви-ро» изготавливают с конструктивной арматурой, их можно также изготавливать с продольной предварительно напряженной арматурой или без нее, с последующей спиральной навивкой высокопрочной проволоки или без навивки — в зависимости от назначения труб: напорных или безнапорных. Во всех случаях все эти три вида арматуры в трубе тщательно изолируют друг от друга с тем, чтобы избежать опасности возникновения электролитической коррозии в результате образования замкнутой цепи по арматуре. Закрепление на поверхности сердечника концов навиваемой высокопрочной проволоки производят в специальных изолированных анкерных коробочках, которые полностью заключают в бетоне сердечника трубы. Таким образом, при отсутствии концевых металлических колец (обечаек) для стыков, которые могли быть проводниками электрического тока по всей цепи труб и содействовать электролитической коррозии металла, конструкция трубы «цен-ви-ро» обеспечивает сохранность арматуры трубы от коррозии.

Весьма положительным также является то, что применяемая в напорной трубе высокопрочная арматура нигде не подвергается сварке или нагреву.

Соединение труб при укладке производят с помощью кольцевой резиновой прокладки круглого сечения. Бетонные поверхности раструба и цилиндрического конца трубы, соприкасающиеся с резиновым кольцом, получают при формовании трубы настолько гладкими, что не требуют дополнительной обработки для обеспечения плотного соприкасания между резиной и бетоном в стыковом соединении.

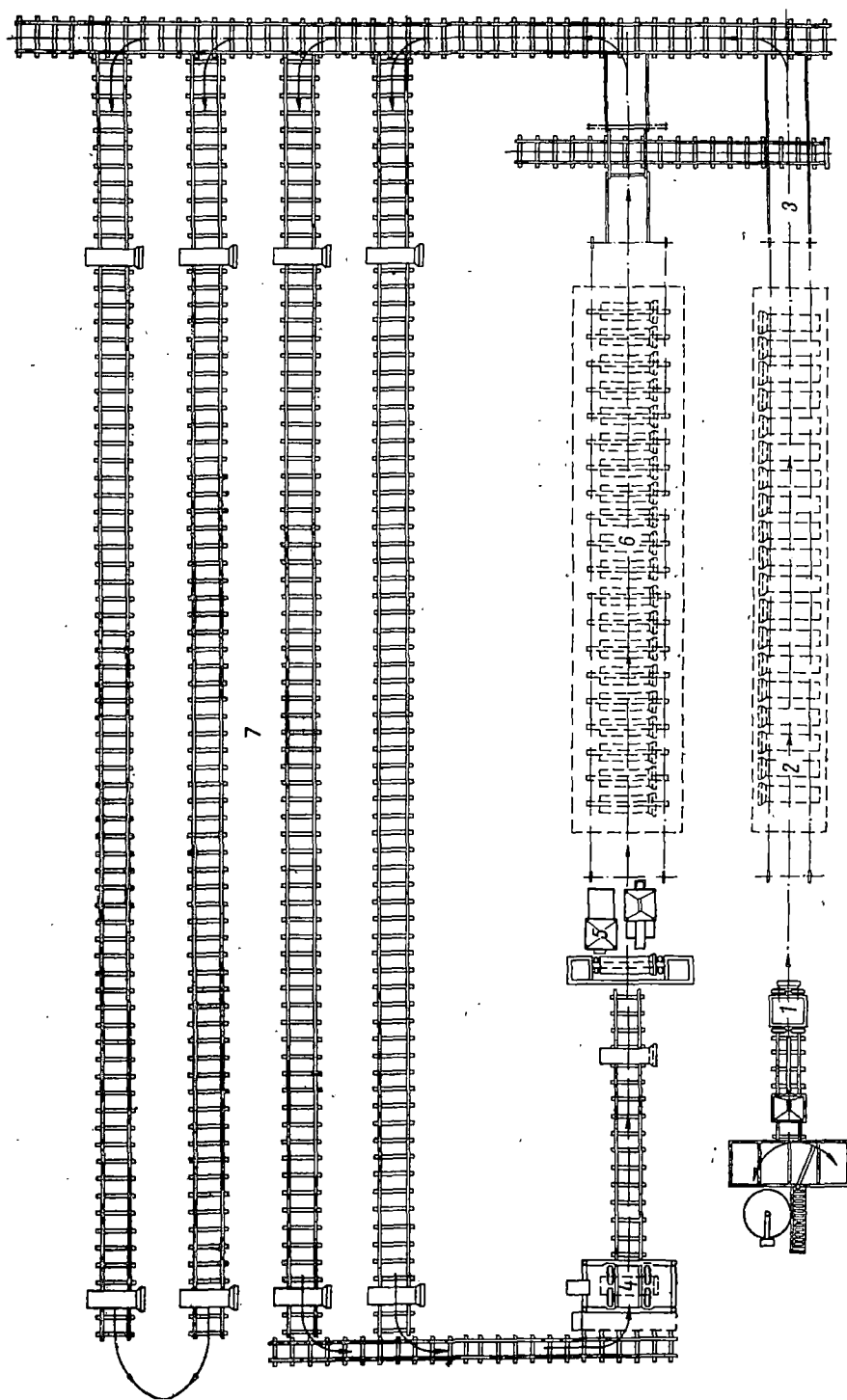


Рис. 163. Генеральный план полигонной установки для изготовления напорных труб

1 — центрифуга с дозаторной установкой; 2 — камера для пропаривания железобетонных сердечников труб; 3 — место для снятия форм; 4 — на-
вивочная машина; 5 — установка для нанесения защитного слоя; 6 — камера для пропаривания труб с защитным слоем; 7 — склад для хранения
железобетонных сердечников и готовых труб

Для ознакомления с новой технологией целесообразно рассмотреть производство труб на полигонной установке, эксплуатируемой в Калифорнии.

Схематический генплан полигона с размещением основного оборудования представлен на рис. 163. Установка имеет две технологические линии: первая — для изготовления на центрифуге железобетонных сердечников и тепловлажностной их обработки; вторая — для навивки предварительно напряженной спирали, для нанесения и пропаривания

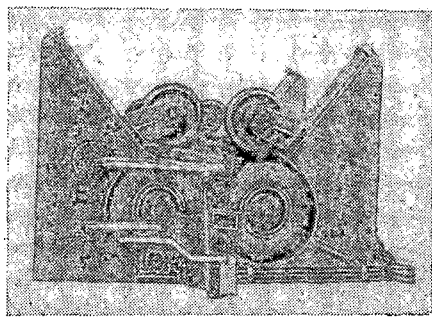
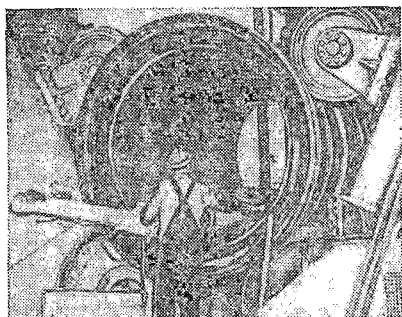


Рис. 164. Общий вид центрифуги

Рис. 165. Схематический вид центрифуги

защитного слоя. Параллельно этим линиям расположены пути склада хранения железобетонных сердечников перед поступлением их на навивку и склада готовых труб после прохождения второй технологической линии. Таким образом, все основное оборудование установки сосредоточено в трех узлах: центрифугирования, навивки и нанесения защитного слоя.

Общий вид центрифуги представлен на рис. 164, центрифуга в нерабочем состоянии — на рис. 165 и схема ее работы — на рис. 166.

Металлическую открытую с торцов форму укладывают на четыре мощных ролика с пневматическими резиновыми шинами; благодаря резиновым шинам резко снижается уровень шума от работы установки и создаются условия для спокойного, уравновешенного вращения формы. Конструкция крепления роликов обеспечивает необходимый угол охвата формы. Ролики вмонтированы в жесткие щеки опорных конструкций, по наклонным плоскостям которых с помощью специальных штоков перемещаются прижимные ролики меньших диаметров с резиновыми шинами. Прижимные ролики можно раздвигать для охвата форм разных диаметров, что исключает возможность проскальзывания формы и содействует безопасности вращения ее при максимальном количестве оборотов; силу нажима роликов регулируют. Один комплект шин обеспечивает производство примерно 1500—2000 труб. Мощность электродвигателя центрифуги зависит от диаметра формуемых труб. Для центрифугирования труб диаметром

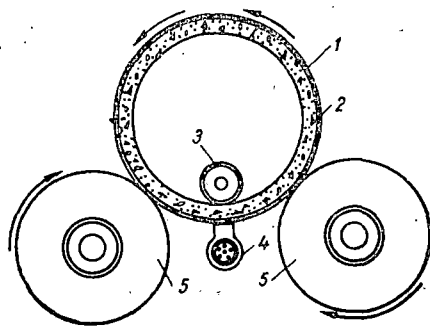


Рис. 166. Схема уплотнения бетона трубы по способу «цен-ви-ро»

1 — стальная форма; 2 — формуемый железобетонный сердечник; 3 — прессующий каток; 4 — вибраторы; 5 — ролики центрифуги

450—1400 мм, длиной 3,65 м мощность центрифуги составляет 150 л. с. при скорости вращения роликов 1800 об/мин.

По имеющимся данным, на установке можно изготавливать раструбные трубы диаметром от 300 до 2100 мм, длиной до 3,65 м с толщиной стенки соответственно от 50 до 180 мм. Бетон применяют марки 700, расход цемента до 445 кг/м³. Отклонение от среднего указанного значения прочности бетона на сжатие, по практическим данным, не превышает 1,5%.

Бетонную смесь с водоцементным отношением 0,3 и с содержанием инертных в соотношении 30% песка и 70% щебня готовят в лопастных бетономешалках с тщательным перемешиванием для достижения однородности смеси в каждом замесе и подают во вращаемую форму питателем — передвижным ленточным транспортером — ровным слоем от одного конца формы к другому. Движением питателя управляет тот же рабочий, который руководит всем процессом центрифугирования, с одного пульта управления.

Первоначальное распределение по форме и уплотнение бетонной смеси производят центрифугированием с вибрацией, которую создают четырьмя вибраторами особой конструкции, расположенными снизу с наружной стороны формы; вибраторы размещены на определенном расстоянии друг от друга. Специальным устройством вибраторы прижимают к вращаемой форме снизу вверх. Частота вибрирования зависит от конструкции вибратора и является постоянной; величину амплитуды колебания регулируют путем изменения гидравлического давления прижимной системы. Вибрирование формы производится в процессе подачи бетонной смеси. Бетонная смесь, несмотря на жесткую консистенцию («сухая смесь»), в результате действия на ее частицы кроме центрифугирования еще и вибрирования приобретает подвижность жидкости и «обтекает» стержни арматурного каркаса сердечника, полностью распределившись в его наружном защитном слое. После прекращения динамического воздействия бетонная смесь вновь приобретает свойства неподвижной жесткой (но теперь еще и уплотненной) смеси. При дальнейшем вращении формы вибрация содействует уплотнению бетонной смеси, обеспечивая подвижность ее частиц в процессе центрифугирования.

После заполнения формы центрифугированной и вибрированной бетонной смесью в работу включают прессующее устройство — тяжелый стальной каток диаметром 200—250 мм, опускаемый на внутреннюю поверхность формируемой стенки трубы с усилием около 5—6 Т. Перемещение катка и регулирование давления его осуществляют рычажным механизмом, закрепленным на торцовой опорной конструкции центрифуги. Управление рычажным механизмом, как и системой роликов, производят с помощью масляной гидравлической системы или пневматики.

Во время прессования форма медленно вращается, а каток находится в нижней части формы. Он должен быть установлен таким образом, чтобы в результате дополнительного обжатия и уплотнения бетона были точно выдержаны геометрические размеры стенок трубы и раструба. После прессования количество оборотов формы вновь доводят до максимального, в результате чего из уплотненного бетона удаляется оставшаяся свободная вода. Внутреннюю поверхность бетона выверяют и заглаживают металлической гладилкой.

Управление всеми операциями на центробежной установке автоматизировано и осуществляется с общего пульта.

В итоге тщательного уплотнения бетона и обработки внутренней поверхности значение коэффициента шероховатости трубы резко сни-

жается (коэффициент шероховатости по Маннингу 0,09—0,012), а прочность и водонепроницаемость стенок существенно повышаются.

Отформованный железобетонный сердечник перемещают в камеру пропаривания туннельного типа, из которой его транспортируют на промежуточный склад и далее — для навивки высокопрочной проволоки. Навивку производят после приобретения бетоном сердечника прочности не менее 500 кг/см^2 .

Завершив первый круг технологических операций, железобетонный сердечник передают на вторую технологическую линию, начинающуюся с навивочного станка (рис. 167). Установка для навивки высокопрочной спиральной арматуры представляет собой двухэтажное каркасное сооружение с мощным междуэтажным балочным перекрытием. Навиваемую трубу накатывают на ролики, смонтированные в приемке первого этажа; ролики снабжены пневматическими резиновыми шинами с рифленой поверхностью на протекторе

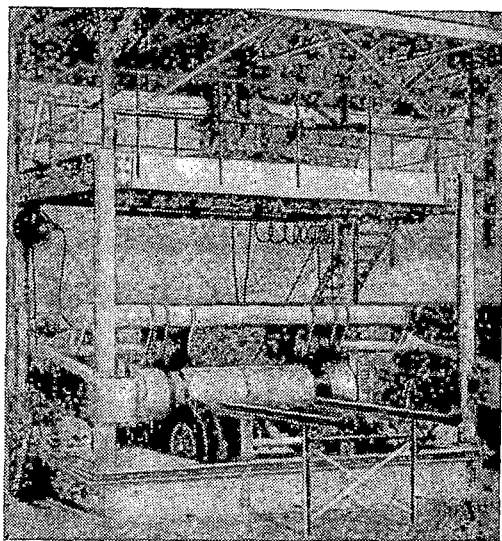


Рис. 167. Навивочный станок (вид со стороны подачи трубы)

для увеличения трения между роликами и гладкой бетонной поверхностью трубы. Чтобы удержать трубу в рабочем положении, ее прижимают сверху двумя дополнительными роликами, закрепленными на жесткой массивной несущей конструкции. Эту конструкцию захватывают с торцов рычажным приспособлением и перемещают в вертикальном направлении. Управление подъемом и опусканием рычага осуществляют специальным гидравлическим устройством, в основании цилиндра и на конце которого предусмотрены шарниры для изменения угла наклона цилиндра во время подъема несущей конструкции и закрепленных на ней роликов.

Высокопрочную проволоку навивают с требуемыми натяжением и шагом спирали суппортом, передвигающимся по направляющим, расположенным на перекрытии второго этажа.

Необходимо отметить, что этот навивочный станок по своей конструкции очень близок к навивочному станку, эксплуатирующемуся на полевой установке в г. Рустави ГрузССР с 1950 г.

Процесс навивки высокопрочной спирали на отечественном станке решен лучше, так как усилие от напряженной проволоки в процессе навивки не изгибает трубу благодаря соответствующей запасовке проволоки с растяжением ее в противоположные стороны через направляющие ролики. По опыту эксплуатации установки, разработанной и осуществленной в Рустави, следует указать, что такое решение для навивки проволоки полностью себя оправдывает. Трубы легко подавать и снимать со станка; не требуется трудоемкое центрирование и закрепление трубы; обеспечивается сохранность торцов трубы при навивке; перенос суппорта на второй этаж сокращает площадь навивочной установки; дает возможность подойти к трубе с любой стороны и повышает безопасность работы в случае обрыва напрягаемой проволоки.

Интересным нововведением фирмы «Цен-ви-ро Пайп Корпорейшн» является приспособление для заанкеривания концов высокопрочной проволоки при навивке на железобетонный сердечник. Это штампованные металлические анкерные коробочки, закладываемые в бетон при формировании сердечника. Фиксирование их положения в стенке трубы достигается приболчиванием к стенкам формы, в которой формуют сердечник трубы. Закрепление концов проволоки, как и стыкование ее в процессе навивки спирали, выполняют патентованными стальными муфтами «никопресс», исключая необходимость применять сварку или какие-либо кустарные способы скрепления проволоки.

Применение муфт, как указывалось, имеет также целью полностью изолировать высокопрочную спиральную арматуру от соприкосновения с каркасом арматуры сердечника, выполняемого из обычной арматуры. Таким образом, исключается опасность появления в результате биметаллического эффекта коррозии арматуры.

Шаг спирали у концов трубы должен быть в два раза меньше шага в средней части. Для навивки проволоки на наклонной части раstraбы на поверхности бетона при формировании предусматривают специальные борозды, в которые укладывают витки спирали. Продольную предварительно напряженную арматуру заанкеривают в железобетонном сердечнике, и концы ее утапливают в оставленных гнездах, которые в последующем заделывают раствором.

Испытание труб осуществляют до нанесения защитного слоя на несложной установке. Аналогичные испытательные устройства часто используются в полевых условиях и на наших предприятиях. Трубы проектируются на расчетное давление, превышающее рабочее на 50%, а испытывают давлением, превышающим расчетное на 25%. В результате тщательного уплотнения бетона стенок сердечников последние выдерживают гидравлическое давление около 23 ат.

Навитые сердечники труб поступают к третьей установке на полигоне — для устройства защитного слоя из цементного раствора. Базой установки является металлическая эстакада, на которой в горизонтальном положении размещают обрабатываемую трубу. Железобетонный сердечник навешивают на горизонтальный вал с резиновым покрытием; вращение вала осуществляется электродвигателем через редуктор, расположенный на площадке эстакады. Вал опирается на ролики с резиновыми шинами, один из которых является ведущим. Благодаря этому труба во время вращения не испытывает резких толчков и ударов, в результате чего исключается всякая возможность повреждения стенок трубы, особенно ее концов. Цементный раствор наносят на поверхность вращаемого железобетонного сердечника набрызгом с помощью ленточного транспортера, движущегося со скоростью 35—40 м/сек. Агрегат для нанесения защитного слоя перемещают вдоль эстакады по рельсовым путям. Устройство для нанесения защитного слоя заблокировано с бункером для цементного раствора. Бункер, устройство для нанесения защитного слоя и обслуживающие его механизмы смонтированы на общей металлической раме. Поверхность защитного слоя тщательно заглаживают, выдерживая его толщину в пределах 20—25 мм.

Для твердения раствора защитного слоя трубу вторично помещают в камеру твердения, откуда вывозят уже на склад готовой продукции, где поливают водой в течение трех суток. В результате защитный слой приобретает прочность на сжатие не менее 450 кг/см², на растяжение 30—35 кг/см²; водопоглощение в пределах 9%.

Трубы «цен-ви-ро» изготовляют без стального цилиндра и без стальных обечаек в раструбном и втулочном концах. Кроме экономии металла и трудовых затрат на изготовление металлических элементов,

исключение цилиндра и обечаек, естественно, снижает опасность возможности разрушения труб от коррозии.

Соединение труб производят с помощью упругих резиновых прокладок. Резиновое кольцо надевают на втулочный конец трубы, располагая его в специальном кольцевом пазу, предусмотренном в бетонной стенке при формировании. Этот паз дает возможность точно центрировать резиновую прокладку в гибком стыковом соединении. Укладку труб благодаря наличию гибких стыков производят в основном на естественный грунт.

Трубы больших диаметров, обладающие значительной жесткостью и короткие по длине (до 3,65 м), обычно изготавливают без предварительно напряженной продольной арматуры, что упрощает производство и удешевляет их. При наличии соответствующих грунтовых условий, отсутствии поверхностных нагрузок и при малых гидравлических напорах, как указывалось, трубы можно изготавливать с обычной арматурой. В этом случае спиральная арматура каркаса может быть цилиндрической или эллиптической с большей осью в горизонтальном направлении.

Для труб «цен-ви-ро» характерен укороченный раструб. Спецификация выпускаемых труб и их основные конструктивные размеры приведены в табл. 49.

Таблица 49

Спецификация и основные конструктивные размеры труб «цен-ви-ро»

Внутренний диаметр трубы в мм	Толщина стенки в мм	Наружный диаметр раструба в мм	Длина трубы расчетная в м	Общая длина трубы в м	Длина раструба в мм	Диаметр резинового жгута в мм	Вес 1 пог. м трубы в кг
305	51	508	2,3	2,39	86	11	156
380	51	584	2,3	2,39	86	11	189
457	57	685	2,3—3,65	2,39—3,74	90	11	245
533	60	775	2,3—3,65	2,4—3,75	98	16	305
610	64	864	2,3—3,65	2,4—3,75	98	16	364
685	67	952	3,05—3,65	3,15—3,75	105	16	431
762	70	1040	3,05—3,65	3,16—3,77	112	16	500
838	73	1130	3,05—3,65	3,17—3,77	121	16	572
915	79	1230	3,05—3,65	3,18—3,78	127	16	684
990	89	1350	3,05—3,65	3,18—3,78	133	16	832
1068	95	1450	3,05—3,65	3,19—3,8	143	21	965
1143	98	1540	3,05—3,65	3,2—3,8	152	21	1080
1220	105	1640	3,05—3,65	3,21—3,81	158	21	1230
1372	115	1790	3,65	3,81	158	21	1530
1525	127	1980	3,65	3,81	162	21	1910
1680	140	2180	3,65	3,82	171	21	2320
1830	153	2380	3,65	3,85	194	25	2830
1980	166	2580	3,65	3,86	213	25	3360
2140	178	2770	3,65	3,88	232	25	3950

Одним из примеров применения труб «цен-ви-ро» может служить строительство трубопровода в Сакраменто (штат Калифорния), где уложены трубы диаметром 1830 и 1980 мм, общей длиной 4,5 км.

Оборудование для производства труб по способу «цен-ви-ро» может быть использовано в наших условиях для организации производства напорных раструбных труб как в закрытых цехах, так и на полигонах. В последнем случае затраты на сооружение полигона могут быть минимальными, а строительство полигона осуществляется в короткие сроки.

Строительство открытых полигонов может быть рекомендовано в наших условиях, в частности, при необходимости изготовления в од-

ном месте относительно небольшого количества труб для строительства отдельных трубопроводов и преимущественно больших диаметров. Особенно целесообразна такая организация производства труб на юге нашей страны, где, как показал опыт Закавказьиметаллургстроя, работы на полигоне можно производить практически в течение круглого года. При размещении оборудования в капитальном помещении конструкцию отдельных узлов его целесообразно доработать применительно к габаритам, транспортным и прочим условиям закрытого цеха.

Трубы «цен-ви-ро» нашли применение при сооружении напорных водоводов, мелиоративных сооружений, отводных сифонов и дюкеров, ливневой канализации и других специальных сооружений.

3. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЕМ С ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ВИБРИРОВАНИЕМ ВО ФРАНЦИИ

В отличие от способа «цен-ви-ро» во Франции фирмой «Сокоман» освоено производство напорных труб также из очень плотного и прочного бетона способом центрифугирования с высокочастотным вибрированием, но без дополнительного прессования. Один из таких заводов фирмы расположен у г. Тараскона. Здесь изготавливают напорные трубы диаметром от 500 до 1800 мм, длиной до 7 м, выдерживающие давление до 12 ат. Конструкция труб показана на рис. 168 и 169.

Для производства труб применяют материалы: цемент быстротвердеющий марки 450 (по французскому стандарту), чистые промытые, из карьеров реки Роны гравий крупностью 5—15 мм и песок мелкий крупностью 0,1—0,8 мм, низкоуглеродистую проволоку с пределом прочности 160 кг/мм². Расход цемента 425 кг/м³, водоцементное отношение 0,42. Соотношение крупного и мелкого заполнителей 1:1.

Для приготовления бетонной смеси установлены пять бетономешалок принудительного действия (из них две резервные) емкостью по 500 л. Сухую смесь тщательно дозируют с точностью до 1—2 кг и перемешивают в бетономешалках 2 мин, после чего добавляют воду и производят перемешивание всей смеси еще 3 мин. Здесь же готовят цементный раствор для защитного слоя труб. Бетон или раствор подают к месту их использования в подвесном бункере по монорельсу.

Формование железобетонного сердечника производят на центробежной установке оригинальной конструкции в металлических составных формах. Формы собирают из двух половин на шарнирно-откидных болтах; на наружной стороне имеются два бандажных кольца; торцовые стенки формы соответствуют по ширине толщине стенки формируемого сердечника и имеют отверстия для пропуска и закрепления гайками стержней напрягаемой на форме продольной арматуры.

Натяжение продольной арматуры до напряжения 108 кг/мм² осуществляют переносными домкратами. До натяжения арматурных стержней последние в месте перелома внешней образующей, при переходе трубы из цилиндрической части в коническую, охватывают кольцом из проволоки.

Собранную и оснащенную натянутой продольной арматурой форму тельфером подают на центрифугу и укладывают на бандажах на ее ролики. Диаметр бандажей зависит от диаметра формы (например, для трубы диаметром 1200 мм диаметр бандажей составляет 2000 мм).

Бетонную смесь подают из бункера, снабженного барабанным затвором-питателем. Ленточный консольный транспортер движется по узкоколейке по оси центрифуги и подает бетонную смесь в любую точку по длине формы. Все операции по приготовлению и транспортиро-

ванию бетонной смеси в форму осуществляют с помощью дистанционного кнопочного управления.

Оригинальность конструкции центрифуги «Сокоман» заключается в своеобразном решении способа высокочастотного вибрирования бетонной смеси при центрифугировании. Это достигается тем, что два ведущих ролика центрифуги имеют зубчатую поверхность. Расстояние между зубцами выбрано с таким расчетом, чтобы создаваемая ими вибрация вращаемой формы при заданном максимальном количестве оборотов обеспечила бы более 10 000 ударов в 1 мин и амплитуду около 0,1 мм. Бетонную смесь укладывают в два слоя по толщине трубы. Как показала практика работы, при этих условиях плотность центрифугированного бетона настолько возрастает, что после остановки машины оператор может свободно входить внутрь формы без опасения оставить следы на поверхности свежеложенного бетона.

Процесс формирования организован следующим образом: поданная транспортером бетонная смесь при вращении формы равномерно распределяется по ее длине, заполняя в первую очередь раструбную часть до уровня цилиндрической части формы. При этом форма вращается 15 мин со скоростью 50 об/мин. Затем при том же количестве оборотов заполняют всю цилиндрическую часть формы, но только до уровня продольной арматуры. После этого 15 мин уплотняют уложенную бетонную смесь, постепенно увеличивая количество оборотов до 250 в 1 мин. Так завершается центрифугирование первого слоя бетонной стенки сердечника. Перед формированием второго слоя — до полной толщины стенки — количество оборотов снижают до 50 в 1 мин, сливая при этом шлам и загружая форму недостающей порцией смеси. При таком количестве оборотов форма вращается 15 мин. Затем вторично постепенно повышают количество оборотов и центрифугируют всю уложенную бетонную смесь в течение 15 мин при 250 об/мин. Таким образом, весь цикл двухслойного формирования железобетонного сердечника, армированного продольной предварительно напряженной арматурой, длится 1 ч. По данным завода, получаемое комбинированным путем уплотнение бетона соответствует интенсивности непрерывного центрифугирования за этот же период времени в среднем при 230 об/мин. Прочность свежесформованного бетона при этом составляет 15—20 кг/см². Шероховатость внутренней поверхности трубы весьма незначительна.

После центрифугирования форму с уложенным бетоном снимают тельфером со станка и подают в соседний пролет здания, на пост тепловлажностной обработки. Здесь торцы формы закрывают крышками и внутрь ее подают острый пар. В течение 3 ч при температуре 90° С бетон набирает прочность до 300 кг/см², достаточную для распалубки и восприятия предварительного напряжения от продольной арматуры.

Освобожденные полуформы очищают и возвращают в отделение сборки и формирования, а железобетонный сердечник устанавливают на стенде для шлифовки внутренней части раструба. Шлифовку производят карборундовыми камнями, закрепленными на подвижной расточной головке, совершающей сложное движение — вращение по окружности раструба и обратно-поступательное движение вдоль оси трубы на глубину расточки 250—300 мм. Расточку раструба осуществляют с уклоном 5° и с точностью до 1,2 мм (фактически 0,5 мм).

В следующем пролете специальной мастикой, твердеющей в течение 2 ч и не подверженной усадке, заделывают торцы продольных стержней и раковины в бетоне, после чего сердечник выкатывают из цеха и помещают на восемь суток в зону дождевальной установки.

Бетон приобретает заданную прочность 500 кг/см².

Навивку спиральной предварительно напряженной высокопрочной проволоки на железобетонный сердечник производят на специальной установке, в которой натяжение осуществляется грузом, передающим усилие проволоке через систему блоков. В зависимости от диаметра и заданного обжатия бетонной стенки трубы, а также от диаметра применяемой проволоки (5—8 мм) шаг навивки последней колеблется от 20 до 50 мм. Натяжение проволоки с пределом прочности 160 кг/см^2 не превышает 100 кг/мм^2 . Для навивки спиральной арматуры на раструбную часть сердечника на ее поверхности при формовании оставляют спиральные борозды, которые удерживают напряженные витки проволоки с заданным шагом.

Обжатый в продольном и радиальном направлениях сердечник передают на стенд гидравлического испытания. Вода подается в зазор, равный 2 см, между внутренней поверхностью железобетонной стенки сердечника и металлического цилиндра, введенного внутрь сердечника. С одной стороны этот цилиндр герметически примыкает к раструбу, а с другой стороны трубы на нем укрепляют съемный фланец с уплотняющим резиновым кольцом. Испытательная установка имитирует рабочее положение стыкового соединения испытваемой трубы в водоводе. Испытание производят гидравлическим давлением, превышающим на 50% расчетное. Если сердечник выдержал испытательное давление, его передают в отделение для нанесения защитного слоя. Защитный слой наносят толщиной 24 мм из того же бетона, который применяли для приготовления сердечника, но с минимальными размерами зерен крупного заполнителя. Наносят его также двумя слоями — первый толщиной до 22 мм и второй, уплотняющий первый и выравнивающий его до проектной толщины 24 мм.

Перед установкой сердечника для нанесения защитного слоя на торцы его надевают специальные фланцы, с помощью которых сердечник закрепляют на станке. Сердечник вращают со скоростью до 2 об/мин.

Бетонную смесь подают в длинный бункер, располагаемый над вращающейся трубой. В бункере предусмотрено продольное выходное отверстие шириной 10—12 см, рассеченное через 6—8 см металлическими ребрами. Эти ребра связаны с вибраторами (семь штук) с частотой колебаний 9000 в 1 мин и расположенными через 1 м по длине бункера. Уплотнение бетонной смеси мощными вибраторами обеспечивает нанесение плотного и прочного цементного защитного слоя. Предполагается, что быстрое нанесение защитного слоя следом за обживкой обеспечит некоторое обжатие сердечника за счет последующей усадки бетона и общего обжатия напряженной арматурой всей стенки трубы в радиальном и продольном направлениях.

Твердение защитного слоя происходит в туннельных камерах. Тепловлажностная обработка продолжается 3 ч, затем готовые трубы снова поступают на дождевальную установку, где бетон защитного слоя приобретает дополнительную прочность при твердении во влажных условиях.

В трубах «сокоман» конструкция гладкого конца отличается от других типов труб, например «цен-ви-ро», для которых характерно устройство бетонной реборды для укладки за нее уплотнительного резинового кольца перед началом монтажа стыкового соединения. В данном случае для этой цели на гладкий конец трубы по шаблону надевают металлический бандаж, изготавливаемый на месте из полосовой стали $4 \times 15 \text{ мм}$. Сварку полосы осуществляют на электросварочном аппарате и готовое кольцо нормализуют при температуре 600°C . Бандаж свободно надевают в нагретом состоянии (до 400°C); при остывании он прочно укрепляется на конце трубы. Затем производят внешний осмотр тру-

бы, ликвидируют при необходимости мелкие дефекты, покрывают концы труб черной краской и ставят заводскую марку с указанием порядкового номера и назначения трубы. Пригодные для использования трубы поступают на склад готовой продукции.

Как указывалось, производительность предприятия лимитирует работа центрифуги, на которой в течение 1 ч изготавливают одну трубу. Следовательно, при одной центрифуге в две смены производительность завода ограничивается 16 трубами в сутки, что соответствует возможности переработки 60 м³ бетона в сутки, или 18 000 м³ в год. При установке второй центрифуги производительность завода может быть удвоена. Обслуживают завод 120 рабочих.

Продукцию завода характеризуют аккуратная отделка и высокая точность заданных геометрических размеров, особенно в стыковых соединениях, что очень облегчает монтаж труб при укладке. Увеличенные размеры труб по длине до 7 м значительно сокращают количество стыков в водоводе (на 40 и 17% по сравнению соответственно с 5-м или 6-м трубами), что ускоряет и удешевляет монтаж, уменьшает потребность в резиновых кольцах и соответственно количество наиболее трудоемких и ответственных в эксплуатации стыковых соединений.

4. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ НА ПРОКАТНОЙ МАШИНЕ (ПОДВЕСНОЙ ЦЕНТРИФУГЕ) ПО ТЕХНОЛОГИИ ФИРМЫ «РОКЛА»

Способ изготовления железобетонных труб прокатно-центробежным методом широко применяет австралийская фирма «Рокла Пайпс Лимитед», которая считает такую технологию весьма экономичной и технически совершенной. Эта фирма занимается производством железобетонных труб около 40 лет, из них последние 23 года — производством предварительно напряженных напорных труб для водоводов с расчетным напором до 30 ат. Трубы изготовляют по трехступенчатой технологии: формование на прокатно-центробежной машине железобетонного сердечника с тонкими стенками из водонепроницаемого бетона, навивка на сердечник высокопрочной проволоки и устройство защитного слоя из цементного раствора.

Производство предварительно напряженных труб по технологии «Рокла» является достаточно простым, надежным и не

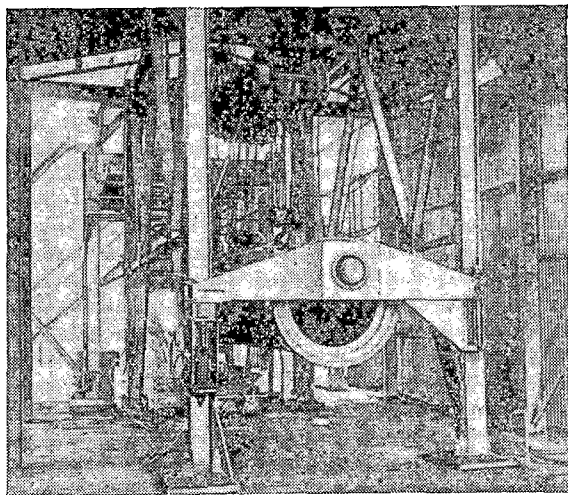


Рис. 170. Общий вид прокатной машины конструкции «Рокла»

требует дорогостоящего оборудования (рис. 170). На машине конструкции «Рокла» формуют железобетонные сердечники разных диаметров. Особенностью этой машины является конструктивное решение, предусматривающее вращение формы трубы на горизонтальном приводном стальном валу (рис. 171). Вторым агрегатом является станок для

изготовления арматурных сварных каркасов различных диаметров (рис. 172).

Изготовление труб начинается со сборки формы, на которую натягивается (попарно) и натягается гидравлическим домкратом высокопрочная проволока. С помощью направляющего кольца пучок натягиваемых проволок отклоняется в месте перехода прямой части трубы в рас-

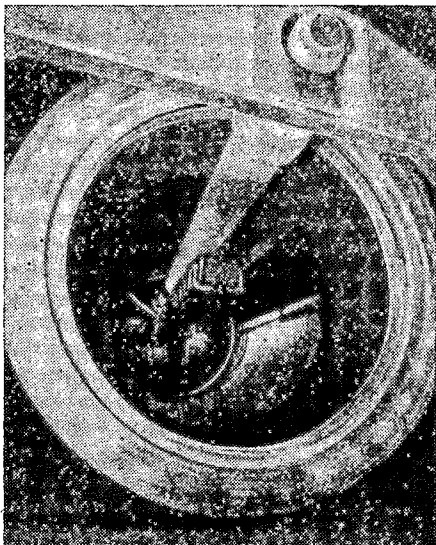


Рис. 171. Формование трубы на прокатно-центробежной машине

трубную, благодаря чему также осуществляется и предварительное напряжение в продольном направлении стенок раструба (рис. 173). Далее собранная форма устанавливается на роlikо-подвесной станок, составными частями которого являются: горизонтальный вал-ролик с приводным двигателем; опорный каркас с поворотной передней частью, обеспечивающей возможность подвесить форму к валу; передвижной ленточный транспортер для подачи бетонной смеси по длине формы, которым управляет оператор.

Горизонтальный вал имеет диаметр 300 мм для изготовления труб диаметром 500—1000 мм и 400 мм для изготовления труб диаметром 1100—2000 мм.

Вращающийся ведущий вал-ролик обеспечивает вращение формы, в которой методом центрифугирования формируется железобетонный сердечник трубы. Когда

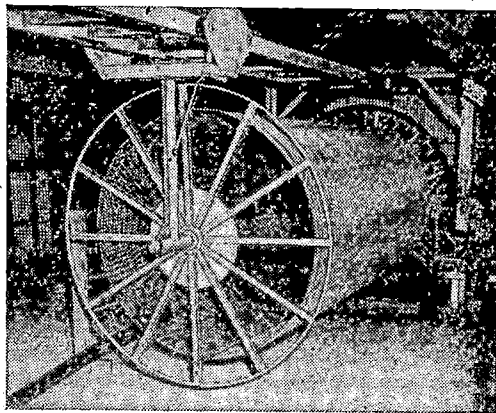


Рис. 172. Машина для электросварки каркасов железобетонных труб

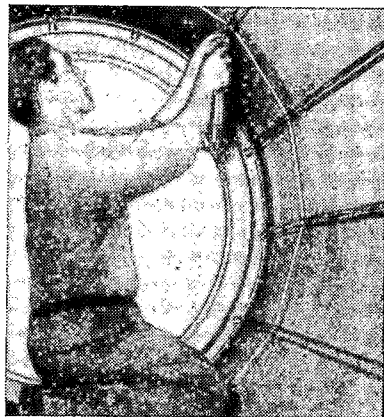


Рис. 173. Укладка продольной арматуры

Затем сердечник подвергается пропариванию, после чего усилия предварительного напряжения продольной арматуры передаются на затвердевший бетон, и сердечник освобождается из формы (рис. 174). Готовый бетон имеет временное сопротивление сжатию в возрасте 28 суток около 650 кг/см^2 , объемный вес 2500 кг/м^3 и водопоглощение в пределах 3%.

Железобетонный сердечник поступает на навивку высокопрочной проволокой для предварительного напряжения бетона в радиальном направлении (рис. 175). Напряжение, регулируемое измерительным прибором, создается протяжкой стальной проволоки большего диаметра через конический фильер. При этом проволока упрочняется и нагревается. При охлаждении в ней возникают дополнительные напряжения растяжению, обеспечивающие в свою очередь дополнительное обжатие бетона.

Следующим этапом технологии является нанесение на спирально навитую проволоку защитного слоя из цементного раствора. Нанесение раствора производится цемент-пушкой, вмонтированной в специальную установку. Полусухая смесь цемента с песком ленточным транспортером подается к двум валикам, вращающимся с большой скоростью в противоположных направлениях и с большой силой выбрасывающих торкрет-раствор на поверхность медленно вращающегося железобетонного сердечника (рис. 176). Слой торкрет-раствора подвергается пропариванию.

Обращается особое внимание на качество защитного слоя в целях обеспечения гарантированной защиты предварительно напряженной спиральной арматуры. В технологии «Рокла» эта задача решается, в первую очередь, конструкцией машины для нанесения торкрет-раствора, точно контролирующей заданное содержание в растворе цемента, песка и воды. Скорость и сила набрызга таковы, что накрывающий слой очень плотно сцепляется с бетоном и арматурой, образуя как минимум 15-миллиметровую его толщину практически из чистого цемента. Защитный слой получается очень плотным и прочным. По рекомендации профессора

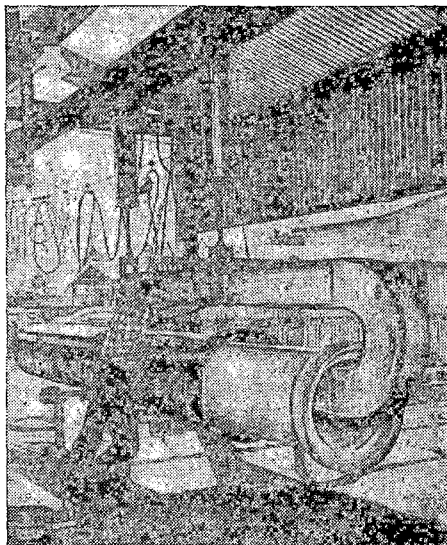


Рис. 174. Освобождение сердечника трубы от формы

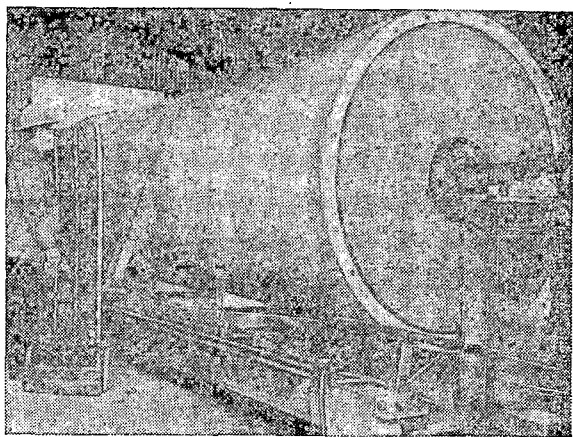


Рис. 175. Станок для навивки высокопрочной проволоки

Маньбеля, нанесение защитного слоя производится сразу же после навивки проволоки с тем, чтобы включить затвердевший защитный слой в обжимаемое предварительно напряженной проволокой полное сечение стенки трубы и не допустить ползучести торкретного слоя.

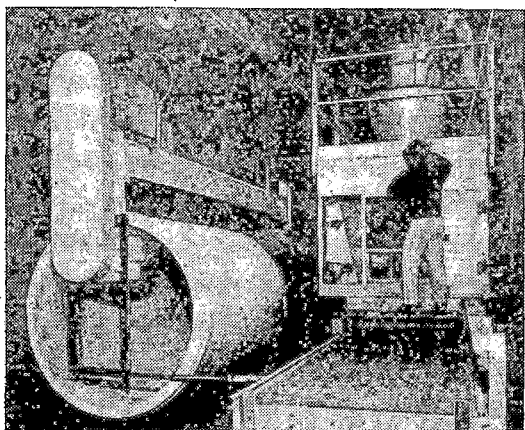


Рис. 176. Машина для нанесения защитного слоя на трубу

Испытания таких труб показали, что при действии как гидравлической, так и внешней нагрузки защитный слой включается в работу совместно с основной бетонной стенкой трубы и трещины на нем не появляются. Плотность такого защитного слоя была проверена в условиях субтропического климата: находившиеся в естественных атмосферных условиях трубы в течение 11 лет доказали полную сохранность спиральной арматуры от коррозии при толщине защитного слоя 15 и 20 мм.

На заводах «Рокла» каждая готовая труба подвергается испытанию гидравлическим давлением. При этом выдержанное испытуемой трубой давление и продолжительность его приложения автоматически регистрируются записывающим прибором и могут быть предъявлены заказчику. Выдержанное трубой испытательное давление маркируется на ее внутренней поверхности.

Важно отметить и ряд других заводских испытаний, которым подвергаются трубы «рокла». Так, например, устанавливается величина предельного зазора между поверхностями соединяемых труб в раструбе (для заданного диаметра труб и расчетного гидравлического давления), принимая, что коэффициент запаса к выдавливанию уплотняющего резинового кольца максимально возможным в сети давлением должен быть не менее 2.

Проверяется величина наибольшего допустимого угла поворота между двумя трубами. На рис. 177 показано одно из таких испытаний участка трубопровода длиной около 36 м из труб «рокла» диаметром 686 мм. Ось трубопровода зафиксирована натянутым шнуром. Середина трубопровода при внутреннем давлении 13,7 ат была сдвинута на 406 мм и крайние звенья отклонились от оси на максимально допустимый угол $1^{\circ}45'$. Угол, при котором резиновое кольцо было выдавлено, в 2,4 раза превышал в данном случае допустимый угол отклонения (при принятом коэффициенте запаса 2).

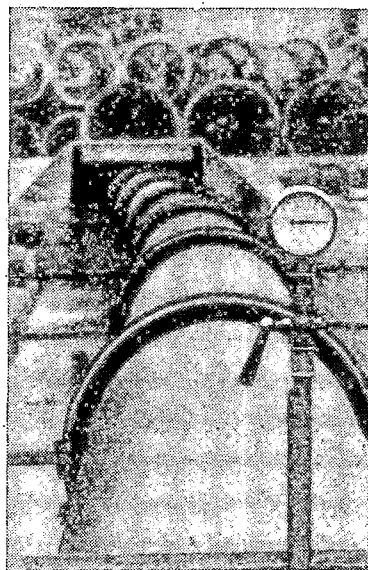


Рис. 177. Испытание трубопровода на определение допустимого угла поворота

На рис. 178 показано испытание на изгиб трубы диаметром 686 мм, длиной 5 м как балки на двух опорах (производится в выборочно по-рядке). По данным фирмы, несущая способность предварительно напря-женной трубы, испытываемой на изгиб, точно соответствует расчетной и в 2—3 раза превышает соответствующую не-сущую способность же-лезобетонной трубы с обычным армированием.

Некоторые технико-экономические показате-ли технологического оборудования при про-изводстве предвари-тельно напряженных напор-ных труб фирмы «Рокла» приведены в табл. 50.

Несомненными пре-имуществами техноло-гии «Рокла» являются: возможность приме-нения более жестких бе-

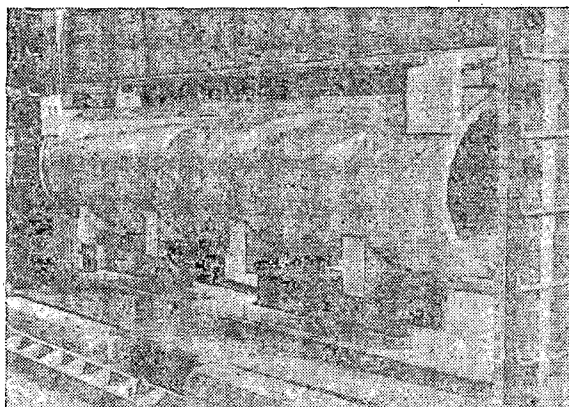


Рис. 178. Испытание изгибу трубы диаметром 686 мм, длиной 5 м

Таблица 50

Некоторые технико-экономические показатели оборудования
фирмы «Рокла Конкрет Пайпс»

Тип машин «Рокла»	Диаметр труб в мм	Длина трубы или каркаса тру- бы в м	Примерный вы- пуск в день (одна смена)	Число рабочих (потребность)	Количество ра- бочих часов на 1 т	Цена в тыс. долл. (Мельбурн, Австралия)
Сварочная машина для за- готовки каркасов:						
№ 8	25—2000	2,5	80	1	—	11,5
№ 16	180—800	5	125	1	—	10
№ 16	700—2000	5	40	1	—	16
Подвесная прокатная ма- шина для железобетон- ных труб:						
6	150—450	2	110	3	3	12,4
8Н	300—750	2,5	60	4	2,1	5
16	1000—2000	5	16	4	0,7	14
Н16	1200—3000	5	9	4	0,7	25
Машины для предвари- тельного напряжения (ради- альная навивка):						
60/5 — навивочная ма- шина	600—1500	5	20	2	1	17
60/5 — машина для на- несения защитного слоя	600—1500	5	20	2	1	8
Машина для набрызга рас- твора	Для труб всех диаметров	5	20	—	—	5

тонных смесей; равномерное распределение крупного и мелкого заполнителя по сечению стенки трубы; хорошее уплотнение бетона при небольших скоростях вращения формы. По данным фирмы, трудоемкость изготовления сердечника трубы этим способом на 40% ниже, чем при изготовлении обычным центрифугированием.

Трубы «рокла» получили высокую оценку за хорошее качество бетона, необходимую плотность и прочность стенок труб, а также за гладкую внутреннюю поверхность этих стенок, благодаря чему пропускная способность труб «рокла» по сравнению с другими железобетонными трубами выше на 10—15%. Особенно целесообразным оказалось изготовление методом «Рокла» труб больших диаметров, так как для производства другими известными способами требуется значительно более сложное оборудование, в противном случае не достигается подобное качество уплотнения бетона стенок.

Трубы «рокла» больших диаметров выпускаются предварительно напряженными с внутренним диаметром 1200, 1500, 2100, 2400, 2700 и 3000 мм, с разделением их по несущей способности на три группы: класс X — нормальной (обычной) прочности; Y — первого и Z — второго класса повышенной прочности. При этом трубы классов Y и Z имеют соответственно увеличенную толщину стенки. Длина труб назначается кратной 1 футу и не менее 4 футов (1,2 м).

Для изготовления труб «рокла» используются материалы, строго отвечающие соответствующим стандартам.

Заводские требования предусматривают, чтобы трубы имели продольное и радиальное обжатие бетона, отвечающее классу трубы; плотный бетон сердечника и защитного слоя; тщательно отформованные торцы для обеспечения высококачественного стыкового соединения с помощью резиновых колец; гладкую внутреннюю поверхность. На наружной поверхности допускаются раковины глубиной до 5 мм на расстоянии одна от другой не менее двух толщин сердечника трубы. Допускается незначительный ремонт поверхности цементным раствором с обязательной обработкой этих мест пропариванием в течение 48 ч. Разрешаются допуски в размерах труб против проектных: внутреннего диаметра от 0 до 18 мм; толщины стенки от 0 до 2 мм; длины ± 18 мм; параллельность торцовых плоскостей $\pm 3,8$ мм на 1 пог. м длины трубы. Защитный слой из цементного раствора, считая от поверхности стальной проволоки, должен быть не менее 19 мм. Для контроля последнего требования заказчик имеет право на каждые 20 труб один раз вскрыть защитный слой; площадь контрольного выреза допускается 25×100 мм с последующим ремонтом его заводом-изготовителем.

Заказчики считают, что трубы «рокла» целесообразно применять для строительства напорных трубопроводов с рабочим давлением до 14 ат, так как для трубопроводов с большим давлением, по их мнению, более экономично применение стальных труб. Считают также, что предварительно напряженные трубы «рокла» обладают повышенной сопротивляемостью действию внешних нагрузок, благодаря чему возможно укладывать их в глубоких траншеях и не опасаться действия гидравлического удара — предварительно напряженные железобетонные трубы в противоположность металлическим, как известно, способны «самозалечиваться».

Трубы «рокла» нашли широкое применение не только для строительства напорных водоводов, но и для безнапорных трубопроводов — в дренажных системах, для водопропускных труб под дорогами, для устройства ливнепроводов, а также в сооружениях метрополитенов, подземных проходных коллекторов и др.

Известны многочисленные примеры широкого использования труб «рокла» не только в Австралии, но и в ряде других стран.

В Пакистане в г. Карачи были изготовлены трубы диаметром 1524 мм и длиной 2,44 м для строительства дренажной сети в аэропорте, находившемся на расстоянии 4800 км от г. Карачи. Перевозка на такое дальнее расстояние оказалась экономически целесообразной.

В Португалии фирма «Сонака Нэйшнл Пайп Компани» свыше 30 лет изготавливает предварительно напряженные трубы по методу «Рокла» для строительства трубопроводов высокого давления.

В Швейцарии трубы по технологии «Рокла» изготавливает фирма «Хунцигер Компани».

В Испании сооружен из труб «рокла» напорный водовод длиной 48 км для водоснабжения г. Гвадалахара. Изготовление и укладка труб диаметром до 1067 мм, длиной 2,44 м осуществляются фирмой «Форте-Матубо».

В Австралии были изготовлены и применены для строительства водопропускной трубы под автомобильной дорогой в г. Сиднее предварительно напряженные трубы «рокла» диаметром 3048 мм, длиной 2,44 м. Эти трубы были изготовлены на заводе фирмы «Рокла» в г. Пенрит.

В Австралийском штате Виктория трубы «рокла» диаметром 1829 мм, длиной 3,66 м применены для строительства трубопроводов электростанции «Хазелвуд», предназначенных для подачи воды к турбогенераторам. Трубы были испытаны на заводе на давление 4,6 ат и в трубопроводе — на давление 3,7 ат. Укладка труб производилась на уплотненную по профилю трубы песчаную подушку толщиной 40 см.

Фирмой «Рокла» также осуществлено строительство подобных трубопроводов для электростанции «Лиддел» в Новом Южном Уэльсе в Австралии и др.

Трубы «рокла» изготавливают раструбными и укладывают в основном с гибкими стыковыми соединениями на резиновых прокладках круглого и других сечений. Качество этих соединений проверено в водоводах Австралии 35-летней практикой для рабочих давлений до 18 ат. Гибкие стыки испытывали на разрушение гидравлическим давлением до 31 ат. Отмечается необходимость в большой тщательности устройства стыковых соединений в траншеях, что гарантирует в дальнейшем безаварийную работу напорных водоводов.

При устройстве ответвлений и поворотов трассы водоводов используют специальные железобетонные фасонные элементы со стальным цилиндром.

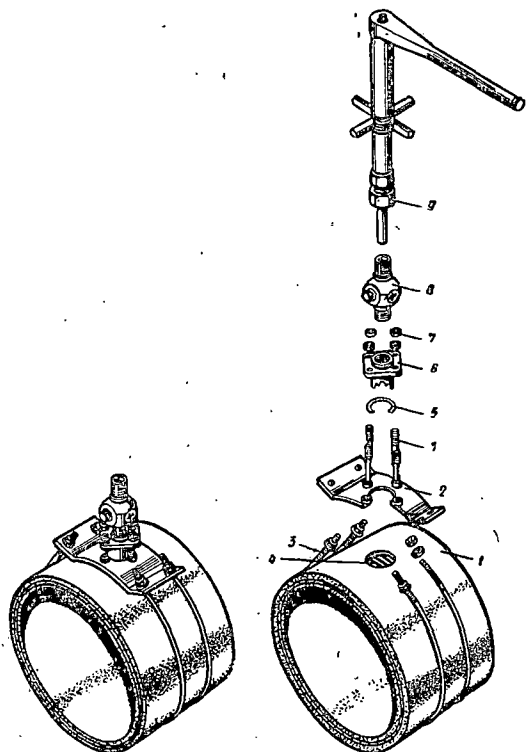


Рис. 179. Устройство для присоединения задвижки к напорному водоводу

Один из методов присоединения крана или задвижки к напорному водоводу из железобетонных труб показан на рис. 179. Опорное седло 2 на наружной поверхности трубы 1 прикрепляется U-образными болтами 3. Если наружная поверхность трубы неровная, необходимо ее выровнять цементным раствором, прежде чем положить и укрепить седло. Затем необходимо проделать отверстие 4 в трубе в соответствии с диаметром отверстия в седле. После этого уложить резиновое уплотнительное кольцо 5 в углубление уплотнительной коробки 6, вставить ее через отверстие в седле, поставить на болты 7 и закрепить четырьмя гайками,

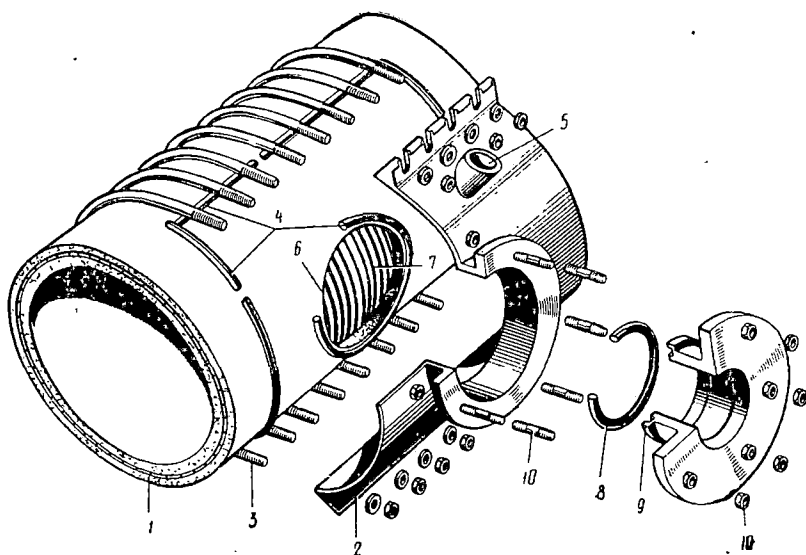


Рис. 180. Присоединение к металлическому железобетонному водоводу трубы большого диаметра

1 — железобетонная труба; 2 — металлическое полукольцо с фланцем; 3 — U-образные болты; 4 — резиновые прокладки; 5 — отвод; 6 — отверстие для присоединения трубы малого диаметра; 7 — арматура трубы; 8 — резиновое уплотнительное кольцо; 9 — фланец; 10 — гайка фланца

обеспечив полную водонепроницаемость присоединения. После этого завинтить шарообразный флюир 8 в уплотнительную коробку, присоединить сверлильную машинку 9, просверлить бетон в трубе, закрыть флюир, убрать сверлильную машинку, открыть флюир и очистить поверхность от цемента и грязи; залить пространство между уплотнительной коробкой и седлом цементным раствором; изолировать цементным раствором седло и U-образные болты.

Присоединение к магистральному железобетонному водоводу ответвлений из труб большого диаметра показано на рис. 180.

На рис. 181 показана раскладка труб «рокла» на одном из объектов строительства трубопровода в Австралии.

Трубы «рокла» рассчитывают исходя из условия постоянного сохранения в бетонной стенке трубы сжимающих напряжений. При расчетном испытательном гидравлическом давлении в бетоне допускают предельное нулевое напряжение. Состояние железобетонных напорных труб проверяли после многих лет эксплуатации. Открытые и подвергнутые испытаниям трубы оказались более прочными и водонепроницаемыми, чем перед укладкой.

Идеи совершенствования технологии центрифугирования напорных труб разрабатывают и в отечественной промышленности железобетон-

ных труб. Так, способ производства труб центрифугированием с вибрированием и прокаткой разработан ВНИИЖелезобетоном, а способ центрифугирования с высокочастотным вибрированием — НИИЖБом при участии ЦНИИПодземшахтстроя.

Один из вариантов виброцентрифуги, разработанный НИИЖБом и ЦНИИПодземшахтстроем, показан на рис. 182.

Виброцентрифуга предназначена для изготовления железобетонных сердечников напорных труб диаметром 800, 1000, 1200 и 1500 мм, длиной 7 м, с толщинами стенок сердечников соответственно 65, 75, 85 и 95 мм

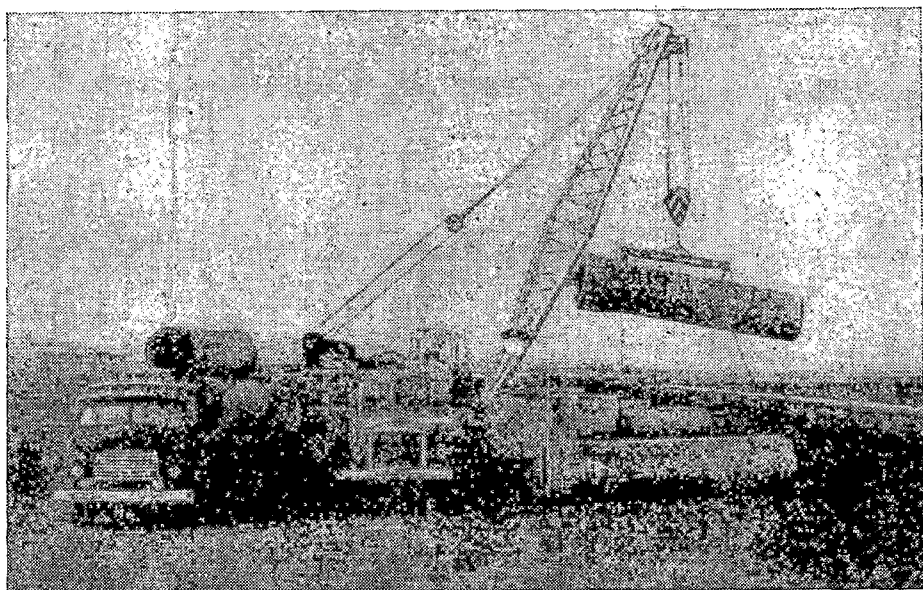


Рис. 181. Раскладка труб «рокла» на объекте строительства

(толщина защитного слоя для всех труб 25 мм), предназначенных для рабочего напора до 10—12 ат. Виброцентробежный станок обеспечивает совместное центрифугирование и вибрирование загруженной в форму бетонной смеси и рассчитан на изготовление одной трубы.

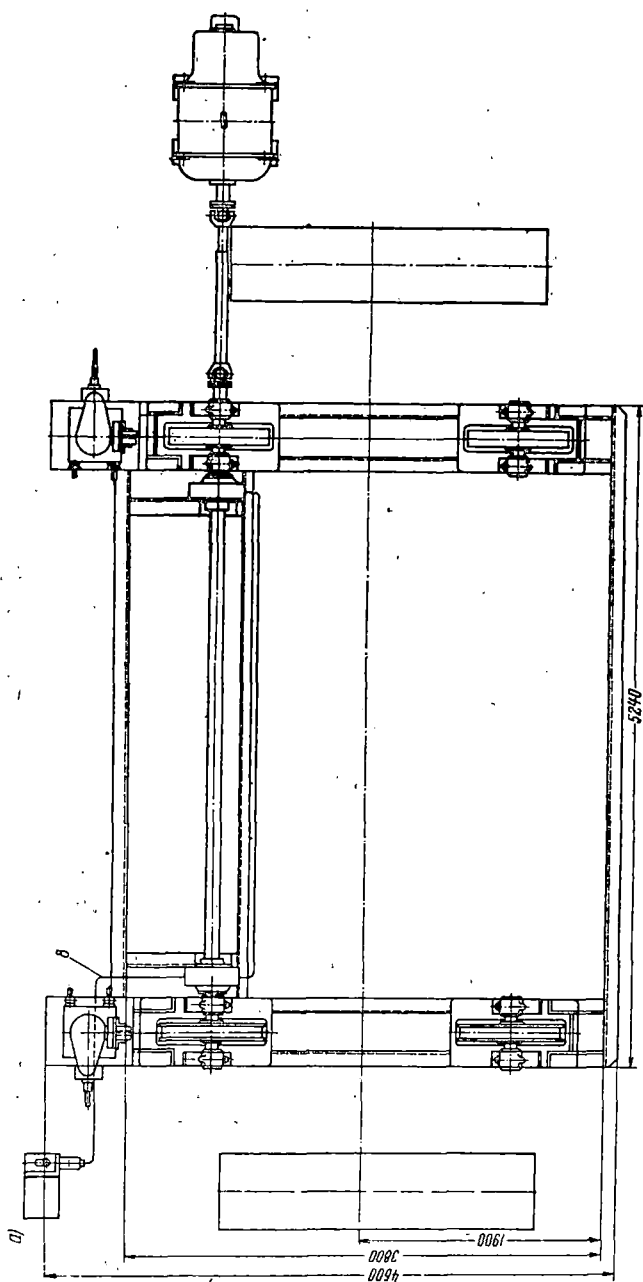
Конструкция и прочность элементов станка обеспечивает при максимальных оборотах частоту колебаний формы 11 000—12 000 ударов в

Таблица 51
Скорость вращения формы на виброцентрифуге

Внутренний диаметр трубы в мм	Толщина стенки формируемого сердечника трубы в мм	Скорость вращения формы в об/мин	
		в процессе рас-пределения бетонной смеси	в период уплотнения бетонной смеси
800	65	45—90	400—500
1000	75	40—80	350—400
1200	85	40—60	300—350
1500	95	40—60	250—300

минуту с амплитудой 0,1—0,15 мм. Скорость вращения форм при центрифугировании указана в табл. 51.

Габариты виброцентробежного станка: длина 10 м, ширина 4,6 м и высота 4 м; ориентировочный вес около 8 т.



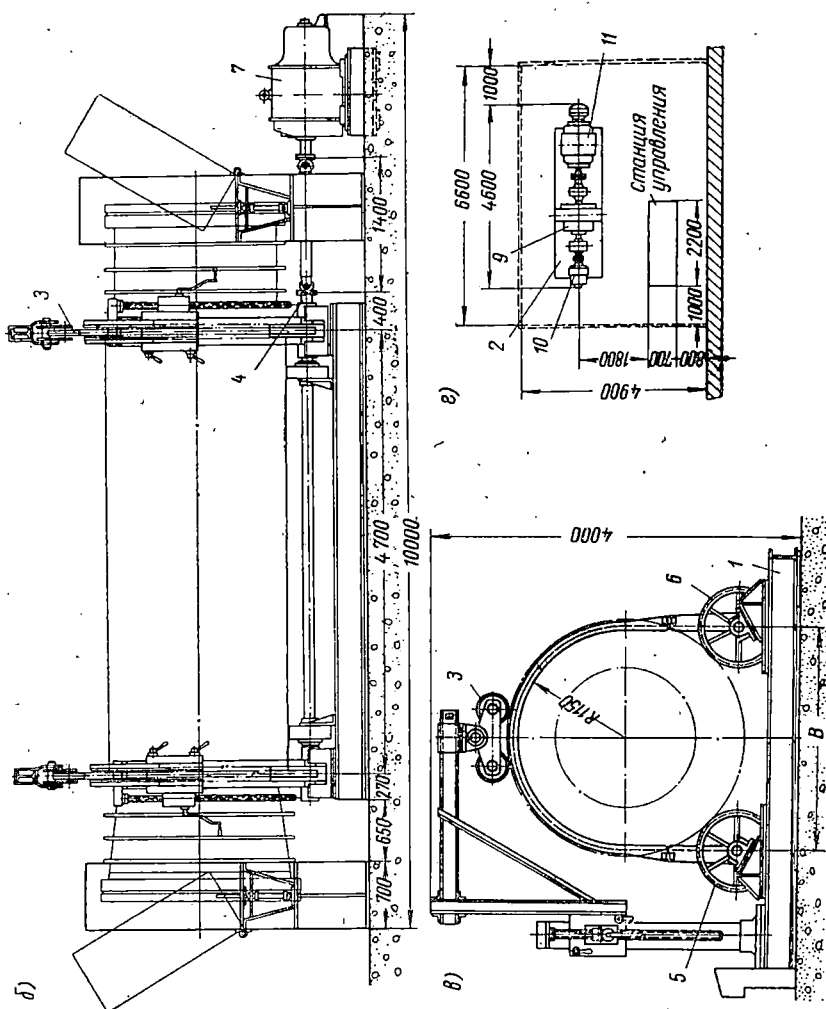


Рис. 182. Виброцентрифуга конструкции НИИЖБ-ЦНИИПодземшх-стройка

а — план; б — продольный разрез; в — поперечный разрез; г — установка преобразовательного агрегата; 1 — станция; 2 — станция управления; 3 — прижимные ролики, 4 — приводной вал; 5 — ведущие ролики с выемками для вибрации формы; 6 — то же, ведомые ролики; 7 — электродвигатель мощностью 125 кет; 8 — гидродвигатель гидравлического тормоза; 9 — генератор постоянного тока мощностью 155 кет, 130 в; 10 — возбудитель мощностью 7,8 кет, 230 в; 11 — асинхронный электродвигатель мощностью 185 кет, 380 в

Диаметр трубы в мм	Размер В
800	1800
1000	1980
1200	2140
1500	2370

Глава IX

ПРОИЗВОДСТВО ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ТРУБ СПОСОБОМ ВИБРОГИДРОПРЕССОВАНИЯ

1. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ «СЕНТАБ» НА ШВЕДСКОМ ЗАВОДЕ В Г. МАЛЬМО

Отличие производства труб виброгидропрессованием от других способов заключается в том, что напряжение спиральной высокопрочной арматуры осуществляется одновременно с формированием бетонной стенки трубы при заранее смонтированной на металлической форме и предварительно напряженной продольной арматуре. Бетонную смесь

укладывают при интенсивной вибрации. Напряжение спиральной арматуры и дополнительное уплотнение смеси осуществляют гидравлическим прессованием. Как известно, эта идея первоначально была предложена Фрейссине, однако, в связи со сложностью оборудования и недостаточной проработанностью технологического процесса, в первоначальный период широкого распространения не получила.

Фирма «Сентаб Пайп Консорциум» в г. Мальмо в Швеции организовала заводское производство труб вибропрессованием с 1952 г., внося в предложение Фрейссине ряд усовершенствований, главным образом, в направлении упрощения

Таблица 52

Технико-экономические показатели труб,
изготавливаемых виброгидропрессованием

Показатели	Внутренний диаметр трубы мм		
	600	800	1200
Толщина стенки в мм	50	60	80
Объем бетона в трубе в м ³	0,61	0,97	1,9
Расход стали на трубу в кг	78	128	240
В том числе:			
спиральной арматуры в кг	57	103	190
продольной арматуры в кг	21	25	50
Вес трубы в т . . .	1,5	2,4	4,8
Вес 1 пог. м в т . .	0,3	0,48	0,96
Расход стали на 1 м ³ бетона в кг	128	131	126

Примечание. В расходе материалов учтены 5% на отходы.

конструкции форм, удешевления оборудования и снижения трудоемкости изготовления труб. В результате это производство оказалось технически целесообразным и рентабельным.

В г. Мальмо вибропрессованные напорные трубы изготавливают раструбными с внутренним диаметром от 500 до 1200 мм, с градацией через 100 мм, длиной 5 м и рассчитывают для применения в трубопроводах с рабочим напором до 12 ат.

Некоторые технико-экономические показатели труб приведены в табл. 52.

Производительность завода — 8 тыс. м³ в год, или в среднем 28 труб ежедневно. Площадь производственных помещений, включая склады, около 3 тыс. м². План и разрез производственного корпуса показаны на рис. 183.

Все оборудование завода можно разделить на стандартное, выпускаемое промышленностью (бетономешалки, краны, компрессоры, вибраторы и др.), вес которого не превышает 62 т, и нестандартное, главным образом формы для изготовления труб, общим весом около 140 т.

Technical drawing of a building section showing a three-bay industrial structure and a four-bay residential structure. The industrial section has a height of 7.00m and bay widths of 6000mm. The residential section has a height of 12.00m and bay widths of 8000mm. A load $Q=10T$ is indicated on the roof of the residential section. The total length of the structure is 10000mm.

Architectural floor plan (План) of a facility, likely a pump station, showing various equipment and dimensions.

Dimensions:

- Overall width: 14.00
- Overall height: 34.00
- Horizontal segments (from left to right): 7.00, 7.00, 7.00, 7.00, 7.00
- Vertical segments (from top to bottom): 6.00, 6.00, 6.00, 8.00, 8.00

Equipment and Features:

- Crane: $Q=10T$
- High-pressure pump: Насосная высокого давления
- Other labeled components: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, N:2, N:1

1 — станок для правки и резки продольной арматуры; 2 — станок для опрессовки анкеров на концах стержней продольной арматуры; 3 — запасные бухты с проволокой; 4 — устройство для размотки бухт с проволокой; 5 — навивочная машина; 6 — аккумулятор; 7 — насосы; 8 — компрессор; 9 — щит управления гидроспосоединением; 10 — установка для отделки конца труб; 11 — отделение для подготовки форм; 12 — открытый склад с дожде-

Внутренняя форма по высоте состоит из двух частей: нижней, образующей раструб, и верхней — для формирования основной части трубы. На форму надевают резиновый чехол со стенками толщиной 15 мм. Обе части внутренней формы соединены специальными патрубками со шту-

цером, к которому присоединен шланг для подачи под давлением горячей воды, равномерно опрессовывающей бетон через резиновый чехол.

Наружная форма выполнена из двух жестких полуформ, соединенных болтами диаметром 40 мм, проходящими через фланцы, прикрепленные к полуформам по длине трубы. Болты с пружинными компенсаторами из 10—12 колец типа «Гловер» толщиной 12 мм (рис. 184). Такое устройство необходимо для того, чтобы во время прессования бетонной смеси обеспечить одновременное напряжение спиральной арматуры, при котором, как известно, происходит удлинение проволоки, а в данном случае — увеличение длины окружности спирали.

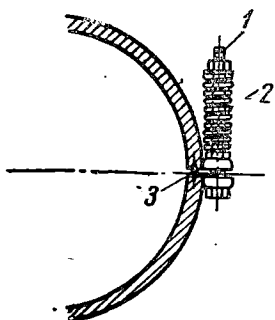


Рис. 184. Деталь крепления двух наружных полуформ

1 — болт диаметром 40 мм; 2 — пружинный компенсатор из 10—12 колец толщиной 12 мм типа «Гловер»; 3 — резиновая прокладка, предохраняющая раствор от вытекания через щель между полуформами, образующуюся во время прессования бетона

Удаление части свободной воды из бетонной смеси во время прессования производят через перфорированную поверхность наружной формы. Отверстия диаметром 2 мм расположены через 60 мм по длине и 300 мм по окружности формы. При подготовке к бетонированию на отверстия внутри формы наклеивают полосы фильтрационной ткани шириной 30 мм, препятствующие вымыванию цемента из бетона, а затем устанавливают предварительно заготовленную спиральную арматуру.

Для того чтобы наружные полуформы не деформировались, к ним приварены через 600 мм ребра жесткости.

Первой укладывают в форму спиральную арматуру в виде каркаса из проволоки диаметром 3—4 мм с пределом прочности 190—210 кг/мм², навитой без предварительного напряжения на продольные стержни из полосовой стали сечением 0,5×25 мм. Каркас заготавливают на специальном навивочном станке (рис. 185). Стержни из полосовой стали готовят на простейшем прессе. На стержнях, на определенном расстоянии, соответствующем шагу навивки спирали, штампуют скобки для крепления высокопрочной проволоки (рис. 186). При навивке проволоку укладывают у скобки и зажимают специальным устройством. Таким способом достигают строго фиксированное положение витков спирали в каркасе. Затем устанавливают продольную арматуру с последующим натяжением ее на форме. Стержни этой арматуры заготавливают из профилированной проволоки диаметром 5 мм с пределом прочности 160—190 кг/мм². Продольные стержни нарезают длиной по 5 м с припуском по 10 см для устройства анкерного крепления на форме путем расклепывания концов стержней. Последние крепят в специальных упорных кольцах и натягивают домкратом мощностью 3—5 т, передавая усилие натяжения на наружную форму. Величину заданного натяжения стержней фиксируют закладываемой



Рис. 185. Навивка спиральной арматуры из высокопрочной проволоки на специальном станке

между расклепанной головкой и упорным кольцом стандартной шайбой длиной 30 мм. Длина шайбы соответствует величине удлинения стержня.

Общий вид наружной формы с уложенным каркасом из спиральной арматуры и установленными стержнями продольной арматуры показан на рис. 187.

Собранную на специальной опорной конструкции форму заполняют в вертикальном положении бетонной смесью с помощью конического виброукладчика, загружаемого смесью из бетономешалки принудительного действия. На наружной форме на расстоянии 1 м от торцов установлены два вибратора с амплитудой колебания 1,2 мм и частотой колебаний 7600 кол/мин. Продолжительность действия вибраторов 25—30 мин.

Для изготовления труб применяют бетон марки 600 с расходом цемента до 600 кг/м³ и водоцементным отношением 0,33. После укладки бетонной смеси форму вместе с опорной конструкцией перемещают мостовым краном грузоподъемностью 10 т в отделение гидропрессования, где смонтирована установка, подающая горячую воду с температурой 60—70°С под давлением 30 ат. Эта установка состоит из компрессора высокого давления, аккумуляторов, котла для подогрева воды, насосов, разводящей сети и щита управления. Пульт управления прессованием одновременно обслуживает шесть станков. Щит управления автоматизирован: при понижении давления ниже 30 ат срабатывает реле, и давление в форме автоматически восстанавливается до заданной величины. Процессом гидропрессования управляет один рабочий.

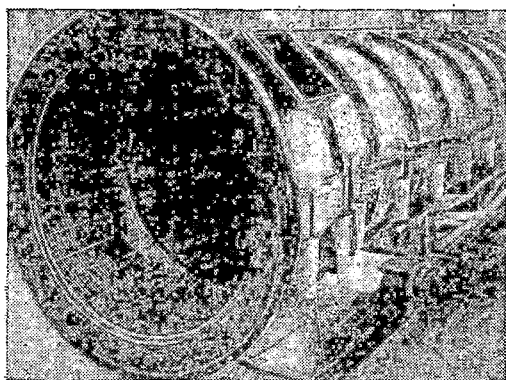


Рис. 187. Наружная форма в собранном виде с установленной спиральной и напряженной продольной арматурой

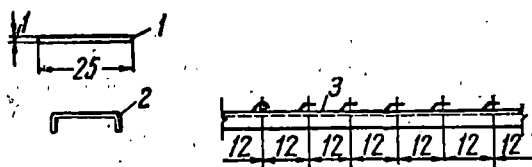


Рис. 186. Распределительная арматура из полосовой стали с выштампованными крючками для крепления спиральной арматуры

1 — заготовка из полосовой стали 0,5×25 мм; 2 — профилированная полосовая сталь; 3 — полосовая сталь с выштампованными крючками для удержания спиральной арматуры (слева — положение закрепленной проволоки)

Горячую воду подают по разводящей сети в пространство между резиновым чехлом и внутренней формой. Под нарастающим гидравлическим давлением резиновый чехол в форме расправляется и равномерно прессует уложенную между ним и наружной формой бетонную смесь, которая в свою очередь, перемещаясь при уплотнении под давлением вместе с наружной формой и продольной арматурой, увлекает за собой и растягивает высокопрочную проволоку спиральной арматуры. Соответственно удлинению спиральной проволоки раздвигаются полуформы. Величина раздвижки полуформ пропорциональна длине окружности спирали и обратно пропорциональна модулю упругости стали. При использовании несущей способности высокопрочной проволоки до 0,65 R_n эта величина не должна превышать:

растающим гидравлическим давлением резиновый чехол в форме расправляется и равномерно прессует уложенную между ним и наружной формой бетонную смесь, которая в свою очередь, перемещаясь при уплотнении под давлением вместе с наружной формой и продольной арматурой, увлекает за собой и растягивает высокопрочную проволоку спиральной арматуры. Соответственно удлинению спиральной проволоки раздвигаются полуформы. Величина раздвижки полуформ пропорциональна длине окружности спирали и обратно пропорциональна модулю упругости стали. При использовании несущей способности высокопрочной проволоки до 0,65 R_n эта величина не должна превышать:

$$a \leq \frac{0,65\pi DR_n^n}{2E_a}$$

или после упрощения

$$a \leq \frac{DR_n^n}{E_a},$$

где D — диаметр спирали в см;

R_n^n — нормативное сопротивление высокопрочной проволоки на растяжение в кг/см^2 ;

E_a — модуль упругости стали в кг/см^2 .

Так, например, при изготовлении трубы с внутренним диаметром 1000 мм и с диаметром спирали 112 см из проволоки с нормативным сопротивлением $R_n^n = 18\,000 \text{ кг/см}^2$ и $E_a = 1,8 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ величина раздвижки ориентировочно составит

$$a = \frac{112 \cdot 18\,000}{1,8 \cdot 10^6} = 1,12 \text{ см.}$$

Величина раздвижки может быть меньше вычисленной по формуле, если допустимая несущая способность проволоки не будет использована полностью.

Под давлением 30 ат трубу оставляют в форме в течение 5 ч до приобретения бетоном 70% прочности заданной марки. Активизации про-

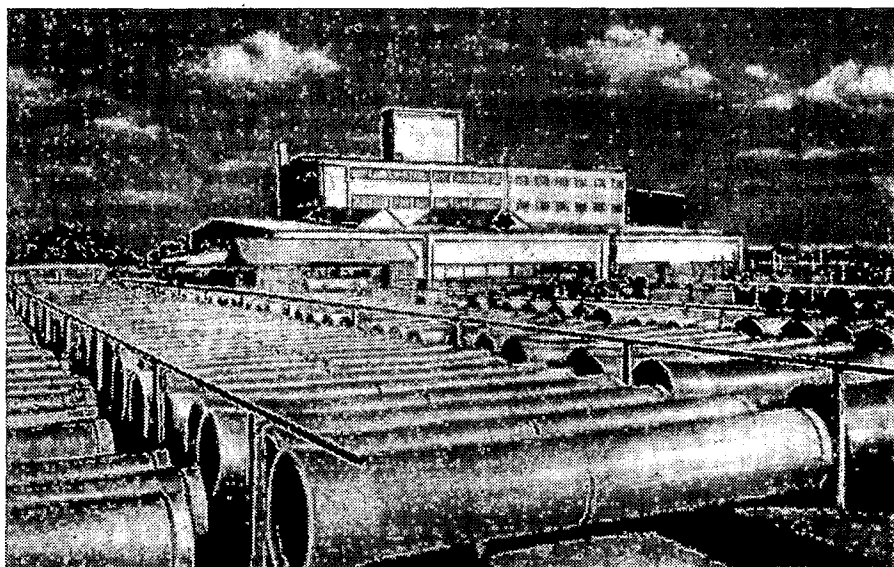


Рис. 188. Общий вид завода в г. Мальмо. На переднем плане готовые напорные трубы диаметром 700 мм на складе готовой продукции

цесса твердения содействует интенсивное обогривание бетона горячей водой, применяемой для гидропрессования. После этого гидравлическое давление сбрасывают, наружную форму вместе с трубой переносят крапом на стенд для распалубки. Затем поверхность трубы очищают и калибруют ее концы, а внутреннюю форму возвращают на первый стенд для подготовки к формованию очередной трубы.

Для ускорения последующего твердения бетона рекомендуется применять пропаривание.

Очистку и калибровку внутренней части раструбного и втулочного концов труб производят по специальному шаблону карборундовым кругом с допусками ± 2 мм.

Затем трубы отправляют на промежуточный склад, где подвергают 10-суточному дождеванию. После этого каждую из труб испытывают гидравлическим давлением до 20 ат на стенде. Установка трубы на испытательном стенде и заполнение ее водой из сети с давлением 7 ат занимает 10 мин. Доведение давления до испытательного производят допрессовкой ручным насосом. Готовые трубы перемещают козловым краном грузоподъемностью 5 т. Труба считается по техническим условиям выдержавшей испытание, если в течение 10 мин при испытательном давлении на ее поверхности не появятся пятна потения. В противном случае трубу возвращают на склад и через 3 суток испытания повторяют. Если пятна потения при повторном испытании появятся вновь, трубу для данной партии считают забракованной.

Характерным для конструкции труб «сентаб» является отсутствие металлических обечаек в стыковых соединениях и других закладных металлических деталей в стенках трубы.

Общий вид завода г. Мальмо со складом готовых труб на первом плане показан на рис. 188.

Трубы при строительстве водоводов укладывают в открытой траншее, для рытья которой часто используют экскаватор. После того как труба опущена в траншею, на втулочный конец ее надевают резиновое кольцо, заводя его в предусмотренный для этого специальный кольцевой паз. Резиновое кольцо с диаметром жгута 24 мм сжимают в раструбе концом стыкуемой трубы до 12 мм. Кольцо защищено от механических повреждений специальным гребнем, воспринимающим поперечные усилия. Этот гребень также предотвращает сползание резинового кольца под действием напора воды. Втулочный конец осторожно вводят в раструб, центрируя на весу. Устанавливают трубу в проектное положение цепным домкратом. Укладка труб показана на рис. 189.

Применяемые гибкие стыки допускают углы поворота между трубами на $1-2^\circ$, благодаря чему трубопровод из прямых сборных элементов может быть уложен по кривой без нарушения герметичности стыков. Отводы, пересечения и крутые повороты на трассе осуществляют с применением специально изготовленных труб и фасонных деталей.

В результате ознакомления группой советских специалистов с производством на заводе в г. Мальмо были сделаны следующие выводы:

- 1) способ производства напорных труб виброгидропрессованием является несложным и достаточно экономичным;
- 2) благодаря применению одноступенчатой технологии значительно сокращаются производственная площадь и территория завода, уменьшаются трудоемкость и время изготовления трубы;
- 3) технологическое оборудование завода может быть укомплектовано в значительной части — до 30% — из стандартного оборудования, выпускаемого промышленностью. Из специального нестандартного оборудования наиболее сложным является комплект форм и гидравлическая установка для прессования бетонной смеси горячей водой под давлением до 30 ат;
- 4) общий вес оборудования завода — около 200 т — невелик и допускает возможность быстрой организации производства железобетонных напорных труб; удельный вес оборудования составляет 25 т на 1 тыс. м³ выпускаемой продукции в год;
- 5) в связи с тем, что изготовление труб виброгидропрессованием состоит из одного рабочего процесса, стенки труб по всему сечению однородны и все сечение практически равномерно участвует в работе. Этим качеством данные трубы выгодно отличаются от изготовленных по трех-

ступенчатой технологии, когда защитный слой высокопрочной спирали наносят отдельно после обжатия железобетонного сердечника. Кроме того, нанесение защитного слоя торкретированием, очень трудоемко и

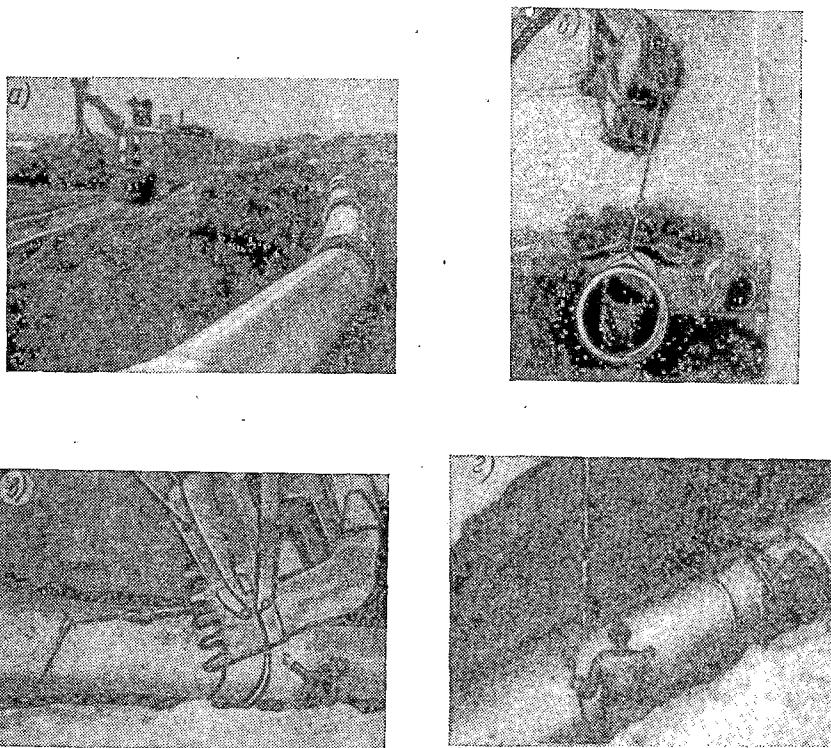


Рис. 189. Укладка виброгидропрессованных труб экскаватором. Втулочный конец трубы вводят в раструб цепным домкратом

а — трубы, уложенные по трассе; б — укладка труб экскаватором в траншею; в — заправка втулочного конца с помощью экскаватора; г — трубы, уложенные в проектное положение

неэкономично вследствие большого количества «отскока» раствора; требуемая толщина торкретного слоя 20—25 мм достигается с трудом и поэтому в большинстве случаев ее уменьшают, что ухудшает условия защиты проволоки от коррозии. Описанный способ виброгидропрессования исключает все эти недостатки. Плотность бетона благодаря вибрации и дополнительному прессованию достаточно высока. Укладка труб со стыковыми резиновыми кольцами нетрудоемка.

Необходимо отметить, что трубы, изготовленные этим способом, до организации их заводского производства были изучены на экспериментальных участках с 1948 по 1952 г.;

6) по данным завода в г. Мальмо, стоимость железобетонных напорных труб ниже стоимости металлических на 40%;

7) к недостаткам описанного метода следует отнести: трудность изготовления форм и резиновых чехлов; необходимость поддерживать в течение длительного времени высокое давление горячей воды в формах; невозможность контролировать предварительное напряжение в спиральной арматуре и значительное количество ручных операций при подготовке форм. Однако эти недостатки не умаляют достоинства технологии в целом.

Технология виброгидропрессования получила признание в ряде других зарубежных стран. В частности, такая старинная французская фирма по производству напорных труб, как «Бонна», также приобрела в 1956 г. шведский патент фирмы «Сентаб Пайп» и производит перестройку своих предприятий, ранее работавших по трехступенчатой технологической схеме, по новому способу, переименовавшись в фирму «Бонна — Сентаб».

Впервые технология виброгидропрессования была осуществлена этой фирмой на трубном заводе в г. Вианене (Голландия) в 1957 г.

2. ПРОИЗВОДСТВО НАПОРНЫХ ТРУБ «БОННА — СЕНТАБ» НА ФРАНЦУЗСКОМ ЗАВОДЕ В РАЙОНЕ Г. НИМА

На предприятиях фирмы «Бонна — Сентаб» оборудование и технологический процесс производства труб виброгидропрессованием подвергаются дальнейшей модернизации.

Одним из таких предприятий фирмы, применивших и модернизовавших оборудование «Сентаб Пайп», является завод в районе г. Нима во Франции.

Производство здесь организовано по следующей схеме. Из высокопрочной проволоки диаметром 2—3 мм в арматурном цехе заготавливают арматурный спиральный каркас, скрепленный продольными стержнями из полосовой профилированной проволоки (рис. 190), и укладывают его в наружную форму (рис. 191), на упорных кольцах которой закрепляют и натягивают продольные стержни диаметром 5 мм. После соединения с внутренней частью форму подают на пост формования. Конструкция форм аналогична ранее описанной на заводе в г. Мальмо.

Бетонную смесь готовят в двух бетономешалках принудительного действия емкостью по 1000 л с автоматическим контролем и регулированием влажности смеси. Весовой состав смеси на 1 м³: цемента 475 кг, песка 500 кг, гравия 1360 кг, воды 200 л. Длительность перемешивания 3—4 мин. Бетонную смесь подают по транспортеру в промежуточный бункер, из него с помощью поворотного шнека — на один из постов формования для загрузки в формы. Этот технологический прием оказался очень удачным. Один из таких постов формования, оборудованных шнеком, показан на рис. 192. Всего в цехе девять постов формования. Бетонную смесь шнеком подают на конусообразный укладчик, распределяющий ее равномерно по периметру между наружной металлической формой и резиновым чехлом, надетым на внутреннюю форму.

Для укладки бетонной смеси с необходимым уплотнением на наружной поверхности формы установлены четыре пневматических вибратора с частотой 9000 колебаний в минуту. Формование трубы продолжа-

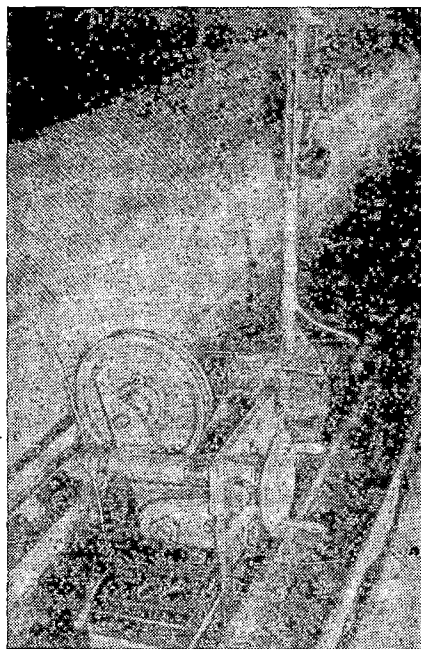


Рис. 190. Заготовка каркаса спиральной арматуры на навивочной машине усовершенствованного образца

ется 30 мин. Форму, заполненную бетонной смесью, переносят краном на пост тепловлажностной обработки. Таких постов в цехе 19. Здесь производят гидропрессование бетона горячей водой, подаваемой в пространство между внутренней формой и резиновым чехлом под давлением

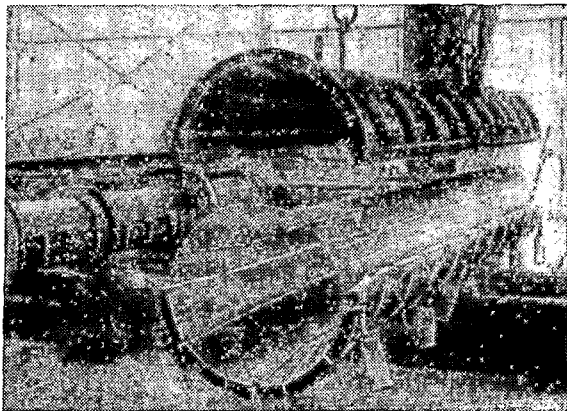


Рис. 191. Сборка наружной формы после укладки каркаса спиральной арматуры

20 ат, в результате чего происходит предварительное напряжение спиральной арматуры. В напрягаемом состоянии форму выдерживают до затвердения бетона, после чего гидравлическое давление сбрасывают и предварительно напряженная спиральная арматура обжимает затвердевший бетон. Все операции на этом посту автоматизированы. Щит автоматической регулировки и контроля давления воды в форме обслуживает один рабочий.

После тепловлажностной обработки форму переносят на пост распалуб-

ки, где готовую предварительно напряженную трубу освобождают, а форму очищают металлической щеткой с пневмоприводом.

На отдельной установке производят шлифовку раструба, а на другом посту — снятие фаски на внутренней части раструба. Каждую трубу после обработки концов подвергают испытанию гидравлическим давлением, во время которого стенки трубы простукивают молотком. Если течь не обнаружена, давление сбрасывают и трубы направляют на склад (рис. 193).

При девяти постах формования производительность предприятия в две смены составляет 35 труб в сутки, или 175 труб в неделю. На заводе разработаны мероприятия для увеличения выпуска труб до 40 шт. в сутки с одновременным снижением трудовых затрат за счет ряда технических усовершенствований. На производстве труб занято 78 рабочих и 15 инженерно-технических работников. При среднем расходе бетона 55 м³ в сутки выработка на одного рабочего составляла 0,7 м³, на 1 пог. м трубы в среднем расходуется 2 чел.-часа.

Наиболее ответственным элементом оборудования в технологии гидропрессования являются резиновые чехлы. Однако, по свидетельству завода, они выдерживают 500—600 циклов формования, т.е. с помощью одного чехла изготавливают 500—600 труб. Действитель-

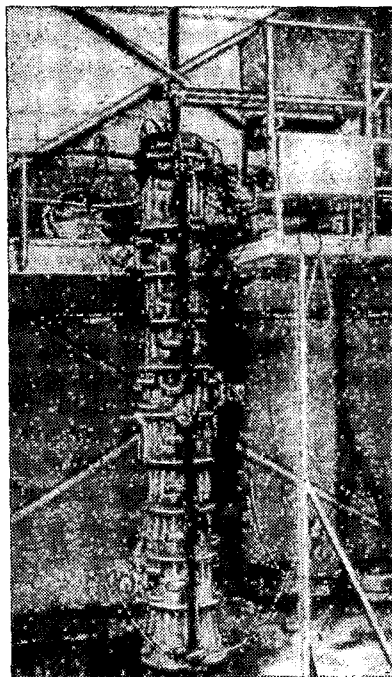


Рис. 192. Форма с закрепленными пневмовибраторами на посту формования

но, при осмотре чехлов, выдержавших более 300 циклов формования, никаких видимых следов износа обнаружено не было.

Стыкование труб при укладке, как обычно, производят на резиновых кольцах, пригодность которых для этих целей проверена практикой

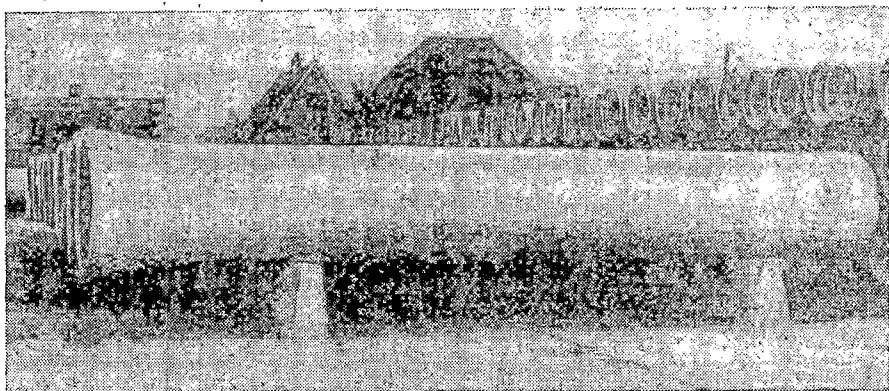


Рис. 193. Склад готовых напорных труб диаметром 700 мм

фирмы «Бонна» в течение 50 лет. Фасонные детали ответвлений, пересечений и переходов применяют типа «Бонна» — с закладными металлическими фасонными листами.

На заводе изготовляют трубы диаметром от 400 до 1800 мм, длиной 5 м, выдерживающих испытательное давление до 20 ат. Трубы, изготовленные этой фирмой, уложены во многих напорных водоводах в Голландии и Швеции.

3. ПРОИЗВОДСТВО НАПОРНЫХ ТРУБ ВИБРОГИДРОПРЕССОВАНИЕМ НА ЗАВОДЕ В Г. КУЙБЫШЕВЕ

В 1962 г. в Куйбышеве был построен первый экспериментальный завод по производству железобетонных напорных труб способом виброгидропрессования с использованием шведского технологического оборудования, поставленного фирмой «Сентаб Пайп Консорциум». Проект завода разработан институтом Гипростройиндустрия. Трубный завод запроектирован на общей площади с заводом центрифугированных опор для линий электропередачи, построенном ранее, и имеет с ним общие складские помещения, источники электроснабжения, теплоснабжения, воздухооборудования, водоснабжения и канализации. Освоение опытного производства осуществлялось трестом «Железобетон» при участии НИИЖБа.

В процессе освоения отработывали технологию производства, на отдельных агрегатах испытывали отечественные образцы оборудования, выявляли достоинства и недостатки технологии, оборудования, осуществленных планировочных решений предприятия, качество исходных материалов и их влияние на качество труб; отработывали конструкции труб, изготавливаемых по чертежам Союзводоканалпроекта. Сортамент виброгидропрессованных труб, изготавливаемых на заводе по чертежам Союзводоканалпроекта, приведен в табл. 53.

В указанный пусковой период еще не было полностью завершено строительство завода, не было организовано систематическое снабжение его высококачественными заполнителями и другими необходимыми материалами. Выявился ряд недостатков в технологии, влияющих на каче-

Сортамент виброгидропрессованных напорных труб для рабочего давления 10 ат

Внутренний диаметр в мм	Толщина стенки в мм	Длина трубы в мм	Глубина раструба в мм	Расход на одну трубу		Расход стали в кг на 1 м ³ бетона	Вес трубы в т
				бетона марки 500 в м ³	стали в кг		
500	55	5000*	185	0,507	72	142	1,2
		5185					
700	60	5000	185	0,807	104	129	2,01
		5185					
900	70	5000	195	1,17	152	130	2,93
		5195					
1000	75	5000	195	1,42	199	140	3,55
		5195					
1200	85	5000	195	1,98	257	130	4,95
		5195					

* Над чертой — расчетная длина, под чертой — полная длина трубы.

ство труб. Все это явилось причиной задержки нормального производства труб в первом году работы завода.

В соответствии с разработанным проектом завода мелкий и крупный заполнитель из карьеров поступает железнодорожным транспортом

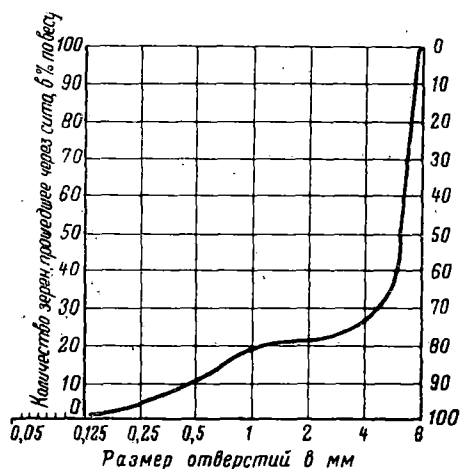


Рис. 194. Кривая просеивания заполнителей для труб, изготавливаемых виброгидропрессованием с шагом спирали до 13 мм

на склад заполнителей, откуда по транспортеру доставляется в бетоносмесительный узел. Сюда же поступает цемент из силосного склада. Склады сырья общие для двух предприятий. Песок применяют горный из Половинкинского карьера, щебень — мытый, фракционированный из Смолинского карьера с пределом прочности 1200 кг/см², с зерновым составом 1—2; 2—4 и 4—8; 8—12 мм. Наибольшая крупность щебня принята: для труб диаметром от 500 до 700 мм — 8 мм; от 900 до 1000 мм — 10 мм; 1200 мм — 12 мм. Цемент марки 500 с Жигулевского завода.

По требованиям технологии зерновой состав заполнителей должен быть обязательно ста-

бильным, отвечающим кривой просеивания, приведенной на рис. 194. Примеси глины или пылевидные добавки с фракциями мельче 0,125 мм допускаются в количестве не более 2%. Щебень рекомендуется применять из камня твердой породы — гранитов или гнейсов, с зернами кубической формы. Песок кварцевый четырех фракций: 0,125—0,5; 0,5—1; 1—2; 2—4 мм. Бетонная смесь должна иметь осадку конуса 1,5—2 см;

$B/C = 0,36 \div 0,39$; расход цемента приблизительно 550 кг/м^3 . Прочность бетона в 28-суточном возрасте должна быть не менее 500 кг/см^2 .

Производственная площадь цеха для изготовления труб составляет $4,5 \text{ тыс. м}^2$ (рис. 195). Цех расположен в многопролетном здании. В трех пролетах шириной по 15 м размещены отделения: арматурное, сборки, распалубки и выдерживания труб; в трех пролетах шириной по 12 м расположены отделения выдерживания, шлифовки и испытания. К цеху примыкают бетономесительный узел, ремонтно-механическая мастерская, лаборатория, бытовые и складские помещения; все они размещены в четырехэтажной части здания. Рядом с цехом расположен склад готовой продукции.

Технологическая схема производства труб следующая. Изготовление труб начинается тремя потоками: 1) заготовкой арматуры и подачей ее к месту сборки форм; 2) подготовкой форм для укладки арматуры; 3) приготовлением и подачей к месту формования бетонной смеси.

Арматурное отделение. Арматуру для производства напорных труб заготавливают в виде арматурных каркасов из высокопрочной проволоки, наматываемой на стержни продольной распределительной арматуры и пучков стержней для продольной рабочей арматуры из высокопрочной проволоки с выштампованными головками на концах. Стержни распределительной арматуры для спиральных каркасов изготавливают из полосовой стали $0,5 \times 20 \text{ мм}$ на специальном станке — эксцентриковом прессе ТМ-15. Распределительные стержни надлежит изготавливать из холоднокатаной стали с твердостью по Бринеллю 110—115, прочностью на разрыв около 37 кг/см^2 . Станок штампует на полосовой стали скобки с заданным расстоянием между ними от 11 до 24 мм в соответствии с шагом навиваемой спиральной арматуры. Изменение шага штампования производят путем смены из числа имеющихся в комплекте оборудования станка соответствующих штампов, колес питателя и шестерен. Длина полосовой стали отвечает длине каркаса 5-м трубы и отмеряется также автоматически. На станок полосовая сталь поступает из бухты. Заготовленные на одну трубу полосы (для труб диаметром $500\text{—}700 \text{ мм}$ — 6 шт. ; $900\text{—}1000 \text{ мм}$ — 18 шт. и 1200 мм — 24 шт.) связывают в пакеты на одну трубу и укладывают на стеллажи, откуда комплектами подают к навивочной машине. Производительность станка с гарантированным давлением прессы 15 т — 120 выштампованных скобок в минуту, или в среднем около 30 полос распределительной арматуры в 1 ч . Станок приводится в движение электродвигателем мощностью $1,1 \text{ квт}$, 1410 об/мин . Габариты станка в плане: $0,51 \times 0,75 \text{ м}$, высота $1,73 \text{ м}$; вес станка $0,6 \text{ т}$.

Шведская машина для изготовления спиральных каркасов фирмы «Багер и К°» выпуска 1960 г. оборудована двумя электродвигателями мощностью $0,7$ и $0,4 \text{ квт}$. Основной частью машины является вращающийся с небольшой скоростью сменный барабан, соответствующий диаметру изготавливаемого каркаса. На барабане сначала укладывают продольную распределительную арматуру из выштампованных полос через $25\text{—}35 \text{ см}$ по длине окружности. Раструбную часть каркаса усиливают укладкой на барабан дополнительных коротких вставок из распределительных полос. Концы этих вставок на $20\text{—}25 \text{ см}$ перекрывают прямые участки продольных полос и таким образом осуществляют необходимую нахлестку. По уложенным на барабан распределительным стальным полосам начинают навивку спиральной арматуры из высокопрочной проволоки по ГОСТ 7348—63, поступающей со специальной бобины (их всего 8), на которую проволоку предварительно перематывают с бухты. Для соединения концов проволоки установлена сварочная машина мощностью $1,4 \text{ квт}$. Навивку производят суппортом, который движется вдоль вращающегося барабана. В тот момент, когда навиваемая проволока проходит под очередной скобкой, выштампованной на распределитель-

ной полосе, специальное приспособление прижимает ее, прикрепляя проволоку к полосе. Все операции по вращению барабана, движению суппорта и закреплению в каркасе спиральной проволоки синхронизированы.

Необходимо, чтобы навиваемая проволока была выправленной. Пружинящая в деформированных местах проволока не попадает под



Рис. 196. Съем с навивочного станка готового каркаса спиральной арматуры и транспортировка его в склад мостовым краном

скобку и остается в каркасе не закрепленной в месте пересечения с распределительными полосами; естественно, что такие каркасы не являются полноценными. В конце каркаса делают по два сближенных вплотную витка, затем проволоку закрепляют и обрезают наждачным резак. Наиболее употребительным шагом спирали при навивке проволоки (для изготовления труб с рабочим напором до 10 ат) является шаг 14,52 мм.

Заготовленный каркас снимают с барабана машины и транспортируют на склад каркасов мостовым краном с помощью специальной вилочной подвески (рис. 196). Спиральные каркасы, скрепленные описываемым способом, имеют достаточную жесткость, поэтому могут укладываться в несколько рядов по высоте. В этом же отделении производят заготовку продольной арматуры. Высокопрочную проволоку диаметром 5 мм по ГОСТ 8480—63 выправляют и заготавливают на станке отрезками длиной 5215 мм для труб диаметром 500—700 мм и длиной 5225 мм для всех других труб. На соседнем станке шведской конструкции производят высадку головок стержней для их анкеровки

при закреплении в форме. Общий вид машины ВОГТ для высадки анкеров показан на рис. 197. Она рассчитана на холодную высадку высокопрочной проволоки диаметром до 6 мм. Для проволоки разных диаметров предусмотрены соответствующие зажимы (тиски). Например, при применении проволоки для продольной арматуры диаметром

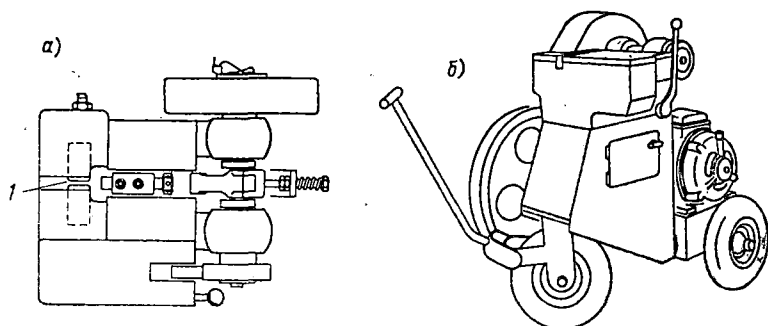


Рис. 197. Машина ВОГТ для высадки анкеров на стержнях продольной рабочей арматуры

а — план; б — общий вид; 1 — скосы челюстей зажимов должны быть с этой стороны

5 мм и муфты, надеваемой на проволоку, диаметром 12—15 мм, высотой 8 мм выдавленный анкер на конце проволоки будет иметь размеры: диаметр 7,5—8,5 мм, высоту 4—5 мм (рис. 198). Анкер меньших габаритов может проскакивать через отверстия муфты, а больших —

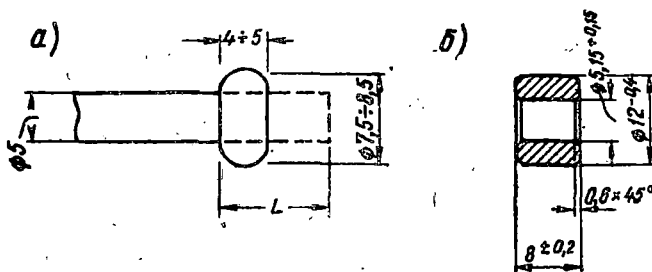


Рис. 198. Высаженный анкер на конце стержня продольной арматуры диаметром 5 мм и муфта
а — анкер; б — муфта

может уменьшить прочность стержня при его напряжении. Машина весьма портативна (ее габариты в плане $0,75 \times 1,1$ м; высота 1,05 м; вес 0,35 т), приводится в действие электродвигателем мощностью 3 квт. Комплект стержней на каждую трубу связывают в пакет. Всего в арматурном отделении занято в одну смену 9 рабочих.

Отделение подготовки форм. Каркасы со склада передают в отделение подготовки форм, обслуживаемое мостовым краном и консольными кранами, закрепленными на колоннах. Здесь производят распалубку формы после тепловлажностной обработки труб, очистку, смазку и новую сборку с укладкой каркаса из спиральной арматуры, установкой и натяжением рабочей продольной арматуры из высокопрочной проволоки. Для этой цели предусмотрены четыре рабочих места, оборудованных подставками для укладки полуформ, гидродомкратами и комплектами различного электрического и пневматического инструмента.

В этом отделении подготавливают только наружные формы: внутренние формы подготавливают непосредственно в приемке формовочного отделения. Наружные формы состоят из двух перфорированных полуформ (для труб больших диаметров — из четырех частей), собираемых на пружинных болтах. Болты эти тарированы на определенное заданное усилие. Они состоят из набора стальных пружин разной толщины. Так, для форм диаметром 500 мм болты собраны из 25 пружин толщиной 4 мм, для других, более крупных — из 21 пружины толщиной 5 мм. В свободном состоянии высота собранных болтов 154 ± 1 мм, в сжатом — 145 мм.

Полуформы очищают от следов бетона и тщательно смазывают масляной эмульсией (эмульсол), разработанной НИИЖБом. Собранные части наружной формы скрепляют болтами. Затяжку болтов производят пневмоключами — пневматическими гайковертами. На затяжку одного болта затрачивают 10—12 сек, на один ряд болтов на форме — приблизительно 1,5—2 мин, что зависит от количества болтов и квалификации рабочего. Надо отметить, что гайковерты при работе создают большой шум в цехе, утомляют сборщиков и снижают производительность их труда. В дальнейшем гайковерты необходимо заменить бесшумно работающим пневмоинструментом.

Продольные швы между собранными частями формы заклеивают клеей лентой шириной 50 мм изнутри формы. Спиральный каркас заводят внутрь собранной формы двумя арматурными стержнями, закан-

чивающимися на концах крючками. Торцовые неразрезные упорные кольца устанавливают для натяжения на них стержней продольной арматуры. Упорное кольцо с раструбной стороны монтируют и демонтируют консольным краном, а кольцо с другого конца трубы — мостовым краном формовочного пролета.

Необходимо следить за сохранностью форм, так как в практике цеха уже был отмечен износ форм в результате двухгодичной эксплуатации, что привело, в частности, к увеличению допусков по диаметру в раструбной части до 6 мм и явилось частично причиной брака труб.

Заготовленный в арматурном отделении комплект продольных стержней для одной трубы (например, для трубы диаметром 1200 мм — 30 шт.) подают к форме в связанном виде.

Стержни закрепляют в упорном кольце раструба, а противоположные концы пучком пропускают через форму, после чего каждый стержень по очереди вставляют в прорезь упорного кольца на гладком конце трубы. В прорезь стержень заводят специальной монтажной вилкой, которой опалубщик пользуется как рычагом. Спиральный каркас крепят проволокой к концам продольной арматуры у втулочного конца формы. Пазы в упорном кольце заделывают формовочной глиной. Предохранительные кольца надевают с обоих концов формы и производят натяжение продольной арматуры на форме. Для этого к торцовому кольцу раструбной части подводят передвижной домкрат мощностью 3,5 т. Продольную арматуру натягают до натяжения, не превышающего 0,65 предела прочности высокопрочной проволоки. Все стержни

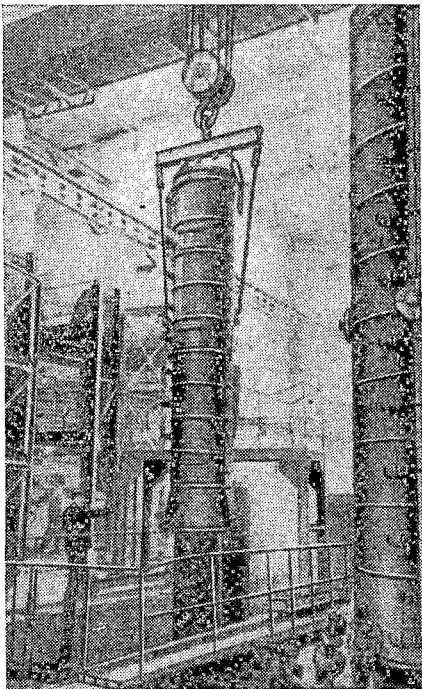


Рис. 199. Опускание наружной формы в приямок на внутреннюю заранее подготовленную форму с надевшим на нее резиновым чехлом

натягают по очереди. Захватом домкрата вытягивают арматуру, и в образовавшийся зазор между упорным кольцом и шайбой на проволоку насаживают металлическую муфту длиной 30 мм с продольной прорезью. Упорная муфта фиксирует заданное удлинение — пропорционально величине предварительного напряжения продольной арматуры. После натяжения продольной арматуры защитные кольца снимают, и подготовленную наружную форму с уложенным в нее спиральным каркасом и предварительно напряженной продольной арматурой поднимают мостовым краном в вертикальное положение, раструбной частью вниз, и опускают в приямок, надевая ее на внутреннюю форму (рис. 199). Отверстия между арматурой в упорном кольце раструба для их герметизации заливают изнутри расплавленным парафином.

Внутреннюю форму готовят и заранее устанавливают в приямке формовочного отделения. Она состоит из двух металлических цилиндров, один из которых перфорирован: толщина стенок формы по 5 мм с зазором между цилиндрами 5—6 мм. На перфорированный металлический цилиндр надет резиновый чехол толщиной 15 мм, который снимают с цилиндра только после износа чехла.

Место примыкания резинового чехла к стальному цилиндру в гладком конце трубы оклеивают клейкой лентой. К нижней части резинового чехла примыкает армированный резиновый пояс для образования раструба; внутрь пояса вложена стальная пружина. Резиновый чехол рассчитан на использование до 200 раз, хотя в шведской и французской практике указываются примеры использования одного чехла для изготовления до 500 труб и более.

При подаче горячей воды в зазор между стальными цилиндрами внутренней формы гидравлическое давление передают через отверстия внутренней полуформы в пространство, ограниченное резиновым чехлом, заставляя его расширяться, и таким образом прессуют бетонную смесь формируемых стенок трубы.

В конструкции внутренней формы при эксплуатации выявлен следующий недостаток: было обнаружено, что в щель между резиновым чехлом и резиновым поясом раструба при вибрировании затекает цементное молоко, в результате чего здесь был обнаружен слой затвердевшего цементного раствора толщиной до 5 мм. Это утолщение явилось в дальнейшем одной из причин образования дефектных раструбов. В дальнейшем попадание раствора в щель ликвидировали проклейкой шва сверху специальной шведской лентой.

На подготовленную внутреннюю форму (точнее на резиновый чехол формы) наносят распылителем 10%-ную мыльную эмульсию, затем в приямок мостовым краном подают подготовленную наружную форму (смазанную с проклеенными швами, с установленным в ней спиральным арматурным каркасом и предварительно напряженной на форме продольной арматурой), «надевают» на внутреннюю форму и центрируют упорным кольцом на металлическом кольце внутренней формы. На верх формы также устанавливают центрирующее кольцо, которое фиксирует точное положение между наружной и внутренней формами. Это кольцо снимают после окончания укладки с вибрированием бетонной смеси. Вес укомплектованных форм составляет от 3,1 (Ø 500 мм) до 8,3 т (Ø 1200 мм). Формы переносят мостовым краном и устанавливают на один из пяти постов формовочного отделения.

Формовочное отделение. Здесь к установленной форме крепят вибраторы на консольных поворотных устройствах. Вибраторами управляют с рабочей площадки, находящейся на отметке +5,5 м. На заводе применяют шведские пневматические вибраторы фирмы «А—Б Вибро—Веркен», характеристика которых приведена в табл. 54, и отечественные вибраторы ВПН-1 (вибраторы пневматические навесные) Свердловского завода, модель 1962 г. с аналогичной характеристикой, показавшие при эксплуатации очень высокие качества.

Таблица 54

Характеристика пневмовибраторов «А—Б Вибро—Веркен» типа EP51, применяемых при формировании напорных труб на Куйбышевском заводе

Показатели	Давление воздуха в кг/см ²			
	3	4	5	6
Частота (без напора) колебаний в минуту	6500	7800	8800	9500
Центробежная сила в кг	900	1320	1680	2000
Амплитуда в мм	1,35	1,35	1,35	1,35
Расход воздуха в м ³ /мин	0,35	0,6	0,8	1

Примечание. Общий вес вибратора (включая кронштейн весом 3 кг) 16 кг. Диаметр шланга для подачи воздуха 15,9 мм.

Пневматические вибраторы обеспечивают при необходимости непрерывное вибрирование до 1 ч и более.

Размещение вибраторов на форме по принятой схеме показано на рис. 200. Предусмотрено, что на форме диаметром 500 мм должно быть установлено два вибратора, на форме диаметром 700 мм — три; диаметром 900 мм — четыре; диаметром 1000 и 1200 мм — по пять

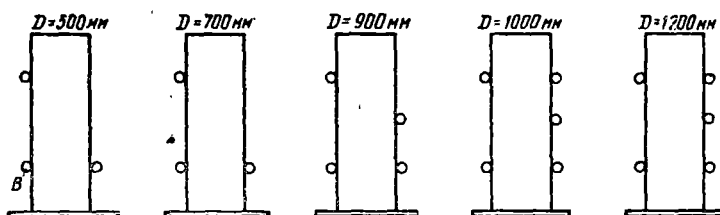


Рис. 200. Схема размещения вибраторов при формировании труб различных диаметров

В — дополнительный вибратор, поставленный по технологическим соображениям

вибраторов. В работе эту схему меняют, исходя из технологических условий; во всех случаях для лучшего пробетонирования раструба в нижней части формы закрепляют не менее двух вибраторов.

На верх формы на центрирующее кольцо укладывают распределительный виброконус для равномерной укладки бетонной смеси по контуру формы. Виброконус (рис. 201)

снабжен пневматическим вибратором, подвешенным снизу, и имеет ребра — направляющие для укладки бетонной смеси. Подготовку поста бетонирования на этом заканчивают.

Бетонную смесь готовят в примыкающем к формовочному отделению бетоносмесительном узле, состоящем из помещений: бункерного, дозаторного, бетоносмесительного и транспортного.

Бетоносмесительный узел автоматизирован; в нем установлены две бетономешалки принудительного действия емкостью 500 и 1000 л; узел обслуживают четыре рабочих в смену. Технологический процесс приготовления бетонной смеси решен здесь по вертикальной схеме в пристройке, имеющей размер в плане 9×9 м, высоту 24 м, и соединен галереей с основным цехом.

Для изготовления труб применяют бетонные смеси с водоцементным отношением 0,31—0,36, иногда до 0,4. Примерный состав на 1 м³ бетона: цемент марки 600—550 кг; песок 400 кг; щебень 1350 кг; вода 200 л. Бетонную смесь подают транспортером в бадью

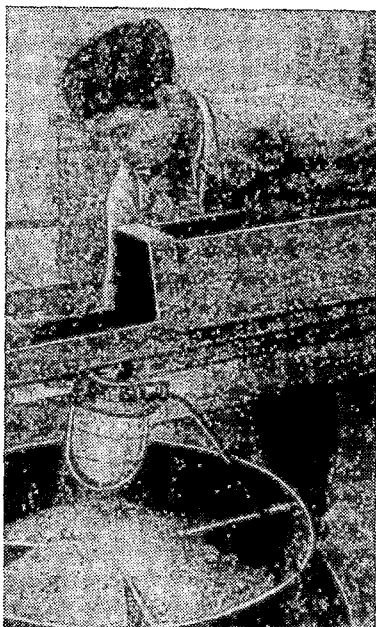


Рис. 201. Виброконус для укладки бетонной смеси в форму

объемом 0,6—0,8 м³, которую тельфером поднимают на второй этаж — площадку бетонирования, а затем транспортируют по монорельсу к бункеру шнекового бетоноукладчика.

Шнековый бетоноукладчик представляет собой передвижную тележку с бункером и коротким шнеком; его можно перемещать к любому посту формирования. Перед формированием трубы бетоноукладчик очищают от остатков схватившегося бетона и устанавливают в рабочее

положение так, чтобы приемный бункер его находился под тельфером для приема бадьи, а конец шнекового транспортера — над центром распределительного конуса формы.

Бетонную смесь, транспортируемую шнеком, распределяют по контуру формы; наблюдающий за этим процессом рабочий помогает равномерному распределению бетона с помощью кельмы. Во время формования внешнюю форму в раструбной части во избежание преждевременной перегрузки пружинных болтов предварительно стягивают трубцинами. Перед окончанием бетонирования рабочий следит за правильным заполнением верхней части формы и заглаживает торец трубы, снимая излишек или дополняя кельмой недостаток в отдельных местах бетонной смеси. Формование одной трубы в зависимости от диаметра продолжается от 40 до 60 мин (иногда 80 мин). После окончания укладки бетонной смеси рекомендуется продолжать вибрирование формы еще 5 мин, для чего на форме оставляют один или два вибратора в зависимости от диаметра трубы. Когда процесс формования закончен, снимают распределительный конус и центрирующее кольцо, устанавливают закрепляющее кольцо, отключают и снимают все вибраторы и форму с бетоном переносят мостовым краном в отделение гидропрессования. В пролете формовочного отделения смонтированы три крана грузоподъемностью по 20 т. Все указанные процессы обслуживают один тельферист и шесть бетонщиков. В пусковой период за смену выработка на формовании достигала 10—14 труб, в зависимости от их диаметра.

Отделение гидропрессования расположено в общем пролете с формовочным отделением и обслуживается 20-т мостовыми кранами. Наибольший вес формы трубы диаметром 1200 мм, заполненной бетоном, составляет около 15 т. Посты гидропрессования, как видно на рис. 202, расположены вдоль продольных стен. Всего в цехе 30 таких постов. К каждому из них сделана подводка воздуха, холодной и горячей воды и пара. Для регулирования подачи и давления горячей воды в форме на специальных панелях у каждого поста смонтирован щит управления. Контроль за работой постов осуществляют три оператора. Обслуживают установленные формы с двух сторон: снизу — со стороны специально предусмотренного прохода вдоль щитов управления, и сверху — с консольной рабочей площадки на отметке +4,7 м. Заполненную бетонной смесью форму устанавливают на металлический поддон поста гидропрессования и крепят к его крестовине четырьмя болтами, передвигающимися в прорезах опорной крестовины поддона. В дальнейшем конструкция этого крепления должна быть, несомненно, усовершенствована с тем, чтобы форму захватывать крепежным устройством автоматически, используя ее вес при опускании на поддон.

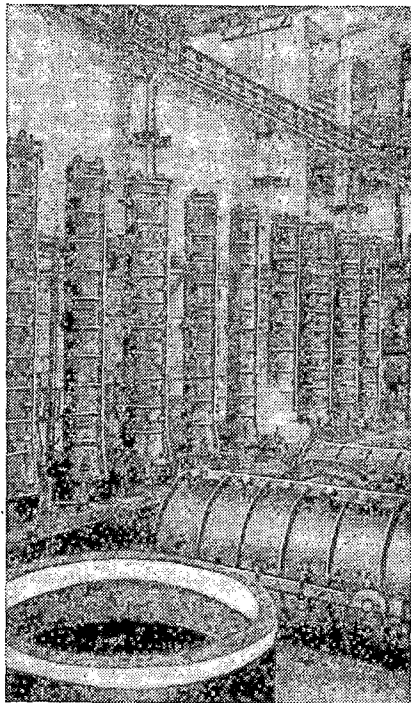


Рис. 202. Общий вид отделения гидропрессования

Внутреннюю форму присоединяют к трубопроводу установки низкого давления и заполняют водой. Заполнение контролируется переливом в верхней части формы с помощью крана, открытого на это время. После заполнения формы горячей водой, температура которой постепенно повышается от $+40$ до $+70^{\circ}\text{C}$, включается установка высокого давления. В результате происходит предварительное напряжение спиральной арматуры благодаря ее растяжению под влиянием внутреннего давления, передаваемого через бетонную смесь. Прессующее давление воды в форме принято в зависимости от диаметра труб практически от 23,5 до 27,5 ат (для труб диаметрами 500, 700, 900, 1000, 1200 мм соответственно 27,5; 26,5; 26 и 23,5 ат). Подъем давления осуществляется постепенно в течение 30 мин, следовательно, за этот же период времени происходит и предварительное напряжение арматуры. Во время гидропрессования бетонной смеси, заключенной между резиновым чехлом внутренней формы и наружной формой, перемещаемая и прессуемая в радиальном направлении бетонная смесь передает гидравлическое давление на стенки наружной формы, а через них — на тарированные пружинные болты, соединяющие наружные полуформы. Болты сжимаются на заданную величину, и во время процесса гидропрессования можно наблюдать за раскрытием щели между полуформами. Во время гидропрессования предварительное напряжение в спиральной арматуре достигает 140 кг/мм^2 . Необходимо отметить, что высокопрочная проволока здесь благодаря гидравлическому давлению в массе прессуемой бетонной смеси напрягается равномерно, без динамических усилий, присущих механическому натяжению. В связи с этим случаев разрыва проволоки, которые обнаруживались бы во время последующего испытания труб, не наблюдалось, в то время как на других предприятиях, практикующих навивку той же проволоки на железобетонные сердечники, разрывы ее во время натяжения считаются обычным явлением.

После подъема давления в форме до расчетного приступают к тепловлажностной обработке вибропрессованного бетона. Заданное давление поддерживают в форме непрерывно под контролем автоматических регуляторов «Армас». Под влиянием горячей воды во внутренней форме твердение бетона продолжалось сначала до 10—12 ч. Однако вскоре на заводе был применен ускоренный способ тепловлажностной обработки с дополнительным пропариванием. Для этой цели после гидропрессования на форму краном надевали брезентовый чехол, под который впускали пар с температурой до $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$. В этих условиях с двойным обогревом бетона температура воды в форме также повышается и время тепловлажностной обработки сокращается до 5—8 ч в зависимости от диаметра труб. Следует установить предельно минимальный срок тепловлажностной обработки бетона на посту гидропрессования, а также выяснить влияние перегрева на старение резины чехлов и возможное сокращение в связи с этим срока их службы.

После окончания тепловлажностной обработки прекращают подачу пара, снижают давление и выпускают воду из внутренней формы. Снижение давления производят также постепенно в течение 30 мин, как правило, в две ступени.

Во время гидропрессования свежееуложенной бетонной смеси в вертикально установленной форме возникают неодинаковые условия, влияющие на раскрытие щели между полуформами по высоте: в нижней раструбной части диаметр формы больше диаметра в цилиндрической части приблизительно на 20%, а так как растягивающие усилия между формами пропорциональны ее диаметру, то и раскрытие щели при равных условиях здесь должно быть соответственно большим. Это увеличение усилия растяжения должно быть компенсировано соответствующим тарированием пружинных болтов, установленных в раструбной

части, или установкой в этой части струбцин — ограничителей расхождения полуформ. В противном случае, как показала практика, это расхождение заметно увеличивается книзу — в сторону раструба и может явиться одной из причин появления брака труб.

Отключенную от контрольной аппаратуры и поддона форму переносят краном на пост распалубки. Здесь, для того чтобы резиновый чехол отошел от поверхности бетона трубы, во внутренней форме создают вакуум путем отсоса воздуха через нижний патрубок; вакуум помогает оторвать резиновый чехол от бетона. Затем наружную форму с железобетонной трубой переносят в отделение распалубки и подготовки форм, а внутреннюю форму с резиновым чехлом подвергают осмотру, очистке и подготовке к формированию следующей трубы.

Наружную форму осторожно опускают краном в горизонтальное положение. После остывания формы приступают к ее разборке (рис. 203). Автогеном обрезают заглушки продольной предварительно напряженной арматуры у раструбного конца и снимают упорные кольца. С помощью пневмоключей освобождают пружинные болты и снимают верхнюю полуформу. Применяя специальную траверсу, поднимают краном из нижней полуформы железобетонную трубу и укладывают ее на тележку. Наружную форму очищают и подготавливают к формированию следующей трубы, а распалубленную готовую трубу направляют в отделение предварительно выдерживания и отделки. На работе по распалубке и сборке форм занято 12 человек: 2 такелажника, 8 опалубщиков, 1 вакуумщик и 1 газорезчик.

В обороте цеха одновременно находятся 30—32 формы: например, для труб диаметром 500 мм — 8 шт.; 700 мм — 8 шт.; 900 мм — 6 шт.; 1000 мм — 6 шт.; 1200 мм — 3 шт. Однако большое количество изготавливаемых одновременно труб разных диаметров затрудняет процесс производства.

Отделение выдерживания труб расположено в третьем, пониженном пролете цеха. Сюда трубы транспортируют на тележках, с которых перекачивают их по стеллажам вдоль пролета. В дальнейшем эти транспортные операции (как и в других пролетах) должны быть механизированы: вдоль пролетов — тельферами, которые можно крепить к несущим конструкциям здания, а поперек пролетов — тельферами, подвешенными к легким эстакадам; транспортные тележки должны быть самоходными.

Здесь в торцах труб выжигают автогеном концы продольной арматуры, и воронки от них в бетоне заделывают цементным раствором со-

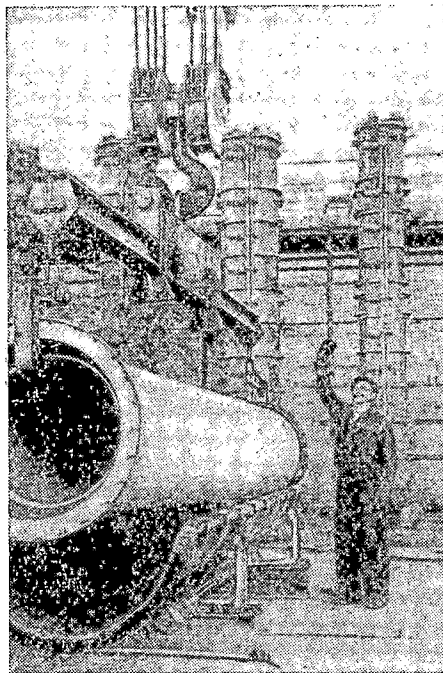


Рис. 203. Распалубка трубы после тепловлажностной обработки на посту гидропрессования. Подъем трубы из нижней полуформы мостовым краном с применением специальной траверсы

става 1:3. Предусмотрено, что в этом отделении, как и в последующих пониженных пролетах цеха, трубы необходимо выдерживать в течение 2—3 суток, поливая их водой.

Следующим технологическим процессом является обработка или нормализация концов труб в отделении отделки, куда трубы транспортируются на вагонетках.

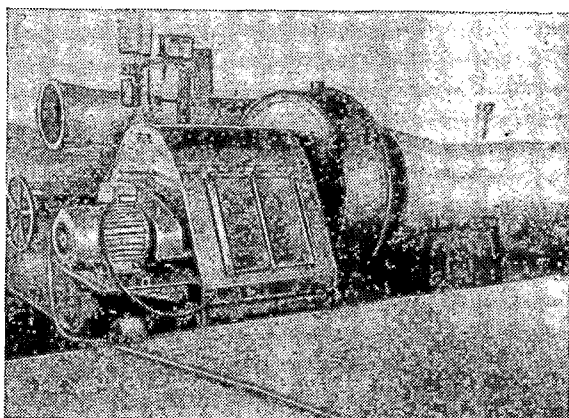


Рис. 204. Отделка раструба на шлифовальном станке

Отделение, где осуществляется отделка, расположено в части цеха с сеткой колонн 12×6 м, высотой 6 м. Перемещение труб в этом отделении запроектировано перекаткой по стеллажам. Отделка состоит из шлифовки концов труб на специальном станке (рис. 204). В отделении установлены два станка, хотя опыт работы показал, что этого недостаточно. Трубы перекатывают к станкам, устанавливают на место и центрируют.

Шлифовку внутренней поверхности раструба производят абразивными дисками 250×32 мм (ГОСТ 4785—53), которые крепят на валу гайками. Окружная скорость вращения дисков от 40 до 52 м/сек. Скорость подачи автоматическая 1—2 см/мин. Глубина шлифования раструба 120 мм. Напри-

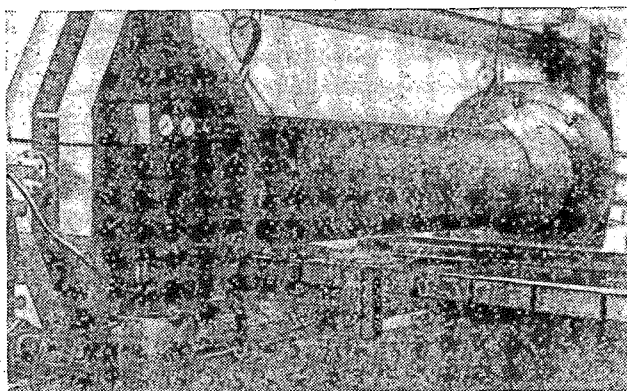


Рис. 205. Испытание труб гидравлическим давлением на стенде

мер, для обработки раструбного конца трубы диаметром 700 мм требуется затратить около 12 мин. Станок с тремя электродвигателями мощностью 11; 2,2 и 1,1 квт обслуживает один оператор-шлифовщик. Всего в отделении установлено два шлифовальных станка.

После отделки трубу освобождают и перекатывают к испытательному стенду. Отделение испытания труб расположено в этом же помещении (рис. 205). Для испытания смонтированы два станка. Трубы устанавливают в планшайбах (задвижках), имитирующих гибкий стык с резиновой круглой прокладкой, и с помощью центробежного насоса наполняют водой. Испытательное давление доводят до заданной величины подкачкой ручным насосом. При кратковременном испытании под

гидравлическим давлением на прочность и водонепроницаемость готовую трубу (рис. 206) выдерживают под давлением 10 мин, а при продолжительном испытании — 24 ч.

После испытания давление сбрасывают; воду сливают, а выдержавшую испытание трубу со стенда снимают и откатывают в вагонетке на склад готовой продукции; испытанию подвергаются все трубы. В летнее время на складе предусмотрена поливка труб водой. В зимнее время готовые трубы после испытания выдерживают в цехе не менее 6 ч.

В отделениях отделки и испытания занято в одну смену 13 человек, в том числе: шлифовщиков — 2, на испытании труб — 2, офактуровщиков — 2, электросварщиков — 1, такелажников — 6.

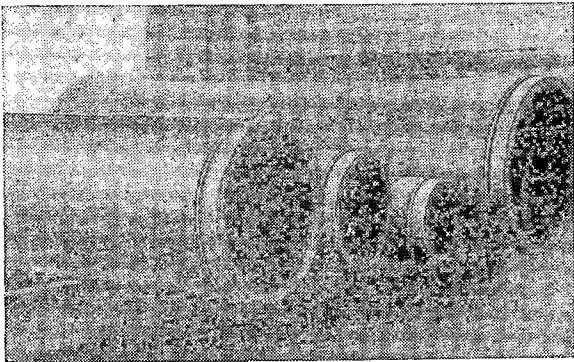


Рис. 206. Готовые напорные трубы

За один из наиболее показательных кварталов первого года работы заводом было изготовлено 1500 м³ труб всех диаметров, или освоено 75% проектной мощности цеха (табл. 55) при общем количестве работающих в одну смену в среднем 55 человек, в том числе ИТР — 6 человек (подсобные хозяйства цеха труб кооперированы с цехом железобетонных изделий завода). Количество работающих приблизительно соответствует проектному. Цех работает в две смены, тепловлажностная обработка производится в три смены. В табл. 56 приведены перечень и вес применяемого в цехе технологического оборудования. Коэффициент использования оборудования принят 0,815. За этот период расход на 1 м³ изготовленных предварительно напряженных труб составил: электроэнергии 80,5 квт·ч; пара 0,59 т/кал; воды 7,35 м³. Средняя себестоимость 1 м³ труб 132 р. 66 к. — ниже установленной (171 р. 03 к).

За первое полугодие 1968 г. было изготовлено железобетонных труб 4740 м³, в том числе диаметром 500 мм — 372 м³, 700 мм — 519 м³, 900 мм — 1452 м³, 1000 мм — 1384 м³, 1200 мм — 1016 м³.

Таблица 55

Проектная производительность цеха напорных труб, изготавливаемых виброгидропрессованием

Внутренний диаметр труб в мм	Количество форм в шт.	Объем бетона на одну трубу в м³	Выпуск труб					
			в год в		в сутки в		в смену в	
			шт.	м³	шт.	м³	шт.	м³
500	8	0,507	2000	1014	8	4,05	4	2,02
700	8	0,807	2000	1614	8	6,45	4	3,23
900	6	1,17	1500	1755	6	7,02	3	3,51
1000	6	1,42	1500	2130	6	8,5	3	4,25
1200	4	1,98	1000	1980	4	7,94	2	3,97
Всего	32	—	8000	8493	32	33,96	16	16,98

**Спецификация основного технологического нестандартного оборудования
трубного цеха в Куйбышеве производительностью 8 тыс. м³ напорных труб
диаметрами 500—1200 мм в год**

Наименование	Марка, тип	Количество	Общий вес в т
Машина для навивки спиральной арматуры	Оборудование фирмы «Сентаб Пайп»	2	12
Ротор для навивочной машины	То же	5	4,5
Опора для бобины	»	2	0,5
Бобины	»	8	1,4
Машина для перемотки арматуры	»	2	0,9
Машина для стыковой сварки	»	2	0,3
Штамповочная машина	»	1	0,75
В том числе:			
а) эксцентриковый пресс	»	1	
б) приспособление для подачи и гнутья	»	1	
в) штамп (матрица)	»	15	0,7
Машина для высадки концов арматуры	»	2	
Домкрат для предварительного напряже- ния продольной арматуры	»	3	0,72
Установка высокого давления:			
а) насосная станция	»	1	1,5
б) регулятор «Армас»	»	30	—
Машина для шлифовки раструбов	»	2	11
Машина для испытания труб	»	2	22
Шнек для подачи бетона	»	3	2,1
Вакуумная установка производительностью 15 труб в смену	»	2	0,4
Виброоборудование:			
а) пневматический вибратор	»	45	1,35
б) кронштейн	»	35	
в) крепежная плита	»	35	
Форма в сборе, включая резиновую муфту	»	32	171,2
Распределительный конус	»	10	1,08
Дополнительное резиновое покрытие	»	32	5,9
Покрывало для изделий при пропаривании	»	32	3,5
Прочее нестандартное оборудование и при- способления (транспортные устройства, стеллажи, подставки, катушки и пр.)	Изготовлено по чертежам фир- мы «Сентаб Пайп»	—	20
Всего	—	—	242

В заключение необходимо отметить недостатки проекта, которые необходимо устранять в процессе эксплуатации и не следует допускать в дальнейшем.

К ним в первую очередь относятся неудачная компоновка смесительно-формовочного отделения, при которой очень усложнен и удлинен путь бетонной смеси от бетономешалок к месту укладки в формы и явно завышены площадь и объем отделения. Подачу бетонной смеси из смесительного отделения необходимо по возможности проектировать на одном уровне с формовочной площадкой.

Для использования производительности бетономешалок необходимо увеличить мощность транспорта бетоноукладчика, укрупнить пор-

цию загружаемой в распределительный бункер бетонной смеси и передавать ее сразу на два поста формирования распределительными шнеками. В то же время необходимо дополнительно механизировать операции по обслуживанию форм — установку и снятие распределительного конуса, установку крестовин для подъема формы. Следует также осуществить устройство специальных звукоизоляционных камер для установок в них форм во время формирования труб с вибрированием.

Должны быть механизированы все транспортные операции по перемещению труб внутри цеха и на складе готовой продукции.

Известно, что внутренняя поверхность труб, изготавливаемых в формах с резиновым чехлом, по степени шероховатости получается худшей по сравнению с трубами, изготовленными с вибрированием в металлических вертикальных формах. Поэтому для повышения качества труб целесообразно в отделении обработки установить станки для шлифования не только раструбной части, но и всей внутренней поверхности напорных труб.

Склады заполнителей для производства труб следует проектировать не траншейного, а силосного типа.

Необходимо работать над совершенствованием технологического процесса вибропрессования, и в первую очередь механизации трудоемких процессов и сокращения сроков гидротермообработки (например, путем применения высокотемпературного обогрева).

Производство труб на заводе рекомендуется планировать таким образом, чтобы одновременно и возможно более продолжительное время в цехе изготавливали трубы одного или, в крайнем случае, двух диаметров.

4. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ВИБРОГИДРОПРЕССОВАННЫХ ТРУБ НА ЛЕНИНГРАДСКОМ ЗАВОДЕ «БАРРИКАДА»

Цех железобетонных напорных труб на заводе «Баррикада» сдан в эксплуатацию в 1965 г. Производство труб организовано по техноло-

Таблица 57

Количество рабочих, занятых на производстве виброгидропрессованных труб

Наименование отделений	Количество рабочих в сменах			Всего
	I	II	III	
Формовочное отделение:				
пост укладки бетонной смеси в формы	4	4	—	8
пост сборки и разборки форм	11	11	—	22
Отделение опрессовки и термообработки бетона труб	3	3	2	8
Арматурное отделение	6	6	2	14
Отделение нормализации и испытания труб	5	4	—	9
Склад	1	—	—	1
Бетоносмесительное отделение	5	4	—	9
Дежурный персонал:				
слесари, сантехники, электрики, ком- прессорщики	12	6	—	18
Лаборатория:				
клейка и ремонт резиновых чехлов и колец, ремонт брезентовых чехлов, уборщицы	7	4	—	11
Итого	54	42	4	100

гии виброгидропрессования, разработанной институтом б. Гипрострой-индустрия в типовом проекте (шифр 4-09-749), с годовой производительностью 11 тыс. м^3 в год. На заводе изготавливаются напорные трубы диаметром 700, 900, 1000 и 1200 мм.

На производстве занято 100 чел. рабочих. Распределение работающих по отделениям в цехе показано в табл. 57. Выработка на одного работающего составляет около 480 пог. м труб в год (110 м^3).

Основные технико-экономические показатели производства труб приведены в табл. 58. Усредненная себестоимость напорных труб за 1969 г. составила 119,6 руб/ м^3 при установленной оптовой цене 164,8 руб/ м^3 .

Таблица 58

Основные технико-экономические показатели производства виброгидропрессованных труб

Наименование показателей	Показатели	Наименование показателей	Показатели
Годовая производительность в $\text{м}^3/\text{пог. м}$	11 000	Съем продукции с 1 м^2 производственной площади в м^3	2,42
Металлоемкость оборудования на 1 м^3 труб в кг	62	Стоимость 1 пог. м трубы в руб.:	
Общие капиталовложения, в том числе на оборудование в тыс. руб.	1 793,9	диаметром 700 мм	20—34
Капиталовложения в руб. на:		» 900 »	27—93
1 м^3	163,1	» 1000 »	37—65
1 пог. м	38,44	» 1200 »	43—62
Выпуск продукции на одного работающего в год в м^3	110	Расход электроэнергии на 1 м^3 труб в квт·ч	41
		Расход пара на 1 м^3 труб в т	0,96

Цех оснащен типовым технологическим оборудованием общим весом 690 т. Из этого количества вес форм составляет 240 т.

Технологический процесс производства на этом заводе в принципе аналогичен описанному выше на Куйбышевском заводе и зарубежных предприятиях.

Технологическая схема производства по проекту показана на рис. 207.

Для изготовления труб применяют основные материалы: портландцемент марки 500 с расходом 500—550 кг/ м^3 , песок с крупностью зерен до 5 мм и щебень с размерами фракций 5—10 мм, арматуру для спиральной арматуры из круглой высокопрочной проволоки диаметром 3—8 мм (ГОСТ 7348—63) и для продольной арматуры диаметром 3—6 мм периодического профиля (ГОСТ 8480—63).

Прочность бетона на сжатие к моменту передачи усилий от арматуры на стенку трубы принимается не менее 380 кг/ см^2 .

Формование производится в специальных кабинах, стенки которых выложены из кирпича и обшиты звукоизоляционным материалом. Собранная форма устанавливается на пост формования с помощью мостового крана. Характеристика применяющихся форм для изготовления труб приведена в табл. 59.

Бетонную смесь укладывают в формы с помощью вибраторов, включаемых по специальной схеме по мере заполнения формы.

На посту опрессовки и тепловлажностной обработки бетона в формах подъем давления до расчетной величины осуществляется с помощью установки высокого давления и регулятора давления РДЖТ.

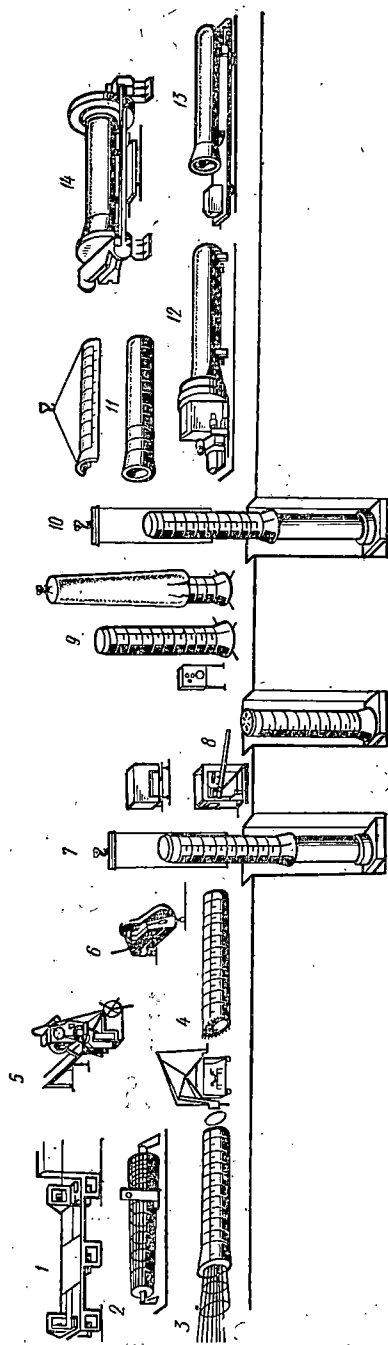


Рис. 207. Технологическая схема производства железобетонных напорных труб способом виброгидропрессования

1 — установка для резки высокопрочной проволоки; 2 — станок для изготовления спиральных каркасов; 3 — установка спирального каркаса в форму; 4 — натяжение продольной арматуры; 5 — установка для изготовления спиральных полос; 6 — комплектация формы; 7 — установка наружной формы; 8 — шнековый бетоноукладчик; 9 — пост прессовки и термообработки; 10 — разукладочная форма; 11 — распалубка трубы; 12 — установка для шлифовки растробов; 13 — тележка для вывозки труб из цеха; 14 — установка для испытания труб внутренним гидравлическим давлением

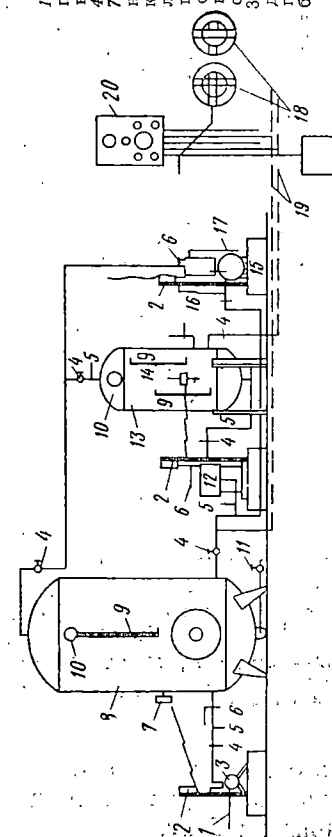


Рис. 208. Установка высокого давления

1 — труба подачи серводвигателя к насосу низкого давления; 2 — электромагнитные пускатели для автоматического включения электродвигателей насосов низкого и высокого давления и компрессора; 3 — ротационный насос воды низкого давления; 4 — запорные вентили; 5 — контрольные вентили; 6 — предохранительные вентили; 7 — автомат включения или выключения электродвигателя ротационного насоса низкого давления для автоматического поддержания давления в резервуаре низкого давления в пределах $4,25-6 \text{ кг/см}^2$; 8 — резервуар серводвигателя низкого давления емкостью 2000 л; 9 — водомерные стекла с вентилем на резервуаре низкого и высокого давления; 10 — манометры; 11 — спускные вентили; 12 — насос высокого давления; 13 — резервуар серводвигателя насоса высокого давления; 14 — автомат включения или выключения электродвигателя насоса высокого давления для автоматического поддержания давления в резервуаре высокого давления в пределах $35-38 \text{ кг/см}^2$; 15 — компрессор; 16 — автомат для включения и выключения электродвигателя компрессора для поддержания давления воздуха; 17 — трубопровод подачи воды для охлаждения компрессора; 18 — пост опрессовки труб; 19 — трубопровод подачи воды высокого и низкого давления; 20 — щит управления насосной станцией

Техническая характеристика форм

Показатели	Условный диаметр формы в мм				
	500	700	900	1000	1200
Габариты форм в мм:					
длина	5656	5640	5666	5666	5680
ширина	1090	1200	1460	1580	1900
Вес в кг, ...	3080	4200	6367	7020	9137
Количество секций наружной формы	2	2	4	4	4
Максимальное давление опрессовки в кг/см ²	32	35	37	33	28
Объем загружаемого бетона в форму в м ³	0,530	0,800	1,19	1,42	1,98

Техническая характеристика установки высокого давления

Производительность	— 2 м ³ /ч
Рабочее давление	— 35—38 кг/см ²
Режим работы	— автоматический и ручной.

Схемы установки высокого давления и регулятора давления РДЖТ-1 приведены на рис. 208 и 209.

Тепловлажностная обработка бетона трубы под давлением производится при $t=80 \div 85^\circ\text{C}$ в течение от 4 до 9 ч в зависимости от диаметра труб.

Освобожденные из форм трубы выдерживают трое суток во влажных условиях, затем производится шлифовка (нормализация внутреннего диаметра) из раструба внутренней поверхности трубы в месте закатки и установки резинового уплотнительного кольца. Общий вид шлифовальной машины и ее кинематическая схема показаны на рис. 210 и 211.

После обработки раструба каждая труба испытывается на внутреннее гидравлическое давление. Максимальное давление при испытании составляет от 13 до 18 ат в зависимости от класса труб (I и II). Трубы выдерживаются под давлением в течение 10 мин. При появлении на поверхности труб капли и течей их испытывают вторично через 7 суток после дополни-

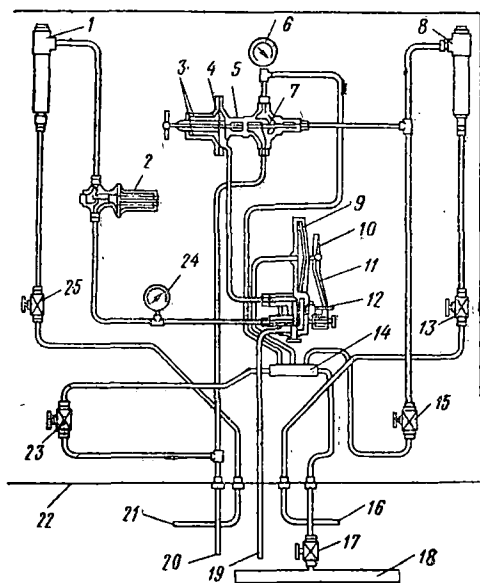


Рис. 209. Регулятор давления РДЖТ-1

1, 8 — фильтры; 2 — редукционный клапан; 3 — пружины; 4 — мембрана; 5 — усилитель второго каскада; 6, 24 — манометры; 7 — клапан; 9 — усилитель первого каскада; 10 — мембрана; 11 — рычаг; 12 — клапан; 13, 15, 23, 25 — вентили; 14 — сборник; 16, 19, 20, 21 — трубопроводы; 17 — трехходовой кран; 18 — сборник; 22 — монтажный щит

тельного хранения во влажных условиях. Не выдержавшие вторичного испытания трубы понижаются сортом и испытываются давлением, меньшим на 5 ат.

Принятые трубы в летнее время вывозятся на склад готовой продукции, а в зимнее — предварительно выдерживаются в цехе около 12 ч.

В процессе производства технологи столкнулись с рядом причин, вызывавших брак труб и требовавших изыскания соответствующих мер

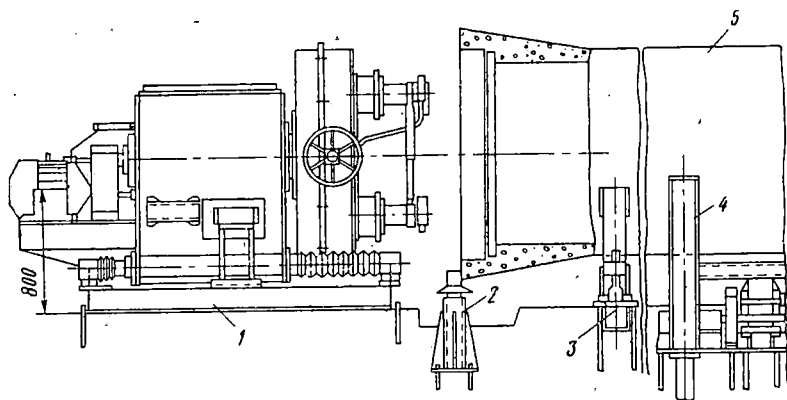


Рис. 210. Общий вид машины для шлифовки раструба

1 — шлифовальный агрегат; 2 — стойки; 3 — передний фиксатор; 4 — подъемник-снижатель; 5 — труба

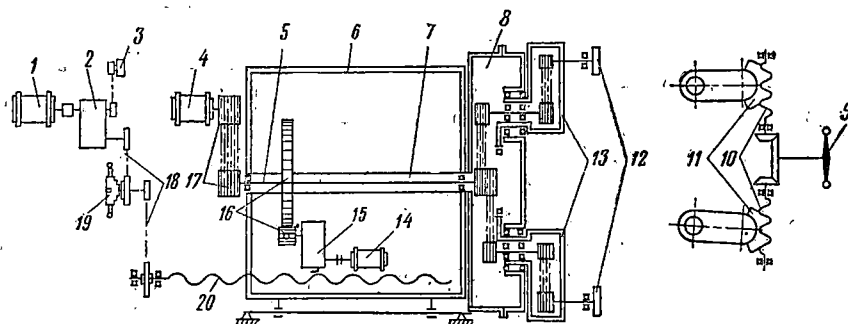


Рис. 211. Кинематическая схема шлифовальной машины

1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — муфты скольжения с центробежным регулятором скорости; 4 — электродвигатель; 5 — полый вал; 6 — корпус; 7 — барабан; 8 — шлифовальная головка; 9 — маховик; 10 — червяк; 11 — червячные сектора коробок; 12 — шлифовальные круги; 13 — коробка; 14 — электродвигатель; 15 — редуктор; 16 — шестеренная передача; 17 — клиноременная передача; 18 — цепные передачи; 19 — штурвал ручной подачи; 20 — ходовой винт

для его устранения. Одним из серьезных дефектов, характерных для технологии виброгидропрессования, является появление местных отслоений защитного слоя — так называемых «дребезгов» или «бумов».

Установлены следующие причины появления «бумов»:

неисправная работа пневмовибраторов при укладке бетонной смеси в форму;

колебания гидравлического давления при опрессовке бетона, приводящие к многократным перемещениям напрягаемой арматуры в твердеющем бетоне;

недостаточная прочность бетона на растяжение в стенке трубы в момент передачи на него давления от спиральной арматуры.

Основным средством борьбы с «бумами» является строгое соблюдение технологического режима при изготовлении труб, что и было доказано практикой завода «Баррикада».

Другим часто встречающимся дефектом следует назвать появление в отформованных трубах расширенного раструба. Причинами появления такого дефекта являются:

несоответствие проектным требованиям геометрических размеров резинового раструбообразователя;

повреждение резиновой ленты, закрывающей зазор между резиновым чехлом и раструбообразователем;

укладка бетонной смеси в форму, в зоне раструба которой установлены неисправные пружинные болты или не затянуты должным образом струбцины на продольных бортах;

применение укороченного арматурного каркаса или отсутствие крепления крайнего витка проволоки с последующими витками каркаса;

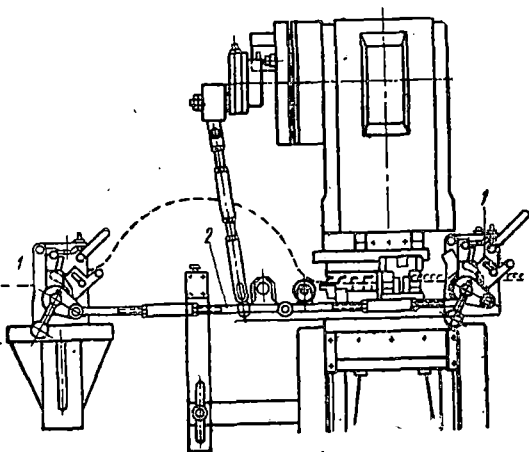


Рис. 212. Штамповальная машина с механизмом подачи полосы

1 — механизм подачи полосы; 2 — тяга

применение более подвижной чем требуется бетонной смеси.

В процессе освоения оборудования на заводе был введен ряд усовершенствований, способствовавших улучшению производства и достижению не только проектной производительности предприятия, но и превышению ее (например, в первом полугодии 1968 года — 6 тыс. м³ труб).

Так, в установке для изготовления штампованных полос введен дополнительный механизм подачи (рис. 212), так как при работе на станке, изготовленном по проекту, часто ломались штампы из-за перекручивания полосы при ее подаче.

Изменена конструкция крепления пневмовибраторов к наружной форме (рис. 213). В новом исполнении площадка с установленным на ней стационарно пневмовибратором крепится к форме специальным крепежным приспособлением.

В результате достигнута большая долговечность крепления и снижение трудоемкости при постановке пневмовибраторов. Внедрено устройство для затяжки пружинных болтов (взамен гайковерта), состоящее из гидроцилиндра, поршня, пружины для возврата поршня и упора (рис. 214), которое обеспечивает равномерное сбалчивание наружных форм и улучшает условия труда рабочих; приводится в движение от гидронасоса.

Для перевода формы с изготовленной трубой в горизонтальное положение (и обратно) выполнен кантователь в виде тележки, состоящей

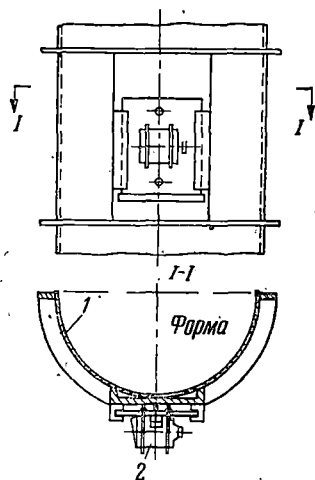


Рис. 213. Пакетное крепление вибраторов к форме

из двух подвижных элементов для укладки формы; при кантовании форма поворачивается вокруг нижних цапф.

Для съема анкерных колец на формах сделано приспособление из эксцентрика и рычага, значительно снизившее затраты труда и повысившее долговечность колец по сравнению с применявшимся ранее способом съема колец с помощью кувалд.

Разработано и внедрено устройство, регулирующее натяжение текс-ропных ремней в машине для шлифовки раструбов (рис. 215), приспособ-

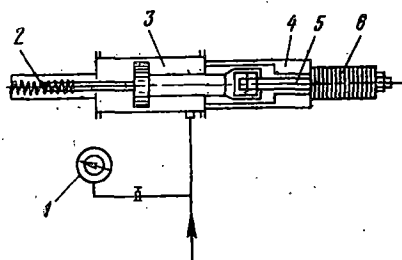


Рис. 214. Устройство для затяжки пружинных болтов

1 — манометр; 2 — пружина для возврата поршня; 3 — гидроцилиндр; 4 — упор; 5 — болт; 6 — набор тарельчатых пружин

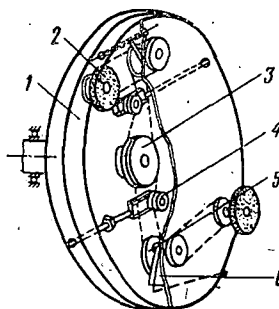


Рис. 215. Приспособление для натяжения тексропных ремней шлифовальной машины

1 — приводной барабан; 2 — шлифовальные круги; 3 — ведущий шкив; 4 — натяжное устройство; 5 — ведомый шкив; 6 — устройство для крепления шлифовальных кругов

соболение для снятия верхнего уплотнительного кольца с формы и ряд других.

Заводом совместно с НИИЖБом принято решение использовать для предварительно напряженного армирования семипроволочные пряди диаметром 6—9 мм (ЧМТУ-ЦНИИЧМ 426—61) вместо гладкой высокопрочной проволоки диаметром 3—8 мм. Преимуществами прядей является их более высокая механическая прочность и гибкость, лучшее сцепление с бетоном, снижение трудоемкости изготовления арматурного каркаса, экономия стали на 10—12%, возможность перехода на изготовление труб диаметром до 2,5 м, выдерживающих гидравлическое давление до 15 ат. Опытное изготовление на заводе труб, армированных прядями, подтвердило целесообразность их внедрения в производство.

Напорные трубы, изготавливаемые на заводе «Баррикада», нашли широкое применение в строительстве.

5. ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ НА МОСКОВСКОМ ЗАВОДЕ В ФИЛЯХ

На Московском заводе в Филах организовано производство труб по трем технологическим схемам.

Методом виброгидропрессования изготавливаются раструбные напорные железобетонные трубы диаметром от 700 до 1400 мм, длиной 5 м на рабочее давление 10 и 15 ат.

Для спирального армирования стенок труб применяется арматурная сетка диаметром 4—6 мм класса В-II (ГОСТ 7348—63) и для продольного армирования — сталь класса Вр-II диаметром 5 мм

(ГОСТ 8480—69). Стык предусмотрен гибкий на резиновых уплотнительных кольцах диаметром жгута 25 мм. Проходит процесс освоения промышленного производства трубы диаметром 1600 мм. Намечается освоение производства железобетонных напорных труб диаметром 1800 и 2000 мм, длиной 6 м.

Завод выпускает напорные железобетонные трубы диаметром 1400 мм, длиной 4 м со стальным цилиндром и обычным двухрядным армированием. Стальной цилиндр сваривается на автоматической сварочной машине из листов толщиной 1,5 мм, длиной 4 м и шириной 700 мм. Кроме того, завод выпускает железобетонные трубы цилиндрические безнапорные диаметром 700 и 900 мм по технологии, аналогичной технологии, осуществленной на Серпуховском заводе.

Однако часть цеха, в котором было размещено оборудование первой технологической линии, была освобождена и на этой площадке успешно налажено производство виброгидропрессованных напорных труб. В связи с этим принято решение существующее производство безнапорных труб прекратить и организовать в этом цехе производство виброгидропрессованных труб с доведением суточного выпуска железобетонных напорных труб до 300 пог. м вместо 120 пог. м, которые завод производит в настоящее время.

Напорные трубы Московского завода нашли применение в строительстве напорных и напорно-самотечных трубопроводов в Перми, Тольятти, Казани, Бабушкине, Владыкине и др.

Качество выпускаемых труб соответствует установленным техническим условиям, а по рентабельности выпускаемых железобетонных напорных труб завод полностью выполняет план накоплений — работает прибыльно.

По трубам напорным раструбным со стальным цилиндром диаметром 1400 мм плановое задание заводом выполняется как по производству, так и по себестоимости. В табл. 60 приведены технико-экономические показатели выпускаемых железобетонных труб Московским заводом в Филях.

Таблица 60

Отпускные цены и себестоимость труб на Московском заводе по плану на 1969 г.

Продукция	План выпуска в год		Отпускная цена за 1 пог. м в руб.—коп.	Себестоимость 1 пог. м в руб.—коп.
	в пог. м	в м ³		
Трубы напорные раструбные гидропрессованные	30 615	8500	50—01	47—27
В т. ч. с расчетным давлением 15 ат:				
диаметром 700 мм	1 025	164	34—80	34—65
» 900 »	1 260	300	47—00	44—50
» 1000 »	2 535	720	52—60	49—46
» 1200 »	6 515	2580	65—00	58—88
Трубы напорные раструбные диаметром 1400 мм со стальным цилиндром с расчетным давлением от 4 до 6 ат . . .	10 287	6500	66—40	50—96

После реконструкции завода, он сможет стать одним из ведущих предприятий в СССР по производству железобетонных труб.

Глава X

ВОПРОСЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ

1. ВНЕДРЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СССР

Для того чтобы обеспечить замену в народном хозяйстве значительного количества, например, чугунных труб железобетонными, новое производство должно быть организовано на высоком уровне.

Железобетонные напорные трубы могут успешно заменить чугунные при условии, если они будут:

- выдерживать такое же гидравлическое давление;
- иметь внутреннюю поверхность с минимальной шероховатостью;
- не превышать веса чугунных труб;
- иметь более низкую стоимость.

Исходя из этих требований задач внедряемой технологии для массового производства должно быть обеспечение изготовления тонкостенных железобетонных труб с тщательно обработанными концами для раструбных соединений, с гладкой, по возможности, шлифованной внутренней поверхностью, выдерживающих при необходимости рабочее гидравлическое давление не ниже 10 ат. В связи с этим необходимо рассмотреть некоторые вопросы, связанные с перспективой дальнейшего развития отечественной промышленности железобетонных напорных труб.

К этим вопросам следует в первую очередь отнести:

установление действительной потребности народного хозяйства в напорных железобетонных трубах с распределением их по диаметрам и требуемым гидравлическим напорам, что в значительной степени конкретизирует задачи производства и те средства, которыми они могут быть решены с минимальными затратами;

рациональное размещение новых предприятий внутри страны; организацию специального производства и поставки требуемых исходных высококачественных материалов: цемента, заполнителей для бетона, высокопрочной проволоки, а также резиновых колец для стыковых соединений;

выбор и отработку наиболее рациональных и экономичных технологических процессов массового производства труб (в зависимости от заданных диаметров и выдерживаемых гидравлических давлений), обеспечивающих высокое качество изготовления коррозионноустойчивых тонкостенных труб с минимальными допусками и непрерывное совершенствование этих процессов;

организацию на предприятиях изготовления железобетонных фасонных элементов, которые необходимо поставлять на строительство напорных водоводов в комплекте с трубами;

обеспечение производства труб с минимальной шероховатостью внутренней поверхности, учитывая исключительно серьезное значение этого вопроса для экономической эксплуатации напорных водоводов.

Параллельно с организацией производства следует совершенствовать и удешевлять методы транспортирования, укладки труб и сооружения напорных водоводов.

Установление действительной потребности в напорных трубах является очень важной задачей при организации промышленности на-

порных труб. Кроме установления количественной потребности в трубах очень важно знать, каким качественным требованиям трубы должны удовлетворять. С повышением качественных требований к напорным трубам значительно возрастают и требования к технологии их производства.

По предварительным данным ВНИИЖелезобетона и НИИЭС Госстроя СССР, потребность в железобетонных напорных трубах на 1975 г. составит 4900 км. Распределение этих труб по диаметрам следующее.

Диаметром 350 мм	490 км (10%)
» 450 »	570 » (11,5%)
» 600 »	2300 » (47%)
» 900 »	1050 » (22%)
» 1200 »	269 » (5,5%)
» 1600 »	220 » (4,5%)

Как видно из этих данных, потребность в трубах диаметром от 350 до 600 мм составляет 68,5% всей потребности, в трубах диаметром 700—900 мм — 22%, и в трубах диаметром от 1000 до 1600 мм — только 10%. Такое положение сохранится практически и на последующие годы.

Практика зарубежных предприятий показывает также, что основной является потребность в трубах диаметром от 300 до 600 мм — 65,2%.

Таким образом, из сопоставления тех и других можно сделать вывод, что основное массовое производство должно предусматривать у нас изготовление железобетонных напорных труб диаметром от 500 до 800 мм и значительное количество труб меньших диаметров (400—300 мм). Однако следует иметь в виду, что группа труб больших диаметров (1200—1600 мм) хотя и меньше по протяженности (10%), но по объему бетона составляет значительный удельный вес — более 23% всего бетона, намечаемого для переработки при изготовлении труб, и является наиболее эффективной с точки зрения экономии стали.

Особо следует рассматривать напорные трубы диаметром 1800—3000 мм и более, предназначенные обычно для специальных объектов строительства; их изготавливают обычно на открытых полигонах.

Анализ величин рабочих давлений в сооружаемых водоводах, произведенный по данным ряда отечественных специализированных проектных организаций, показывает их следующее распределение (что может быть также отнесено и к железобетонным напорным трубам):

Протяженность водоводов с рабочим давлением:		
до 2 ат		3%
от 2 до 4 ат		22%
» 4 » 6 »		28%
» 6 » 10 »		44%
свыше 10 »		3%

Следовательно, и в этом случае устанавливаются для массового производства труб две основные группы: первая — для рабочих давлений от 2 до 6 ат, включающая более 50% всех изготавливаемых труб, и вторая — от 6 до 10 ат, включающая 44% труб.

При решении вопросов размещения предприятий железобетонных напорных труб следует учитывать экономику района, потребность в трубах на ближайшие годы, возможность кооперирования этих предприятий с существующими, с использованием имеющихся источников электроэнергии, подъездных путей и коммуникаций. Однако часто решающим вопросом является наличие запасов нерудных материалов, представляющих по объему основную часть сырьевых материалов для производства труб. Необходимо производить экономическое сравнение ва-

риантов поставки заполнителей проектируемому предприятию из удаленного карьера или приближения этого предприятия к карьере с проектированием для него отдельного хозяйства и более дальней транспортировки готовой продукции к местам потребления.

При относительно небольшой потребности в трубах в одном месте, особенно в трубах больших диаметров (1500—3000 мм), целесообразно организовывать временные открытые полигоны. Такая практика особенно целесообразна в южных районах.

Организация специального производства и поставки исходных материалов для промышленности железобетонных напорных труб является особенно актуальным вопросом. Железобетонные напорные трубы представляют собой тонкостенные предварительно напряженные цилиндрические оболочки, отличные по характеру своей работы от любых других железобетонных конструкций. Как показал отечественный и зарубежный опыт, изготовление таких конструкций по любой из описанных выше технологических схем невозможно без применения кондиционных материалов, соответствующих требованиям технических условий.

Необходимо еще раз отметить, что цементы для производства труб кроме требуемой прочности должны обладать высокой тонкостью помола, гарантированными пределами скорости схватывания и малой водопотребностью. Для снабжения такими цементами предприятий по производству труб необходимо закрепить за ними определенные цементные заводы, гарантирующие качество поставляемых цемента под тщательным контролем заводских лабораторий.

Заводы-поставщики высокопрочной проволоки также должны быть закреплены за предприятиями по производству труб. Получаемая с этих заводов высокопрочная проволока должна иметь одинаковую структуру металла по длине, обеспечивать возможность натяжения без обрывов до расчетных пределов, указанных в ГОСТах, и поставляться в бухтах длиной, по крайней мере в два раза превышающей длину поставляемых бухт в настоящее время. Целесообразно заводам — поставщикам и потребителям согласовать вес нескольких типовых бухт для обеспечения полной навивки спирали на установленный тип напорной трубы без сращивания проволоки по длине. Бухты следует поставлять в водонепроницаемой упаковке.

Особенно серьезной является проблема снабжения промышленности напорных труб высококачественными заполнителями — щебнем и песком. Как указывалось, для производства труб надлежит применять кварцевые или гранитные пески и крупные заполнители из прочных изверженных пород. Такие требования исходят из необходимости получения прочных и водонепроницаемых стенок труб, хорошо сопротивляющихся износу от протекающей по ним жидкости. Зерновой состав заполнителей бетона подбирают по идеальным кривым просеивания. В связи с этим для изготовления труб необходимо несколько фракций промытого песка и щебня, что требует организации специального карьерного хозяйства и хорошо поставленного складского хозяйства заполнителей на заводах по производству труб.

Проработка вопросов организации снабжения заполнителями намеченных к строительству заводов по производству труб в масштабах страны производилась Гипронеметрудом. В соответствии с намеченным размещением строительства новых заводов Гипронеметруд изучил геологические данные в районах размещения заводов и в качестве их сырьевых баз отобрал 60 месторождений щебня и песка, для которых разработал предложения о строительстве обогатительных фабрик для снабжения заполнителями близлежащих к ним заводов по производству труб. Потребность в заполнителях принимали по типовому проекту завода ви-

бропрессованных напорных труб мощностью 11 тыс. м³ в год: щебня фракции 4—8 мм — 10200 м³, песка четырех фракций — 3070 м³. Было установлено, что наилучшие технико-экономические показатели стоимости обогащенных песка и щебня получаются в проектных решениях, предусматривающих снабжение с одной базы не менее шести заводов по производству труб, что видно из табл. 61.

Таблица 61

Технико-экономические показатели стоимости обогащенных песка и щебня

Количество заводов по производству труб, обслуживаемых одной базой	Годовая производительность в тыс. м ³		Капитальные вложения		Себестоимость 1 м ³ продукции в руб.—коп.		
	общая	в том числе для заводов железобетонных труб	общие в тыс. руб.	удельные на 1 м ³ в руб.	средняя	для заводов железобетонных труб	прочим потребителям
Щебень							
2	40,3	20,4	548	13,6	3—02	4—38	$\frac{2-27^*}{0-81}$
4	81	41	640	7,9	2—38	3—23	$\frac{2-08}{0-78}$
6	121	61	786	6,5	2—18	2—95	$\frac{1-89}{0-76}$
Песок							
2	38	6,2	548	14,4	2—12	6—81	1—20
4	38	12,3	579	15,2	2—12	4—01	1—20
6	38	18,4	600	15,8	2—12	3—07	1—20

* Над чертой указана себестоимость фракций 4—2 мм, под чертой фракций 2—0,15 мм.

Самым нерациональным является снабжение с одной базы только одного завода железобетонных труб, так как в этом случае себестоимость 1 м³ щебня достигает 4—5 руб., а 1 м³ песка 10—11 руб. Очевидно, что такое решение, так же как и для снабжения двух заводов, допустить не следует.

Организация заготовки обогащенного щебня для заводов по производству труб может быть решена по одному из трех основных вариантов:

1) на карьере, в номенклатуре продукции которого предусмотрен требуемый щебень; это является наиболее выгодным решением, однако таких предприятий в нерудной промышленности пока нет;

2) на построенной в составе карьерного предприятия отдельной установке путем использования части рядового дробленого материала, как это запроектировано на Смоленском гранитном карьере для снабжения Челябинского и Куйбышевского заводов по производству труб. Более экономичное решение этого вопроса получается при обогащении щебня на самом заводе железобетонных труб при условии расположения завода на площадке карьера, как это предусмотрено, например для снабжения заполнителями Владивостокского завода напорных труб с Первореченского дробильно-сортировочного завода.

По первому варианту требуются относительно небольшие капиталовложения, по второму — более значительные, однако и в одном, и в другом случаях могут быть обеспечены с одного мощного карьерного предприятия общего типа не более 2—3 заводов по производству труб;

3) на построенной при действующем карьере самостоятельной обогатительной фабрике по дополнительному дроблению и обогащению готового щебня крупных фракций (40—70 мм) — наиболее рациональный вариант, хотя и требующий значительных капиталовложений. Одним из преимуществ указанных обогатительных фабрик является возможность не только сезонного, но и круглогодичного использования их.

Примером такой установки для снабжения обогащенным щебнем шести заводов общей мощностью 66 тыс. m^3 труб в год является решение, разработанное Гипронеметрудом. На установке перерабатывают щебень фракций 20—70 мм короткоконусной дробилкой КМД 2200/400. Производительность этой установки по исходному сырью 125 000 m^3 в год, по щебню 61 200 m^3 в год. Получаемый параллельно искусственный песок фракции 2—0,15 мм заводы по производству труб не потребляют, и этот песок отгружают другим предприятиям.

Снабжение заводов по производству труб песком четырех фракций 4—2; 2—1; 1—0,5 и 0,5—0,125 мм соответственно в количествах для одного завода 650, 220, 990 и 1200 m^3 в год еще в большей степени, чем при снабжении щебнем, целесообразно с укрупненных карьеров (не менее шести заводов по производству труб с одного карьера).

Однако и в этом случае экономически целесообразно на карьерах общего назначения строительство отдельных цехов для снабжения песком заводов по производству труб.

Гипронеметруд рекомендует два варианта возможных решений получения песка:

1) на действующих предприятиях, в номенклатуре готовой продукции которых предусмотрен песок для напорных железобетонных труб. Этот вариант наиболее экономичен, но таких предприятий в нерудной промышленности пока нет;

2) на отдельных установках для обогащения и классификации песка, которые могут быть в составе обогатительного завода или действующего песчаного карьера.

Сложность решения таких установок заключается в том, что получение всех требуемых фракций песка может быть неравномерным по отношению к заданному их объему, и поэтому количество перерабатываемого песка практически должно быть значительно большим. Так, при производительности типовой установки по исходному сырью 45 тыс. m^3 производительность ее по готовой продукции составит 38 тыс. m^3 при потребности шести трубных заводов только в объеме 18,5 тыс. m^3 .

По проекту, разработанному Гипронеметрудом, была организована установка по обогащению песка для снабжения Челябинского и Куйбышевского заводов напорных труб на базе Половинкинского месторождения песков, обеспечивающего также нужды строительства. Эта установка имела проектную производительность по исходному сырью 25 тыс. m^3 и по готовой продукции 22 тыс. m^3 в год. В связи с тем, что установка должна была обслуживать только два трубных завода, ее проектные технико-экономические показатели оказались ниже более крупных установок, что видно из сопоставления этих показателей в табл. 62.

Из-за неравномерного залегания изверженных пород и кварцевых песков, требуемых для производства труб, дальность перевозки песка и щебня на заводы оказывается весьма значительной (до 500—800 км).

При таком положении необходимо изучение и определение целесо-

Технико-экономические показатели установок для снабжения обогащенным песком

Показатели	Проектное решение варианта установки для снабжения пес- ком шести заводов по производству труб	Проект Половин- кинской установки для снабжения Куйбышевского и Челябинского заводов
Годовая производительность в тыс. m^3	45	25
Годовая производительность по готовой продук- ции в тыс. m^3	38	22
Количество работающих, человек	17	14
Капитальные затраты в тыс. руб.	600	553,1
Удельные капиталовложения на 1 m^3 продукции в руб. — коп.	15—82	24—96
Средняя себестоимость 1 m^3 обогащенного песка в руб. — коп.	2—12	2—72
Себестоимость 1 m^3 обогащенного песка, отгру- жаемого заводам железобетонных труб, в руб. — коп.	3—07	<u>3—42*</u> 8—67

* Над чертой приведена себестоимость 1 m^3 обогащенного песка для Челябинского трубного завода, под чертой — для Куйбышевского завода.

образности следующих возможных вариантов размещения предприя-
тий по производству труб:

1) в районе действующих или строящихся комбинатов производ-
ственных предприятий стройиндустрии — с подвозкой заполнителей
и развозкой труб на дальние расстояния при рассредоточенном потреб-
лении готовой продукции;

2) в районе действующих или строящихся обогатительных пред-
приятий нерудных материалов — при получении на месте обогащен-
ных заполнителей и с развозкой труб на дальние расстояния, т. е. так-
же при рассредоточенном их потреблении;

3) в районе, находящемся в центре сосредоточенного потребления
труб, — с подвозкой заполнителей на дальнейшее расстояние, но с ближ-
ней развозкой труб.

Технико-экономическое сравнение вариантов произведено Научно-
исследовательским институтом экономики строительства путем срав-
нения транспортных расходов на единицу готовой продукции и сырья
для ее производства.

Результаты одного из сопоставлений вариантов для заводов про-
изводительностью 11 и 50 тыс. m^3 в год, размещаемых в районе рас-
средоточенного потребления труб и на карьере, приведены в табл. 63.

Расчеты произведены на одну трубу диаметром 1000 мм, длиной
5 м, при этом для сопоставления принято:

для заводов мощностью 11 тыс. m^3 в год, расположенных на карь-
ере, расстояние развозки готовой продукции равно сумме расстояний
подвоза щебня и развозки готовой продукции для завода, расположен-
ного в районе потребления;

для заводов мощностью 50 тыс. m^3 в год затраты на транспорт
приняты за вычетом экономии от снижения себестоимости продукции
за счет большей мощности предприятия по сравнению с первым типом
завода (в данном случае на 9%).

В результате произведенного сравнения многочисленных вариан-
тов установлено, что при рассредоточенном потреблении труб и при
удовлетворении других условий целесообразно заводы по производст-
ву труб размещать в районе карьеров щебня. По сравнению с такими

Сравнительная таблица транспортных расходов на одну трубу
диаметром 1000 мм, длиной 5 м при условии рассредоточенного потребления
готовой продукции заводов по производству труб

Размещение завода в районе потребления										Размещение завода на карьере			
Мощность 11 тыс. м ³					Мощность 50 тыс. м ³					Мощность 11 тыс. м ³		Мощность 50 тыс. м ³	
Нерудные		Готовая продукция		Всего в руб.—коп.	Нерудные		Готовая продукция		Всего в руб.—коп.	Готовая продукция		Готовая продукция	
дальность подвоза в км	стоимость в руб.—коп.	дальность развоза в км	стоимость в руб.—коп.		дальность подвоза в км	стоимость в руб.—коп.	дальность развоза в км	стоимость в руб.—коп.		дальность развоза в км	стоимость в руб.—коп.	дальность развоза в км	стоимость в руб.—коп.
50	4—19	50	8—87	13—06	50	4—19	50	8—87	13—06	100	9—65	100	—
100	4—28	100	9—65	13—93	100	4—28	100	9—65	13—93	200	11—27	200	1—47
200	4—57	200	11—27	15—84	200	4—57	200	11—27	15—84	400	14—12	400	4—32
300	5—11	300	12—77	17—88	300	5—11	300	12—77	17—88	600	16—12	600	6—42
400	5—96	400	14—12	20—08	400	5—96	400	14—12	20—08	800	18—57	800	8—77
500	6—62	500	15—17	21—79	500	6—62	500	15—17	21—79	1000	22—07	1000	12—27
600	7—50	600	16—22	23—72	600	7—50	600	16—12	23—62	1200	27—27	1200	17—47
700	8—63	700	17—52	26—15	700	8—63	700	17—52	26—15	1400	32—67	1400	22—87

Примечание. При размещении завода в центре района подвоз песка принят, по данным Гипропнеметруда, на расстояние 500 км железнодорожным транспортом.

же предприятиями, размещенными в районе рассредоточенного потребления труб, а заводов при карьерах, дальность развозки труб железнодорожным транспортом может быть увеличена без удорожания продукции на 400—500 км.

При расположении заводов в центре района с сосредоточенным потреблением труб (30—40 тыс. м³ в год) экономически целесообразен транспорт щебня даже на расстояние до 1000 км с развозкой труб к месту укладки автотранспортом до 30—40 км.

Заводы мощностью 50 тыс. м³ по сравнению с заводами мощностью 11 тыс. м³ в год обладают дополнительным резервом в экономии себестоимости продукции, и поэтому при расположении их на карьерах развозка готовой продукции с таких заводов целесообразна на расстояние 800—900 км, значительно превышающее развозку с малых заводов, расположенных в районе потребления труб.

Таким образом, исходя из указанных исследований, можно сделать следующие выводы:

при решении вопросов размещения предприятий по производству труб необходимо производить сравнение экономической целесообразности всех возможных вариантов с учетом доставки заполнителей предприятиям и развозки труб;

при наличии обеспеченного потребления напорных труб в радиусе экономически оправданной дальности их развозки целесообразнее строить заводы непосредственно в районе карьеров заполнителей;

при любом из указанных вариантов потребления труб рациональнее строить укрупненные заводы, учитывая снижение удельных капиталовложений в строительство, улучшение использования оборудования с учетом специализации технологических линий и, как следствие, снижение себестоимости продукции;

карьеры и предприятия по обогащению заполнителей для производства труб следует проектировать для снабжения не менее 4—6 за-

водов производительностью по 11 тыс. м³ в год или соответствующих укрупненных заводов; для более рациональной организации таких карьеров их следует предусматривать комплексными для одновременного снабжения заводов и удовлетворения нужд строительной индустрии данного района;

в целях сокращения расстояний подвоза заполнителей к заводам, располагаемым в районах потребления труб, важной задачей научно-исследовательских институтов является решение вопроса использования в качестве заполнителей для промышленности железобетонных труб карбонатных пород, широко распространенных на большей части территории РСФСР и других союзных республик; эти породы разнообразны и характеризуются значительным количеством высокопрочных разновидностей, которые могут быть использованы при изготовлении труб взамен более дефицитного щебня, получаемого с месторождений с высокопрочными магматическими породами.

При организации производства труб должно быть обращено особое внимание на складирование и хранение заполнителей, обеспечивающие сохранность их от загрязнения и дополнительного увлажнения. Лучшим решением из существующих в настоящее время следует признать способ хранения заполнителей в силосных банках; такой тип складов успешно применен на ряде заводов, в том числе на заводе железобетонных напорных труб в г. Челябинске.

Выбор рациональной технологии следует производить путем сравнения различных вариантов, опробованных в производственных условиях. Однако решающими могут явиться и другие специфические условия, в результате которых в промышленности производства железобетонных труб применяются разные технологические схемы. Также не следует исключать возможность параллельной работы предприятий по разным технологическим процессам из соображений дальнейшего совершенствования производства, так как различный подход к решению проблемы всегда содействует рационализации если не всего технологического процесса в целом, то отдельных составляющих его технологических приемов или совершенствования отдельных образцов оборудования.

В настоящее время, как следует из описанной в книге практики производства, все известные способы формирования труб сведены в три основные группы — с использованием вибрирования, центрифугирования и прессования.

Однако в целях получения более плотного, прочного и водонепроницаемого бетона наибольший эффект достигают комбинированным способом уплотнения бетонной смеси, в результате чего в настоящее время передовыми технологиями следует считать: а) одноступенчатую — при изготовлении труб вибропрессованием с применением вибрирования и гидропрессования и б) трехступенчатую — с применением при изготовлении сердечника трубы центрифугирования с одновременным вибрированием и желательным последующим прессованием (см. описанные способы фирм «Сокоман», «Рокла» и «Цен-ви-ро»). Большое значение в этой технологии имеет предварительное напряжение защитного слоя напорной трубы, поэтому важно использовать также идею технологии, применяемой на Челябинском заводе, при условии значительного упрощения практикуемого там способа.

Представляет интерес разработанная НИИЖБом технология изготовления центрифугированием, вибрированием и торкретированием железобетонных напорных труб с применением напрягающего цемента (НЦ).

Недостатками напрягающего цемента являются: короткие сроки схватывания (2—5 мин); способность к быстрому старению (желатель-

но готовить цемент на заводе по производству труб непосредственно перед применением в дело); необходимость точного соблюдения режима гидротермической обработки и значительный расход вяжущего (до 1000 кг/м³ бетона).

Большой эффект может быть получен от изготовления из самонапряженного железобетона напорных труб малых диаметров (200—300—400 мм), применяемых в разводящих сетях напорных водоводов с рабочим давлением до 4 ат, которые, как было показано выше, широко распространены.

Для отработки в производственных условиях технологии самонапряженных труб по заданию НИИЖБа в 1966 г. был разработан проект опытной установки по производству напорных раструбных труб диаметрами 300—600 мм. Такая установка осуществлена в тресте Тагилстрой (г. Нижний Тагил). Проектом опытного цеха предусмотрено изготовление на рабочее давление 4 ат по одноступенчатой технологической схеме, с производством труб на центрифуге.

Учитывая, что из освоенных в Советском Союзе технологических схем производство виброгидропрессованных труб явилось наиболее технически совершенным и по стоимости труб наиболее эффективным, было принято решение разработать типовые проекты заводов виброгидропрессованных труб производительностью 11 тыс. м³ и 50—60 тыс. м³ труб в год и построить ряд таких предприятий на отечественном оборудовании. Укрупненные заводы с аналогичным оборудованием дешевле по удельным капиталовложениям на 12—20% и обеспечивают снижение себестоимости продукции на 10%.

В типовом проекте укрупненного завода производительностью 50—60 тыс. м³ труб в год приняты два варианта размещения предприятия: непосредственно на карьере и вдали от карьера. В первом случае склад заполнителей принят закрытым, траншейного типа, во втором случае — штабельно-полубункерного эстакадного типа. Площадь застраиваемого участка соответственно увеличивается с 5,65 до 6,1 га.

На территории завода размещены: производственный корпус; бетономесительный цех, склады заполнителей, склады цемента и готовой продукции, цементопровод, градирия. Генеральный план завода решен компактно с минимальной протяженностью автомобильных дорог, подъездных железнодорожных путей и коммуникаций.

Производственный корпус состоит из пяти параллельных технологических пролетов по 18 м, длиной по 144 м, с шагом колонн 12 м, высотой до низа ферм 12 м; пролеты оборудованы мостовыми кранами грузоподъемностью 20 т. В каждом из этих пролетов предусмотрено размещение одной самостоятельной технологической линии, в основном повторяющей технологический процесс по проекту завода производительностью 11 тыс. м³ в год.

Для снижения шума в формовочном отделении посты сборки форм и формования труб заглублены в землю до отметки —5 м.

В шестом пролете размещен общий арматурный цех, а в седьмом — вспомогательные помещения: ремонтно-строительный цех, материальный склад, компрессорная, трансформаторные подстанции, а также бытовые помещения.

Проектом предусмотрена возможность строить завод по очередям. В составе первой очереди предприятия производительностью 22,5—25 тыс. м³ в год предусмотрено строительство основного комплекса зданий и сооружений, за исключением трех технологических пролетов главного корпуса и двух пролетов склада труб.

Технико-экономические показатели по обоим типовым проектам в сравнении с другими существующими и проектируемыми предприя-

Технико-экономические показатели производства железобетонных напорных труб по различным технологическим схемам

Предприятия	Годовая производительность в тыс. м³	Характеристика труб			Показатели на 1000 м³ продукции предприятия					Годовой объем производства с 1 м² производственной площади в м²	Годовая выработка на одного рабочего в год. м труб диаметром 800 мм	Способ производства
		внутренний диаметр в мм	длина в м	рабочий напор в ат	удельные капиталовложения в тыс. руб.	производственная площадь главного корпуса в м²	вес оборудования в т	приведенное количество производственных рабочих				
Отечественные предприятия												
Серпуховский завод	42	300—1000	5	4—6	140	165	50	4,2	5	236	Центрифугирование (осевые машины); трубы с муфтовыми соединениями	
Трубный цех завода железобетонных изделий в г. Челябинске	10	500—1500	5	6—12	180	416	110	7,4	2,4	135	Центрифугирование (роликовые машины); трубы с обжатым защитным слоем	
То же, в г. Куйбышеве	8,5	500—1200	5	6—12	175	615	73	12,6	1,7	80	Вибропрессование в вертикальных формах	
Полигон треста Закавказского металлургического завода в г. Рустави	6	700—1500	4	6—10	15	—	16	5	—	200	Вибрирование в вертикальных формах	
По типовому проекту завода мощностью 11 тыс. м³ в год	11	500—1200	5	6—12	109	320	80	9	3	65	Виброгидропрессование в вертикальных формах	
То же, мощностью 50—60 тыс. м³ в год	60	500—1200	5	6—12	84	325	78	8	3	80	Виброгидропрессование в вертикальных формах	
Ленинградский завод «Баррикада»	11	500—1200	5	6—12	133	362	57	8,5	2,82	110	Виброгидропрессование в вертикальных формах	

Предприятия	Годовая производительность в тыс. м ³	Характеристика труб			Показатели на 1000 м ³ продукции предприятия				Годовой объем продукции с 1 м ² производственной площади в м ³	Годовая выработка на одного рабочего в год, м труб площадью 800 м ²	Способ производства
		внутренний диаметр в мм	длина в м	рабочий напор в ат	удельные затраты в тыс. руб.	производственная площадь главного корпуса в м ²	вес оборудования в т	приведенное количество производственных рабочих			
Завод «Рокла-Хундигер», Швейцария	24	500—2000	5	6—12	—	230	33	5,2	4,4	191	Изготовление на производственно-центробежной машине
Завод «Асторис Брук», г. Остори, Швеция	10	400—700	5	6—12	—	252	26	4,2	4	238	Центрифугирование (роликовые машины); трубы с обжатым защитным слоем
Завод «Сентаб пайп», г. Мальмо, Швеция	8	500—1200	5	6—12	—	160	25	4	6,3	250	Виброгидропрессование в вертикальных машинах
Завод «Цюблин», ФРГ	20	300—2000	5—6	6—10	—	220	23	3,8	4,5	264	Центрифугирование (роликовые машины)
Завод «Бонна — Сентаб», г. Ним, Франция	12	400—1200	5	6—12	—	150	30	6,5	6,7	154	Виброгидропрессование в вертикальных машинах
Завод «Сакоман», г. Тараскон, Франция	15	400—1800	5—7	6—12	—	167	32	8	6	125	Центрифугирование (роликовые машины) с вибрированием

Зарубежные предприятия

Примечания: 1. Все показатели по Серлуховскому заводу даны для смешанного производства напорных и безнапорных труб.
2. Показатели по зарубежным предприятиям приведены по данным на период ознакомления с их работой.

тиями по производству напорных труб по различным технологиям приведены в табл. 64.

Для совершенствования этих типовых проектов разрабатываются решения по механизации и автоматизации всего технологического процесса и максимальному сокращению времени тепловлажностной обработки труб в целях ускорения оборачиваемости форм, по организации при заводах параллельного выпуска железобетонных фасонных элементов напорных трубопроводов и комплектной поставки вместе с трубами фасонных элементов и резиновых колец для стыковых соединений. Предусматривается внесение в технологический процесс дополнительной операции по шлифованию внутренней поверхности труб для доведения ее шероховатости до минимальных значений.

Рабочие чертежи железобетонных фасонных деталей различного назначения и для различных диаметров труб разрабатываются Водоканалпроектом.

По данным замеров абсолютной шероховатости внутренней поверхности железобетонных стенок труб, изготовленных разными способами (работы выполнены УкрВОДГЕО), худшая поверхность получается при изготовлении труб обычным центрифугированием (высота неровностей от 0,04 до 0,5 мм). Для уменьшения шероховатости очень важным является применение дополнительного прессования отформованных бетонных стенок труб укаткой металлическим роликом. Лучшая поверхность получается при виброформовании в металлических вертикальных формах (0,02—0,03 мм). При изготовлении труб виброгидропрессованием в связи с формированием внутренней поверхности с помощью резинового чехла абсолютное значение шероховатости получается 0,17—0,36 мм и для повышения пропускной способности водоводов целесообразна дополнительная обработка ее шлифованием.

В известной практике производства труб дополнительное шлифование их внутренней поверхности не встречается, за редкими исключениями, так как обычно стараются получить гладкую поверхность бетона в процессе формования путем применения металлических форм с хорошо отполированной поверхностью, дополнительной укаткой при центрифугировании и т. д. Для шлифования внутренней поверхности железобетонных труб длиной 5 м в горизонтальном положении ЦНИИОМТП разработал специальную машину. В 1969 г. установлена машина новой конструкции для шлифовки труб на Московском заводе в Филях.

Кроме изготовления труб вибропрессованием рекомендуется совершенствовать такие технологические процессы производства раструбных труб, как центрифугирование с вибрацией или с укаткой, причем весьма перспективной является проработка вопроса об изготовлении по такой технологической схеме длинномерных 6—7-метровых труб.

2. НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О ПОТРЕБНОСТИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБАХ И О ПЕРСПЕКТИВАХ ИХ ПРОИЗВОДСТВА В США

Значительный экономический эффект от внедрения железобетонных напорных труб взамен металлических и многочисленные примеры уже многолетней практики их эксплуатации, подтвердившей высокие технические качества труб, их долговечность и существенно меньшие расходы на эксплуатацию, явились основанием для расширенного

внедрения железобетонных напорных труб в практику строительства в зарубежных странах.

Интересными в этом отношении являются данные Департамента по коммерческим вопросам США, опубликованные в печати за 1964 г. Здесь подсчитано, что рост народонаселения и развитие промышленности в настоящем столетии и особенно за 23 года (1940—1963) потребовали небывалого развития сетей водопровода, канализации и газопроводов и соответственно увеличения количества металлических, асбестоцементных и железобетонных напорных труб. Потребность на 1964—1975 гг. для строительства новых, поддержания и ремонта существующих сетей водоснабжения и канализации составит по стране всего около 825 млн. *пог. м* таких трубопроводов (без учета потребности в трубах для технологических трубопроводов, ирригации и внутренней разводки в зданиях). В числе других исходных данных было принято, что общественным водоснабжением в 1960 г. в США обеспечено 135 млн. чел. и в 1975 г. будет обеспечено 186 млн. чел. При расчете потребности учитывалась долговечность напорных труб из различных материалов.

Проведенный анализ позволил авторам получить показательные данные о потребности в различных трубах по годам. Для удобства оперирования аналитическими материалами трубы всех диаметров сведены в три группы: 50—300; 350—600 и более 600 *мм*.

Статистические данные за прошедшие годы и перспективные расчеты на будущее обрабатывались по следующим категориям потребности в трубах по стране:

- 1) для ремонта существующих трубопроводов;
- 2) для расширения действующих сетей в связи с подключением их к существующим зданиям и сооружаемым на вновь осваиваемых территориях;
- 3) для строительства новых сетей трубопроводов;
- 4) в связи с генеральной реконструкцией и усовершенствованием систем;
- 5) для поддержания в исправности сетей, эксплуатирующихся на специальных (военных и промышленных) предприятиях.

При анализе этих данных было принято, что для целей ремонта потребность в трубах в 1975 г. составит 10 млн. *пог. м*; в 1960 г. она составила 7,6 млн. *пог. м*.

Количество многосемейных жилых домов с полным обслуживанием сетями водопровода, канализации и газификации в 1950 г. составляло 13,4% всех зданий, в 1960 г. — 19,6% и в 1975 г. ожидается 31,5%.

Общая потребность в напорных трубах на 1964—1975 гг. подсчитана:

А. Для водоснабжения и канализации . . . 429 млн. *пог. м*

В том числе:

для ремонтных работ	119	»
для строительства жилых зданий		
на вновь осваиваемых территориях	258	»
для усовершенствования реконструируемых се-		
тей	39	»
для прочих видов строительства	13	»

Б. Для водоснабжения и канализации на специальных предприятиях 56 »

В том числе:

для ремонтных работ	13	»

для промышленных предприятий 38 »
 для военных предприятий 5 »
 В. Для сооружения и ремонта газовых се-
 тей 340 »

Таким образом, общая потребность в напорных трубах из всех ма-
 териалов на 1964—1975 гг. определена в количестве 825 млн. пог. м.

Таблица 65

Потребность в трубах (по их назначению) диаметром 50—300 мм в США
 (в млн. пог. м) на период 1940—1975 гг.

Год	Водоснабжение и канализация					Для специальных предприятий				Для газовых систем	Итого для всех потреби- телей
	эксплу- тационные нужды и ремонт	для новых зданий	для су- ществую- щих жи- лищ	для ус- корен- ного стро- ительства	итого	промыш- ленные предприя- тия	военные предприя- тия	эксплу- тация и ремонт	итого		
1940	4,5	2,2	5,2	1,8	13,7	0,7	0,2	0,2	1,1	4,5	19,9
1942	4,1	0,9	5,1	0,9	10	8,3	6,2	0,5	15	6,5	32,5
1945	4	0,5	3,6	0,3	8,2	1,7	0,4	0,3	2,4	4,6	15,2
1950	5,9	7	3,1	0,7	16,7	1,4	0,1	0,8	2,3	19	38
1955	6,8	10,9	6,4	2,9	27	2,9	0,5	0,7	4,1	18	49,1
1960	7,6	10,4	10,4	6,7	35,1	2,4	0,3	0,75	3,4	32	70,5
1965	8,5	10,5	10,1	5,8	34,3	2,7	0,4	0,9	4	27,8	66,1
1970	9,3	9,4	10,1	3	31,8	3,1	0,5	1,1	4,7	27	63,5
1975	10	9,9	10	1,7	31	3,6	0,5	1,8	5,3	26	63,3

В табл. 65 показана потребность по годам в напорных трубах диа-
 метрами от 50 до 300 мм для различных целей. Основными потребите-
 лями, как видно из этих данных, являются строители водопроводных
 и канализационных сетей. Потребность резко возрастает к 1960 г., а
 затем несколько снижается. Но в этой градации труб по диаметрам
 фактически отсутствует применение железобетонных напорных труб.

В табл. 66 приведена потребность в напорных трубах диаметрами
 350—600 мм, в числе которых уже широко применяются железобетон-
 ные трубы. Здесь потребность также достигает максимума к 1960 г. и
 далее практически не снижается до 1975 г.

Таблица 66

Потребность в трубах
 (по их назначению)
 диаметром 350—600 мм в США
 (в млн. пог. м)
 на период 1940—1975 гг.

Годы	Водоснабжение и канализация				Система газоснаб- жения	Всего
	эксплуати- онные нужды и ремонт	развитие жилищного строительства	другие виды строитель- ства			
1940	0,256	0,613	0,264	0,013		1,146
1945	0,223	0,243	0,164	0,126		0,756
1950	0,323	0,79	0,197	1,02		2,33
1955	0,37	1,326	0,517	0,473		2,686
1960	0,433	1,804	0,846	0,867		3,95
1965	0,493	1,853	0,794	0,756		3,896
1970	0,556	1,77	0,634	0,793		3,753
1975	0,613	1,736	0,548	0,783		3,68

Таблица 67

Потребность в трубах
 диаметром 350—600 мм
 из разных материалов в США
 (в млн. пог. м)
 на период 1940—1975 гг.

Годы	Типы труб				Всего
	чугунные	стальные	асбестоце- ментные	железобетон- ные	
1940	0,773	0,15	0,053	0,06	1,146
1945	0,466	0,183	0,036	0,071	0,756
1950	0,83	1,183	0,106	0,211	2,33
1955	1,15	0,843	0,236	0,457	2,686
1960	1,343	1,506	0,39	0,711	3,95
1965	1,3	1,41	0,41	0,766	3,886
1970	1,206	1,423	0,39	0,734	3,753
1975	1,17	1,4	0,383	0,727	3,68

В табл. 67 показана потребность в напорных трубах тех же диаметров, но из различных материалов. Потребность в железобетонных напорных трубах возростала к 1960 г. и остается почти на этом уровне и далее.

В табл. 68 и 69 показана потребность в напорных трубах диаметром более 600 мм, наиболее нас интересующих, так как здесь особенно значимо использование железобетонных труб.

Таблица 68

Потребность в напорных трубах
(по их назначению)
диаметром свыше 600 мм в США
(в млн. пог. м)
на период 1940—1975 гг.

Годы	Водоснабжение и канализация		Система газоснаб- жения	Всего
	эксплуатац- онные нужды и ремонт	строитель- ство		
1940	0,044	0,11	0,006	0,16
1945	0,036	0,121	0,043	0,2
1950	0,056	0,325	0,369	0,75
1955	0,063	0,374	0,183	0,62
1960	0,067	0,466	0,317	0,85
1965	0,07	0,49	0,29	0,85
1970	0,078	0,466	0,295	0,84
1975	0,083	0,464	0,293	0,84

Таблица 69

Потребность в напорных трубах
диаметром свыше 600 мм
из разных материалов в США
(в млн. пог. м) на период 1940—1975 гг.

Годы	Типы труб				Всего
	чугунные	стальные	асбестоце- ментные	железобе- тонные	
1940	0,073	0,066	—	0,021	0,16
1945	0,056	0,104	—	0,04	0,2
1950	0,113	0,52	0,003	0,11	0,746
1955	0,123	0,34	0,006	0,151	0,62
1960	0,096	0,55	0,01	0,194	0,85
1965	0,096	0,533	0,01	0,211	0,85
1970	0,096	0,526	0,01	0,204	0,836
1975	0,096	0,516	0,013	0,206	0,832

Из приведенных данных можно видеть, что в США за период с 1950 по 1975 гг. производство и потребность в железобетонных напорных трубах составляют: диаметрами 350—600 мм — 15 млн. пог. м; диаметрами более 600 мм (до 2000 мм) — 5,25 млн. пог. м. За счет применения железобетонных труб покрывается 25% всей потребности в напорных трубах из разных материалов. Эта потребность не снижается до 1975 г. и очевидно будет не менее значимой и в последующие годы.

Сурхандарьинская
ОБЛАСТНАЯ
ИМ. ГОГОЛЯ

ЛИТЕРАТУРА

Гениев М. Н., Сироткин Б. П., Абрамов Н. М. Опыты с центробежными трубами. Госстройиздат, 1932.

Покровский Г. М., Купцов И. Г. Определение давления грунта на трубы, уложенные в траншеях. Изд. «Власть Советов» при Президиуме ВЦИК, М., 1937.

Изготовление, расчет и испытание бетонных и железобетонных труб. Сборник статей под ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Г. Скрамтаева, ОНТИ, 1938.

Михайлов В. В. Теория и практика центробежного напряженно армированного бетона. Госстройиздат, 1939.

КТИС. Напорные трубы из предварительно напряженного железобетона, ЦБСП, серия В-100ж, 1945.

Овсянкин В. И. Железобетонные напорные трубы. Госстройиздат, 1951.

Десов А. Е. Вибрированный бетон. Госстройиздат, 1956.

Доклады и сообщения на совещании по современным проблемам технологии бетона в промышленности сборного железобетона, созданного НТО ПСМ и НТО СП в Москве в 1956 г. Промстройиздат, 1956.

Клейн Г. К. Расчет подземных трубопроводов. Стройиздат, 1969.

Леонгардт Ф. Напряженно армированный железобетон (пер. с нем.), под ред. канд. техн. наук Г. И. Бердичевского. Госстройиздат, 1957.

Горшков А. М., Михайлов В. Н. Сборный железобетон в Венгерской Народной Республике. Строительная техника за рубежом, ЦБТИ АСИА СССР, № 23, 1957.

Овсянкин В. И. Производство железобетонных напорных труб вибропрессованием. «Новая техника и передовой опыт в строительстве», № 8, 1958.

Березинский А. Р. и Ротина О. Д. Применение сборного железобетона в водопроводных и канализационных сооружениях. Издательство МХХ РСФСР, 1958.

Попов А. Н. и Люлковский И. Г. Производство предварительно напряженных железобетонных напорных труб (материалы к IV сессии АСИА СССР). Госстройиздат, 1958.

Михайлов В. В. Исследование самоупругивающегося железобетона и перспективы его применения в производстве напорных труб. Доклад на ученом совете б. АСИА СССР, 1959.

Овсянкин В. И. Изготовление железобетонных напорных труб способом центрифугирования, вибрирования и прессования. «На стройках России», № 1, 1961.

Указания по расчету железобетонных предварительно напряженных напорных труб (496—50). Стройиздат, 1957.

Строительные нормы и правила (СНиП). Главы:

I-B.1-62. Заполнители для бетонов и растворов;

I-B.3-62. Бетоны на неорганических вяжущих и заполнителях;

I-B.4-62. Арматура для железобетонных конструкций;

II-B.1-62. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования.

Железобетонные конструкции. Состояние и перспективы развития. Сб. НИИЖБ АСИА СССР. Госстройиздат, 1962.

Инструкция по прокладке напорных трубопроводов внешних водопроводных сетей из асбестоцементных труб (СН 195-61). Госстройиздат, 1962.

Центральный институт научной информации по строительству и архитектуре б. АСИА СССР. Экспресс-информация. № 23, декабрь 1962 г.

Государственный союзный проектный институт Гипрометруд. Доклад гл. инж. проекта М. Л. Митряцина «Рациональные схемы обогащения крупных и мелких заполнителей для производства напорных железобетонных труб» на семинаре в г. Севастополе 15—19 октября 1962 г.

Овсянкин В. И. Железобетонные трубы для напорных водоводов. Стройиздат, 1965.

«Указания по проектированию железобетонных предварительно напряженных напорных труб» (СН 292-64). Стройиздат, 1965.

«Указания по расчету на прочность напорных трубопроводов систем водоснабжения. Издание ВНИИ ВОДГЕО, 1967.

Ахвердов И. Н. Железобетонные напорные центрифугированные трубы. Стройиздат, 1967.

Мамонтов И. И., Попов А. Н., Ционский А. Л., Белоусов О. В. Производство железобетонных напорных труб виброгидропрессованием. Стройиздат, 1967.

Эванс Р. Х. Применение предварительно напряженного железобетона на строительстве водопроводных и канализационных сооружений. Institution of Civil Engineers 4, № 3, 1955.

Габбард С. Р. Нестальные цилиндрические предварительно напряженные железобетонные трубы. Журн. Отдела водопроводов. Труды Американского общества инженеров-строителей, октябрь 1959 г.

Кеннинсон Ф. Испытания предварительно напряженных труб с металлическим сердечником в стенке.

- Бальд Р. Е. Стандартизация процессов расчета труб из предварительно напряженного железобетона. *Journal of American Water Works Association*, v. 52, № 11, 1960.
- Комиссия по железобетонным водопроводным трубам Американской ассоциации по водоснабжению. Сообщение «Применение железобетонных водопроводных труб». *Journal of American Water Work Association*, 1961, № 7.
- Предварительно напряженные железобетонные трубы «сентаб» для напорных трубопроводов в ФРГ. «*Gas und Wasserfach*», № 8, 1962.
- American pipe and Construction Co where the key word is innovation 1968, USA.
- Bährner V. Handbok, betongberedning, Stockholm, 1956.
- «Féstitett Betonsreresetek»,
- Cuerrin A. Les conduites en pression en béton armé «La conduites technique des travaux», № 586, 1956.
- Carbone A. The economics of steel, reinforced and Prestressed concrete pipes. *Indian Concrete Journal*, March, 15-th, 1957.
- Clarke N. W. Some problems in underground pipe design and in pipelaying. (The public works municipal Services Congress), 1956.
- Concrete building and concrete products, v. 35, № 7, 1960.
- Concrete pression pipe journal 9—201-inch inside cliameter prestressed, embedded cylinder, concrete pressure pipe, 1968, USA.
- Dore St. M. Design and construction pressure Aqueduct for Boston Metropolitan District, New England water works Association, IX, № 3, 1941.
- Das Verhalten vorgespannter Betonrohre unter Auflast und Innendruck. *Die Bauwirtschaft*, № 22, 1956.
- Ernest W. Whitlock. Concrete Pressure pipe in Todays water Industry. *Jour, AWWA*, oct, 1960.
- Hampe E. Entwicklung von Spanbetonrohren. «*Barplanung—Bautechnik*» № 7—8, 1957.
- Hampe E. Die internationale Staud in der Entwicklung und Herstellung von Spanbetonrohren. «*Bauplanund und Bautechnik*» № 5, 1960.
- Krishna N. «Premo» prestressed concrete pipe used for Quilons water supply sheme. *Indian. Concrete I, XII*, vol. 31, № 12, 1957.
- Kennison K. R. Pressure Aqueduct pipe, *Engineering News Record*, V111, 31, 1939.
- La Conduite d'oran. *La Houille Blanche*, № 2, 1954.
- Monfor G. E. and Verleck C. I. Corrosion of Prestressed wire in Concrete. *Journal of the American Concrete Institute*, November, 1960.
- Fifty Years in the Technical Development of concrete Pipe, Howard F. Peckworth. *American Concrete Institute*.
- Grzegorzewski W. Zelbetowe rury sprezone witworni Arkel w Holandii *Materialy budowlane*, № 4, 1956.
- Rola reinforced concrete pressure pipes, *Rocla piper*, March 1968, № 82.
- Bonna «Tuyaux on Société des Tuyaux on acier sondé avec double revetement en béton armé», 28 rue de la Barme, Paris.
- Show I. A. Concrete pressure pipe for major projects. *Civil Engineering*, 11, v. 31, № 2, 1961.
- Stahlbeton — Rohlleitungen, mit grossen Durchmesser in Ilien, *Beton und Stahlbetonbau*, № 5, 1953.
- Sentab Pipe Consrsreium — Malmö Su edish New method of calculating concrete pipe, 1966.
- T. Alterman M. Sc (C. E.) A. M. I. Etruct, E. Moderns trends in Prestressed concrete pipes structural engineer, IX, v. XXXVI, № 9, 1958.
- Turazza G. Contrituto al calcolo dei tuhi di grande diametro in cemento armato precompresso «*Giornali del genio civile*», № 7—8, 1952.
- Turazza G. Coelul des tuyaux on béton armé precontraint. «*La technique dernecconstruktion*», VII, № 12, 1952.
- Turazza G. Caratef istiche dei tubi in cemento armato precompresso. *Gisrnale dei Cenio Civile*, № 10, 1955.
- The development of non-cylinder prestressed concrete pipe — an Australian Achtevement. *Technical Journal*, v. 1, № 20, 1963.
- Thomas K. Breiffuss, Load and supporting Strengths for concrete pipe lines, August 1957.
- United States Department of Commera — water and Sewerage Works Pressure Pipe Requirements 1940—1964—1975.
- Weber, John W. Condition report on-Mebrosee Pork Illinois Concrete Pressure Water pipe instalated in 1942.
- Quelques applications de la précontrainte en Afrique du Nord. *L Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment*, № 11, 1956.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.	
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ПРОИЗВОДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛАХ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ	
Глава I. Техничко-экономические преимущества железобетонных напорных труб	5
Глава II. Развитие производства железобетонных напорных труб	13
1. Производство и применение железобетонных труб в отечественной и зарубежной практике	13
2. Основные способы производства железобетонных напорных труб	20
Глава III. Материалы для изготовления железобетонных напорных труб	29
1. Цементы и заполнители для бетона	29
2. Бетоны	35
3. Арматура	45
Глава IV. Конструкции железобетонных напорных труб	61
1. Конструкции труб и их стыковых соединений	61
2. Фасонные детали железобетонных напорных водоводов	71
3. Некоторые вопросы, связанные с укладкой, испытанием и исследованием работы железобетонных трубопроводов	79
4. Расчет железобетонных предварительно напряженных напорных труб	89
5. Классификация и расчет предварительно напряженных напорных труб большого диаметра в зарубежной практике	106
ЧАСТЬ ВТОРАЯ.	
ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ НАПОРНЫХ ТРУБ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОВОДОВ	
Глава V. Производство труб в вертикальных формах с вибрированием	124
1. Опыт производства предварительно напряженных железобетонных труб диаметром 900—1500 мм в тресте Закавказ-металлургстрой	124
2. Опыт производства и применения железобетонных труб диаметром 2130—3800 мм на строительстве Бостонского напорного водовода в США	158
3. Опыт производства и укладки железобетонных труб больших диаметров (5100—6120 мм) на строительстве водоводов в США	169
4. Опыт производства и применения железобетонных труб диаметром 2550—4200 мм на строительстве напорных водоводов в Италии	175
Глава VI. Изготовление предварительно напряженных напорных труб способом центрифугирования	180
1. Производство труб центрифугированием на отечественных предприятиях	180
2. Производство центрифугированных железобетонных напорных труб на предприятиях французской фирмы «Бонна»	190
3. Опыт предприятия «Цюблин» (ФРГ) по производству центрифугированием предварительно напряженных напорных труб	196
4. Опыт производства центрифугированных железобетонных предварительно напряженных труб на заводе в Будапеште	200
5. Производство центрифугированных железобетонных напорных труб на заводе «Аркел» в Голландии	203

Глава VII. Производство предварительно напряженных труб способом центрифугирования с предварительным обжатием защитного слоя	212
1. Производство труб диаметром 400—1500 мм по способу, разработанному заводом «Асторпс Брук» в Швеции	212
2. Производство напорных труб диаметром 500—1250 мм на заводе железобетонных изделий в Челябинске	221
Глава VIII. Производство железобетонных напорных труб способом центрифугирования с дополнительным уплотнением бетона вибрированием и прессованием	241
1. Производство железобетонных напорных труб центробежно-прокатным способом в США	242
2. Производство железобетонных напорных труб способом центрифугирования с вибрированием и прокаткой в США	243
3. Производство железобетонных напорных труб центрифугированием с высокочастотным вибрированием во Франции	252
4. Производство железобетонных напорных труб, изготавливаемых на прокатной машине (подвесной центрифуге) по технологии фирмы «Рокла»	257
Глава IX. Производство предварительно напряженных труб способом виброгидропрессования	268
1. Производство железобетонных напорных труб «сентаб» на шведском заводе в г. Мальмо	268
2. Производство напорных труб «Бонна-Сентаб» на французском заводе в районе г. Нима	275
3. Производство напорных труб виброгидропрессованием на заводе в г. Куйбышеве	277
4. Производство железобетонных виброгидропрессованных труб на Ленинградском заводе «Баррикада»	293
5. Производство железобетонных труб на Московском заводе в Филях	299
Глава X. Вопросы дальнейшего развития производства и применения железобетонных напорных труб	301
1. Внедрение железобетонных напорных труб в строительстве в СССР	301
2. Некоторые данные о потребности в железобетонных напорных трубах и о перспективах их производства в США	312
Литература	316

Овсянкин Василий Ильич
**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ТРУБЫ
ДЛЯ НАПОРНЫХ ВОДОВОДОВ**
(3-е издание)

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 9

* * *

Редактор издательства *Р. Л. Черкинская*
Внешнее оформление художника *В. М. Блинова*
Технический редактор *Г. Д. Наумова*
Корректоры *Л. П. Бирюкова, О. В. Стигнеева*

Сдано в набор 30/X 1970 г.
Подписано к печати 31/III 1971 г.
Т-06030 Бумага 70×108³/₁₆— 10 бум. л. 28 усл.
печ. л. (уч.-изд. 28,1 л.) Тираж 5000 экз.
Изд № А.VI—1583. Зак. № 1077 Цена 1 р. 81 к.

Владимирская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.